

La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine

Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti



a cura di
Lucilla Capotondi, Mariangela Ravaioli,
Alicia Acosta, Francesca Chiarini,
Andrea Lami, Angela Stanisci,
Leone Tarozzi, Maria Grazia Mazzocchi

La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine

Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti

a cura di

Lucilla Capotondi, Mariangela Ravaioli, Alicia Acosta, Francesca Chiarini,
Andrea Lami, Angela Stanisci, Leone Tarozzi, Maria Grazia Mazzocchi

Autori

M. Abbate, T. Abeli, S. Accoroni, A. T. R. Acosta, M. I. Acquaviva, F. Acri, G. Alabiso, R. Alber, S. Albertazzi, S. Aliani, A. Andreetta, M. Anelli Monti, S. Armeli, R. Auriemma, M. Austoni, F. Azzaro, M. Azzaro, C. Balestra, R. Balestrini, E. Barbone, M. Barsanti, B. Bassano, A. Basset, M. Bastianini, C. Battisti, G. Bavestrello, M. Bazzaro, G. Belmonte, M. Belmonte, M. Beltrami, A. Beran, C. Bergami, F. Bernardi Aubry, G. Bertini, G. Bertoldi, R. Bertoni, F. Betti, M. Betti, F. Biandolino, M. Bo, A. Bodini, A. Boggero, F. Bolinesi, M. Bon, P. Bonasoni, G. Bonella, A. Bordone, A. Boscaini, R. Bottarin, A. Brambilla, M. Bresciani, A. Bricca, P. A. Brivio, E. Brugnoli, G. Brunialti, G. Budillon, M. C. Buia, A. Buosi, P. Buscarinu, F. Bussotti, F. Buzzi, M. Cabrini, G. Caccamo, T. Caddeo, C. Calderaro, C. Callieri, E. Calvo, E. Camatti, A. Campanaro, A. Campanelli, P. Campodonico, P. Campostrini, L. Canesi, M. Cannavaciolo, R. Canullo, M. Capello, L. Capotondi, V. Cappanera, C. Cappelletti, D. Cappelletti, M. Carbognani, N. Cardelluccio, S. Carnicelli, C. Caroppo, M. L. Carranza, P. Carrara, P. Casiddu, R. Casotti, P. Castagno, M. Castellano, G. Catalano, B. Cataletto, R. Cattaneo Vietti, R. A. Cavallo, F. Cavraro, D. Cecca, G. Cecchini, E. Cecere, M. Celussi, L. Cerasino, F. Cerino, S. Cerise, G. Cerrati, C. Cerrato, I. Cerutti, Marco Cervellini, M.C. Chiantore, F. Chiarini, M. Ciampittiello, T. Cibic, C. Cindolo, M. Ciotti, T. Ciuffardi, F. Ciutti, C. Cocciufa, S. Cocito, N. Colombo, A. Coluccelli, F. Comiti, M. Confalonieri, F. Conte, F. Conversano, C. Corbau, G. Corno, S. Corradini, A. Cotza, S. Cozzi, E. Crippa, P. Cristofanelli, J. Culurgioni, D. Curiel, A. Cutini, M. Cutini, C. Dabalà, D. D'Alelio, M. D'Amico, E. D'Andrea, G. Dapueto, A. De Alteris, V. De Cecco, B. De Cinti, A. De Lazzari, A. De Olazabal, M. De Stefano, A. De Toma, C. De Vitto, C. del Corso, P. Del Negro, I. Delbono, R. Delfanti, S. Della Chiesa, I. Di Capua, A. Di Cesare, A. Di Leo, L. Di Martino, M. Di Musciano, G. Di Nallo, R. Diciotti, C. Dresti, R. Dunbar, E. Eckert, A. C. Elia, M. Eliezer, M. Engel, G. Fabbio, C. Fabbro, C. Facca, P. Falco, G. Fanciulli, G. Fanelli, S. Fares, P. Farina, L. Ferrante, C. Ferrari, C. R. Ferrari, S. Finotto, G. Flaim, M. Florio, C. Foglini, N. Fois, V. Fontana, D. Fontaneto, D. Fornasaro, A. Franzo, P. Franzoi, E. Frapiccini, L. Frate, L. Frati, A. R. Frattaroli, M. Freppaz, G. Fusco, S. Galafassi, A. Gallerani, M. Gandini, P. Giacometti, C. Giancola, S. Giandomenico, M. Giani, C. Giardino, M. Giardino, D. Gigante, F. Giglio, P. Giordano, A. Giorgetti, S. Giulietti, E. Goretti, A. Goruppi, E. Gottardini, S. Grignolio, F. Grilli, M. Gualmini, E. Guariento, I. Guarneri, P. Gulizzoni, L. Guzzella, B. Iacono, M. Iaia, B. Ilyashuk, V. Infantini, M. Iocchi, D. Iudicone, A.-S. Juhmani, E. Keppel, J. Klotz, K. Koinig, M. Kralj, R. La Ferla, A. L'Astorina, G. La Porta, N. La Porta, G.G. Lai, A. Lami, L. Langone, S. Lella, B. Leoni, M. Lipizer, C. Lombardi, G. Lombardi, M. Lonati, L. Longobardi, M. Lorenti, M. Lorenzoni, A. Ludovisi, A. Lugliè, G. Maimone, M. Malavasi, B. Manca, D. Manca, M. Manca, G. Mancinelli, O. Mangoni, A. Marchetto, L. Marchino, F. Margiotta, M. Marini, A. Marinoni, M. Martin, F. Marzialetti, F. Massa, E. Matta, G. Matteucci, F. Mazzenga, M.G. Mazzocchi, F. Meloni, F. Miglietta, E. Minari, S. Minerbi, A. Mingozzi, C. Misic, M. Mistri, M. Monti, M. Montresor, V. Moretti, M. Morgantin, R. Mosello, R. Motta, G. Scarascia Mugnozza, C. Munari, M. Musanti, S. Musazzi, M. Nannini, M. Narracci, F. Nasi, V. Nava, G. Niedrist, U. Obertegger, N. Obojes, A. Oggioni, E. Olivari, A. Orrù, S. Orsenigo, B. M. Padedda, F. Pannacciulli, M. Pansera, E. Paoletti, G. Papitto, I. Parlapiano, E. Paschini, A. Passarelli, M. Patelli, A. Peirano, P. Penna, I. Percopo, L. Perotti, A. Petraglia, B. Petriccione, A. Petrocelli, M. Piccinno, M. Pinna, E. Pintaldi, M. Piovosi, R. Piscia, V. Pitacco, L. Poggio, M. Pollastrini, A. Porfido, F. Porro, G. Portacci, L. Porzio, P. Povero, F. Pranovi, E. Prato, I. Prisco, A. Provenzale, A. Pugnetti, S. Pulina, G. Raiteri, V. Rando, M. Ravaioli, S. Redolfi Bristol, F. Relitti, M. Ribera d'Alcalà, N. Riccardi, F. Riminucci, M.

Rogora, T. Romagnoli, I. Rosati, G. Rossetti, G. Rossi, F. Rubino, E. Rusciano, A. Russo, M. Saggiomo, V. Saggiomo, H. Saidi, P. Sala, F. Salerno, N. Salmaso, C. Salvadori, L. Salvati, F. Sangiorgio, F. Sangiorgi, D. Sarno, A. Sarretta, M. Sarria, C.T. Satta, L. Scapin, A. Scartazza, S. Schiaparelli, A. Schirone, A. Schroeder, A. Scolastri, A. Scotti, N. Sechi, J. Seeber, A. Sfriso, A.A. Sfriso, M. Shokri, M. Sigovini, U. Simeoni, V. Soler, T. Sorgi, L. Spada, G. Spezie, L. Stabili, E. Stanca, G. Stanghellini, A. Stanisci, M. Steinwandter, D. Tagliapietra, P. Tagliolato, U. Tappeiner, L. Tarozzi, G. Tartari, G. A. Tartari, E. Tasser, J.-P. Theurillat, R. Tiberti, V. Tirelli, R. Tognetti, M. Tolotti, M. Tomaselli, Y. Tomio, I. Toni, C. Totti, F. Tramontano, N. Ungaro, L. Urbini, F. P. Vaccari, M.R. Vadrucci, R. Valentini, P. Vassallo, R. Venanzoni, S. Venturini, P. Viaroli, D. Viglietti, F. Vignes, T. Virdis, R. Viterbi, P. Volta, S. Vorhauser, M.A. Wolf, G. Zambardino, A. Zandonai, S. Zaupa, G. Zazo, M. Zilioli, A. Zingone, M. Zucchetta, V. Zupo, M. Zurlo.

Curatori volume:

Lucilla Capotondi¹, Mariangela Ravaioli¹, Alicia Acosta², Francesca Chiarini¹, Andrea Lami³, Angela Stanisci⁴, Leone Tarozzi¹, Maria Grazia Mazzocchi⁵

Coordinamento editoriale:

Maria Grazia Mazzocchi⁵, Lucilla Capotondi¹, Mariangela Ravaioli¹, Alicia Acosta², Bruno Cataletto⁶, Veronika Fontana⁷, Michele Freppaz⁸, Andrea Lami³, Giorgio Matteucci⁹, Angela Stanisci⁴

Gruppo redazionale:

Francesca Chiarini¹, Cristiana Crescimbene¹⁰, Laura Sperandio¹⁰, Leone Tarozzi¹

Affiliazioni:

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Bologna

² Università degli Studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), Verbania-Pallanza

⁴ Università del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio (UNIMOL-DiBT), Pesche (IS)

⁵ Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Napoli

⁶ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), Trieste

⁷ Eurac Research, Istituto per l'Ambiente Alpino, Bolzano

⁸ Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (UNITO-DISAFA)

⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per la BioEconomia (IBE), Sesto Fiorentino (FI)

¹⁰ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulla Popolazione e le Politiche Sociali (IRPPS), Roma

Immagini di copertina

Prima: "Il larice, un piccolo grande ecosistema" (Veronica Fontana)

Quarta: "Antropocene" (Mauro Bastianini)

Editing e composizione: Cristiana Crescimbene e Laura Sperandio

Citare come segue:

La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti (2021) a cura di Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. CNR-Editioni, Roma.

DOI: 10.5281/zenodo.5570272

ISBN versione on-line: 978-88-8080-214-3

ISBN versione a stampa: 978-88-8080-208-2



© CNR Edizioni, 2021

P.le Aldo Moro, 7

000185 Roma

Indice

Prefazione	9
Introduzione	11
Nascita e sviluppo della Rete LTER-Italia	13
LTER-Italia: la Rete di Ricerca Ecologica a Lungo Termine	19
Strumenti e servizi per la gestione dei dati prodotti dalla Rete LTER-Italia	33
La risposta degli ecosistemi della Rete LTER-Italia alla variabilità climatica e antropica	41
La Rete LTER-Italia in dialogo con la società civile	57
Macrositi e Siti della Rete LTER-Italia	
IT01-T Ecosistemi d'alta quota	65
Appennino centro-meridionale: Majella-Matese	
Appennino centrale: Velino-Duchessa	
Appennino centrale: Gran Sasso d'Italia	
Appennino settentrionale	
IT02-T Foreste delle Alpi	101
Val Masino LOM1	
Renon BOL1	
Passo Lavazè TRE1	
Tarvisio FRI2	
Valbona	
IT03-T Foreste degli Appennini	143
Collelongo-Selva Piana ABR1	
Montagna di Torricchio	
Piano Limina CAL1	
IT04-T Foreste mediterranee	179
Monte Rufeno (LAZ1)	
Colognole (TOS1)	
Ficuzza (SIC1)	
IT05-T Foreste planiziali	199
Bosco Fontana	
IT06-T Isola di Pianosa	207
Isola di Pianosa	

IT07-M	Lagune del Delta del Po	217
	Sacca di Goro	
	Valli di Comacchio	
IT08-A	Laghi sudalpini	229
	Lago Maggiore	
	Lago di Candia	
	Lago d'Orta	
	Lago di Como	
	Lago di Garda	
	Lago d'Iseo	
IT09-A	Laghi di montagna	297
	Lago Santo Parmense	
	Lago Scuro Parmense	
	Lago Paione Inferiore	
	Lago Paione Superiore	
	Lago di Tovel	
	Lago di Anterselva	
	Lago di Braies	
	Lago Piccolo di Monticolo	
IT10-A	Ecosistemi lacustri della Sardegna	331
	Lago Bidighinzu	
	Lago Cedrino	
	Lago Cuga	
	Lago Monte Lerno	
	Lago Sos Canales	
	Lago Temo	
IT11-A	Laghi Piramide	371
	Lago Piramide Superiore	
	Lago Piramide Inferiore	
IT12-M	Alto Adriatico	399
	Golfo di Venezia	
	Golfo di Trieste	
	Delta del Po e Costa Romagnola	
	Transetto Senigallia-Susak	
IT13-M	Golfo di Napoli	439
	LTER-Marechiara	
	LTER-Lacco Ameno	
IT14-M	Ecosistemi marini della Sardegna	469
	Golfo dell'Asinara	
	Golfo di Olbia	
	Laguna di Cabras	
	Laguna di Santa Giusta	
	Laguna di S'Ena Arrubia	
IT15-M	Mar Ligure	509
	Area marina del Promontorio di Portofino	
	Mar Ligure Orientale	
IT16-M	Laguna di Venezia	531
	Laguna di Venezia	

IT17-M Stazioni di ricerca in Antartide	555
Mooring A: Southwestern Ross Sea, Ross Island	
Mooring B: North Central Ross Sea, Joides Basin - Antarctica	
Mooring D: Western Ross Sea, Terra Nova Bay Polynya	
Mooring H: Central Ross Sea	
Baia di Terra Nova (MBT)	
IT18-T Tenuta di Castelporziano	589
Tenuta di Castelporziano	
IT19-T Alpi Nord-Occidentali	605
Istituto Scientifico Angelo Mosso (MOSSO)	
Riserva Naturale Mont Mars (MARS)	
Mont Avic (AVIC)	
Colle Superiore di Cime Bianche (Cime Bianche)	
Comune di Torgnon (Tellinod)	
Comune di Torgnon (Lariceto di Tronchaney)	
IT20-T Dune sabbiose costiere dell'Italia centrale	635
Monumento Naturale Palude di Torre Flavia	
Foce Trigno-Marina di Petacciato	
Foce Saccione – Bonifica Ramitelli	
IT21-A Lago Trasimeno	663
Lago Trasimeno	
IT22-M Mar Piccolo di Taranto	675
Mar Piccolo di Taranto	
IT23-T Parco Nazionale del Gran Paradiso	701
Parco Nazionale del Gran Paradiso	
IT24-M Lagune del Salento	721
Acquatinta	
Alimini	
IT25-T Val Mazia	737
Monteschino	
Bacino idrografico del Rio Saldura	
Rio Saldura	
Area Proglaciale Mazia	
Prospettive per il futuro della Rete LTER-Italia	763
Appendice 1 – Statistiche bibliografiche della Rete LTER-Italia 2006-2020	769
Appendice 2 – Organizzazione della Rete LTER-Italia dal 2000 -2021	773
Appendice 3 – Elenco istituzioni coinvolte nella Rete LTER-Italia	777
Appendice 4 – Acronimi, Glossario, Siti Web e Progetti	783
Ringraziamenti	803

Prefazione

Fabio Trincardi¹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente (DSSTTA), P.le Aldo Moro 7, Roma.

Scrivo questa prefazione per due ragioni: apprezzo il lavoro di questa comunità scientifica da quando, come direttore di ISMAR-CNR, ho conosciuto il lavoro di alcuni di voi nel progetto ENVEUROPE che ha rappresentato un passaggio fondamentale nella costruzione, precedentemente avviata, della Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine; e credo sia fondamentale studiare e sensibilizzare i cittadini sulla drammatica caduta di biodiversità, legata alla distruzione degli ecosistemi, sulla soglia della cosiddetta sesta estinzione davanti alla quale siamo ancora ciechi. Oggi si parla di un milione di specie estinte o a rischio di estinzione nel giro di pochi decenni. Siamo in tempo per fermare questa catastrofe? Pensiamo almeno che fermare l'estinzione sia necessario? E se lo pensiamo ... cosa siamo disposti a fare per invertire la tendenza? Siamo di fronte ad un problema scientifico (conoscere meglio?) o non piuttosto ad un problema etico (rinunciare a un modello di crescita insostenibile)?

L'industria zootecnica alleva oltre 60 miliardi di capi di bestiame all'anno e per farlo richiede spazio, cioè crescenti porzioni di superficie del pianeta, oltre a consumi enormi di acqua, e contribuisce significativamente all'emissione di gas serra. Lo spazio lo prende alle foreste che vengono distrutte lasciando il passo ad un ecosistema semplificato. Non solo il bilancio in termini di emissione di gas serra (perdita del più importante "pozzo" ed aumento di importanti emettitori di C, in forma di metano o anidride carbonica) accelera il riscaldamento globale e tutto ciò che ne consegue (dall'amplificazione artica all'aumento del livello globale dei mari), ma porta a distruggere biodiversità ad un tasso e con una sistematicità che non hanno precedenti nella storia del pianeta. Se rappresentiamo in peso (non in numero) la totalità delle specie di mammiferi viventi oggi al mondo vediamo che il totale delle specie ancora selvatiche è solo il 3%, che il 30% siamo noi umani e che il 67% sono le pochissime specie che abbiamo selezionato per farne cibo.

Stiamo progettando e realizzando un ecosistema semplificato "unico" a scala di pianeta fortemente interconnesso dal sistema di trasporti. Di questa interconnessione abbiamo avuto prova con rapida diffusione del SARS-COV2 che causa il Covid-19. Ecosistema unico e interconnessione rapida portano a un maggiore rischio per la nostra stessa specie che non può pensare di salvarsi da sola ma, al contrario, deve riporre le proprie speranze nella preservazione di ecosistemi complessi, con alta biodiversità e resilienti.

Alla fine degli anni '60 si è iniziato a parlare di limiti dello sviluppo (con il Club di Roma) e negli ultimi anni si è iniziato a pensare in termini di limiti planetari, oltre i quali è bene non andare. Tra questi, il limite maggiormente oltrepassato è al momento ancora proprio quello legato alla perdita di biodiversità. Il lavoro della comunità LTER è quindi molto importante perché studia questa tendenza, comprendendo anche l'importanza delle variazioni fenologiche (gli sfasamenti tra le fasi di riproduzione e crescita delle diverse specie con conseguente trasformazione dei rapporti tra di esse) e le migrazioni di specie da un continente all'altro dovute all'Uomo (con la diffusione di specie che chiamiamo "aliene" o "invasive", quasi attribuendo loro la strategia di spostarsi).

Per parlare con rigore di biodiversità e di sua riduzione, fino alla minaccia di tante estinzioni, occorre avere un censimento di ciò che si conosce, denominare le specie in modo univoco o almeno riconoscere le involontarie omonimie che si generano quando comunità scientifiche diverse finiscono per nominare con nomi diversi la stessa specie. Questo lavoro di LTER è indispensabile e costituisce la solida base da cui parte qualunque lavoro scientifico successivo. Lo studio delle serie ecologiche a scala ormai di molti decenni consente inoltre di individuare i salti di regime, spesso irreversibili, quando, in funzione di pressioni antropiche o di cambiamenti legati all'ambiente e al clima, cambia improvvisamente la struttura di un ecosistema con l'espansione di una nuova specie dominante.

Più in generale occorre capire che, come dice Donna Haraway, non possiamo pensare di salvarci da soli, “ingegnerizzando” il pianeta, ma solo salvando con noi tutte le specie e gli ecosistemi da esse strutturati. Per fare questo dobbiamo essere disposti a una società con meno consumi: zero carne rossa; meno viaggi, soprattutto aerei; fermare i disboscamenti e la distruzione di ecosistemi complessi in grado di assorbire gas serra; basta con la pesca forsennata praticata con la logica dei cacciatori raccoglitori ma armati di navi-industria ed elicotteri per individuare i banchi di pesce più remunerativi. Siamo pronti? Se non lo siamo, progetti come LTER serviranno solo a costruire la wunderkammer virtuale delle specie ormai scomparse.

Introduzione

Comitato di Coordinamento e Segretariato

Giorgio Matteucci¹, Maria Grazia Mazzocchi², Caterina Bergami³, Alessandro Campanaro⁴, Lucilla Capotondi³, Bruno Cataletto⁵, Andrea Lami⁶, Renzo Motta⁷, Alessandra Pugnetti⁸, Mariangela Ravaioli³

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia.

² Stazione Zoologica Anton Dohrn, Villa Comunale, 80121 Napoli, Italia.

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR – ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

⁴ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria - Centro di ricerca Difesa e Certificazione (CREA – DC), Via di Laciola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze, Italia.

⁵ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS), Italia.

⁶ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR – IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB), Italia.

⁷ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini, 2 10095 Grugliasco, TO, Italia.

⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR – ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737f, 30122 Venezia, Italia.

L'ecologia è lo studio delle interazioni tra gli organismi e l'ambiente che li ospita. Si tratta di indagini scientifiche complesse e interdisciplinari in quanto gli ecosistemi sono caratterizzati da numerose componenti biotiche e abiotiche che interagiscono in modo dinamico. Questo implica la necessità di considerare le strutture e i processi analizzati secondo diverse scale spaziali e temporali, per poter cogliere l'intera gamma di variabilità e i trend evolutivi dei sistemi. I dati forniti da queste indagini sono di grande utilità per comprendere molti tratti della biodiversità naturale sul nostro pianeta, le dinamiche degli ecosistemi e le loro risposte agli impatti climatici e antropici, consentendo valutazioni per la loro salvaguardia.

Le ricerche ecologiche di lungo termine (LTER, Long Term Ecological Research) forniscono la base scientifica di riferimento per distinguere la dinamica naturale dei processi ecologici, che si manifesta su lunghi intervalli temporali, dagli effetti di tendenze globali quali il cambiamento climatico o di fattori d'influenza e disturbo locali. La disponibilità di lunghe serie di dati ecologici e di biodiversità consente inoltre di valutare l'efficacia delle azioni di salvaguardia e recupero di ambienti che abbiano subito alterazioni quali, ad esempio, eutrofizzazione, contaminazione del suolo, impatto da eventi estremi, introduzione di specie alloctone, diventando strumento sia di pianificazione che di verifica nella gestione delle risorse e del territorio.

La Rete LTER-Italia, che raccoglie 79 siti distribuiti sul territorio nazionale in cui si conducono ricerche ecologiche di lungo termine, è caratterizzata da un'estrema diversità di ambienti naturali (ecodomini in ambito terrestre, marino, di acque interne e di transizione) ed è il contesto ideale in cui proseguire o avviare studi trans-ecodomini e di carattere interdisciplinare per un approccio olistico alla comprensione dell'ambiente e delle sue dinamiche. Proprio in virtù di questo approccio integrato, gli studi di lungo termine condotti nell'ambito della Rete si collegano alle scienze di base, applicate e tecnologiche e permettono di creare un ponte tra i ricercatori, i cittadini, gli utilizzatori e i decisori politici. La disponibilità di lunghe serie temporali di dati ecologici sul territorio Italiano da siti così

diversificati consente di monitorare nel tempo i processi legati alle variazioni naturali e antropiche e di raccogliere informazioni basilari per lo sviluppo economico e sociale del Paese e per adempiere agli obiettivi di sostenibilità, di fondamentale importanza per la sopravvivenza degli ecosistemi.

Questo volume offre un quadro aggiornato delle diverse attività condotte dalla Rete LTER-Italia e dei risultati acquisiti durante i primi 15 anni dalla sua costituzione. Si tratta di una panoramica che spazia dagli aspetti storici e divulgativi a quelli politici e sociali, avendo come fulcro le ricerche condotte negli innumerevoli siti di osservazione e che coprono un ampio spettro di tematiche e approcci. Questo volume, frutto di un grande sforzo collettivo, si rivolge a tutti coloro che siano spinti da interesse a conoscere la diversità e la bellezza del nostro ambiente, insieme alle sue tante problematiche.

Parole Chiave: Infrastruttura di ricerca LTER-Italy; ecosistemi terrestri, acquatici, marini; biodiversità; cambiamenti climatici; socio-ecologia; ambiente naturale

Introduction

Ecology is the study of the interactions between organisms and their environment. These studies are scientifically challenging, requiring an interdisciplinary approach since ecosystems involve dynamic interactions between the variety of biotic and abiotic components of the system. To identify the full range of variability and evolutionary trends of the systems, the structures and operating processes need be analysed at different spatial and temporal scales. The data provided by these investigations are useful to understand the many traits of natural biodiversity on our planet, the dynamics of ecosystems and their responses to climatic and anthropogenic impacts, promoting assessments for protection.

Long Term Ecological Research (LTER) provides the scientific basis for distinguishing the natural dynamics of ecological processes, which occur over long time intervals, from the effects of global trends such as climate change or factors of local influence and disturbance. The availability of long series of ecological and biodiversity data also makes it possible to evaluate the effectiveness of the actions taken to protect and/or restore environments that have undergone adverse impacts due to anthropogenic pressure such as, for example, eutrophication, soil contamination, impact from extreme events, introduction of alien species.

The LTER-Italy Network, consisting of 79 sites distributed throughout the country, is characterized by a high diversity of natural environments (comprising terrestrial, marine, inland and transitional water domains) representing a natural laboratory for interdisciplinary studies. Moreover, the activities carried out in the network allow to bridge the gap between researchers, citizens, users and policy makers. The long time-series availability of ecological data from diversified sites, representative of the environmental variability of our Country, enables the monitoring over time of the processes linked to natural and anthropogenic variations. It is staple information to a sustainable planning for the survival of ecosystems, a strategic objective for the economic and social development of our Country.

This volume offers an updated overview of the different activities carried out by the LTER-Italy network and of the results acquired during the first 15 years of its establishment in 2006. It is an overview that ranges from historical and popular aspects to political and social facets, focusing on research carried out at the countless observation sites covering a wide range of topics and approaches. The volume, result of a great collective effort, is addressed to all those who are driven by an interest in knowing the diversity and beauty of our environment, along with its many issues.

Key Words: LTER-Italy research infrastructure; terrestrial, aquatic and marine ecosystems; biodiversity; climate changes; socio-ecology; natural environment.

Nascita e sviluppo della Rete LTER-Italia

Autori

Mariangela Ravaioli¹, Giorgio Matteucci², Maria Grazia Mazzocchi³, Caterina Bergami¹, Alessandro Campanaro⁴, Lucilla Capotondi¹, Bruno Cataletto⁵, Andrea Lami⁶, Renzo Motta⁷, Bruno Petriccione⁸, Alessandra Pugnetti⁹

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna.
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR-IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).
- ³ Stazione Zoologica Anton Dohrn, Villa Comunale, 80121 Napoli.
- ⁴ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Difesa e Certificazione, Via di Lanchiola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze.
- ⁵ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS).
- ⁶ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).
- ⁷ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO).
- ⁸ Reparto Carabinieri Biodiversità, via Sangro 45, 67031 Castel di Sangro (AQ).
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737f, 30122 Venezia.

Abstract

The long-term ecological research (LTER) aims at understanding, analyzing and monitoring environmental and biological processes over periods of several decades to understand the natural changes of ecosystems, distinguishing them from the modifications that can be induced by humans, at a local and global scale. Between the end of the 20th and the beginning of the 21st century, a large part of LTER research has been organized in networks of sites and platforms, distributed on the global (LTER International, ILTER: wwwILTER.network), European (LTER-Europe: <http://www.lter-europe.net/>) and national scales. The LTER-Italy network, whose promotion and organizational phases began in the middle of the 1990s, belongs to ILTER and LTER-Europe since 2006, when it was formalized after a long process that started at the VII Congress of the Italian Society of Ecology (SItE) held in Naples in 1996. The establishment of the LTER network in Italy begun with the creation of a promoting group, made up of researchers from the CNR and Universities, officials of the former National Forest Service (CFS), now Carabinieri (Dpt. for protection of Biodiversity and Parks) and representatives of the SItE, and it was sustained as well by the participation and support of many researchers from other organizations,

Citare questo capitolo come segue: Ravaioli M., Matteucci G., Mazzocchi M.G., Bergami C., Campanaro A. *et al.* (2021). Nascita e sviluppo della Rete LTER-Italia, p. 13-17. DOI: 10.5281/zenodo.5570324. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

institutes and scientific societies (SBI, SISEF, AIOL, SIBM). The Network of Excellence ALTER-Net (A Long-Term Biodiversity, Ecosystem and Awareness Research Network), was the European framework for the consolidation of the LTER initiative. At the end of 2004, the CFS, three CNR institutes (IBAF, ISE and ISMAR) and the former Marine Biology Laboratory of Aurisina (Trieste) signed a memorandum of understanding that founded the LTER-Italy network by establishing the statute of the network. This statute provides the governance of the network, which is based on a Coordinating Committee, on a Technical-Scientific Committee and on the site manager Assembly.

Per decenni, alcune istituzioni italiane (qui citate con la denominazione che avevano all'epoca) si sono dedicate a raccogliere informazioni a intervalli regolari su variabili ecologiche in siti di particolare interesse. In alcuni casi queste attività rappresentavano compiti istituzionali, come ad esempio per il Corpo Forestale dello Stato (CFS), mentre in altri casi erano condotte da strutture di Ricerca (Università, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, Laboratorio di Biologia Marina di Trieste, ecc.) e da Enti e Istituzioni gestori del territorio. Tuttavia questo grande patrimonio di informazione non aveva la dovuta visibilità, non era organizzato e, in molti casi, i dati non erano accessibili e disponibili neppure per la generalità del mondo della ricerca.

Nel 1993, le ricerche ecologiche di lungo termine si organizzarono, a livello mondiale, nella Rete Internazionale ILTER (wwwILTER.network). Sull'impulso di questa nuova realtà, a metà degli anni '90 nella comunità scientifica italiana nasce l'idea di costruire la Rete LTER-Italia (Tab. 1), allo scopo di analizzare, caratterizzare e valutare, con un approccio ecologico e multidisciplinare, i cambiamenti che avvengono negli ecosistemi nel nostro Paese. Questa idea è stata sviluppata e ampiamente sostenuta durante due importanti congressi della comunità degli ecologi, il VII Congresso della Società Italiana di Ecologia (Napoli, 1996) e il VII Congresso della Società Internazionale di Ecologia (Firenze, 1998). Nel corso degli anni successivi, numerose iniziative e attività del "Gruppo Promotore LTER", costituitosi nel 2001 (Tab. 2) hanno portato alla costituzione della Rete, anche con il supporto del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). A partire dal 2004, la rete di eccellenza ALTER-Net (A Long-Term Biodiversity, Ecosystem and Awareness Research Network) ha fornito il contesto istituzionale appropriato, a livello europeo, per il consolidamento della Rete. Il CFS, unico membro italiano di ALTER-Net, ha coordinato e, assieme al CNR e al Gruppo Promotore LTER, ha portato a compimento il processo di nascita della Rete LTER-Italia.

Tab. 1 - Cronistoria della nascita della Rete LTER-Italia

1996	VII Congresso della Società Italiana di Ecologia (SItE). Prima espressione di interesse della SItE
1998	VII Congresso della Società Internazionale di Ecologia (INTECOL). Primo meeting del gruppo italiano.
2000	Incontro informale con membri di LTER-US all'ASLO (Association for the Sciences of Limnology and Oceanography) Summer Meeting a Copenaghen e richiesta di inserimento di alcuni siti italiani in ILTER, tramite l'addetto scientifico dell'Ambasciata Italiana negli USA. Secondo meeting italiano a Trieste.
2001	Terzo meeting a Bologna e costituzione del Gruppo Promotore. Censimento dei gruppi di ricerca interessati. Adesione di SBI, SISEF, AIOL, SIBM, Congresso SItE di Sabaudia, con una sessione su ricerche ecologiche di lungo termine in Italia.
2002	Proposta formale di costituzione della Rete LTER-Italia, come Gruppo di Coordinamento del CNR (ex art. 15).
2004	Il La partecipazione del CFS-Servizio CONECOFOR (che opera nell'ambito del Ministero delle Politiche Agricole), alla rete di eccellenza europea <i>ALTER-Net</i> , offre la cornice istituzionale per rilanciare l'iniziativa e incardinarla a livello nazionale
25/11/2004	Workshop costituivo di LTER-Italia, organizzato presso il CNR a Roma di concerto con il CFS, CNR e Gruppo Promotore.

Nel novembre del 2004, il CFS, assieme al CNR e al Gruppo Promotore, organizzò a Roma una Conferenza scientifica alla quale furono invitati i ricercatori già coinvolti nella fondazione della Rete LTER nazionale. In quell'occasione furono illustrati alcuni siti di ricerca ecologica a lungo termine in ambiente terrestre, di acqua dolce e marina, proposti per la costituzione della Rete. Il CNR con tre dei suoi istituti (l'Istituto di Biologia Agro-ambientale e Forestale-IBAF, l'Istituto per lo Studio degli Ecosistemi-ISE e l'Istituto di Scienze Marine-ISMAR), il CFS, la SItE e il Laboratorio di Biologia Marina di Trieste sottoscrissero un Protocollo d'Intesa per l'avvio di LTER-Italia. Tale protocollo stabilì le regole fondanti della Rete, in particolare la sua struttura organizzativa, basata su un Comitato Promotore composto da sei membri (Tab. 2), uno per ogni Ente firmatario, e le modalità di selezione dei siti da includere nella Rete nazionale.

Tab. 2 - Il primo Gruppo Promotore della Rete LTER-Italia - 2001

Serena Fonda Umani	Laboratorio di Biologia Marina, Trieste
Donato Marino	Stazione Zoologica di Napoli
Bruno Petriccione	Corpo Forestale dello Stato
Giorgio Matteucci	Università della Tuscia, Viterbo
Alessandro Peressotti	Università di Udine
Mariangela Ravaioli	Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Geologia Marina (IGM), Bologna

I Presidenti Protempore della costituenda Rete LTER-Italia che si sono succeduti in questa fase fino al 2004 sono stati: Serena Fonda Umani (Uni-Trieste), Sandro Rabitti (ISMAR-CNR) e Mariangela Ravaioli (ISMAR-CNR).

Altri colleghi e colleghi che hanno contribuito alla nascita e costruzione della Rete LTER-Italia, dal 1996 al 2001 e oltre, fino al workshop costitutivo tenutosi nel 2004 presso la sede del CNR a Roma, sono stati: Giovanni Amori (ISE-CNR, Uni-ROMA), Antonio Artegiani (IRPEM-CNR), Roberto Bertoni (ISE-CNR), Franco Bianchi (ISMAR-CNR), Alessandro Boschi (Parco Regionale Ticino), Bruno Cataletto (OGS-Trieste), Graziella Cristofori (IBIMET-CNR), Riccardo De Bernardi (ISE-CNR), Ireneo Ferrari (Uni-Parma), Franco Miglietta (IBIMET-CNR), Michele Mistri (Uni-Ferrara), Giuseppe Montanari (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, ARPA, Emilia Romagna), Rosario Mosello (ISE-CNR), Pierluigi Nimis (Uni-Trieste), Nadia Pinardi (Uni-Bologna, CMCC-INGV), Giampaolo Rossetti (Uni-Parma), Federica Rossi (IBIMET-CNR), Maria Livia Tosato (Ambasciata Italiana negli Stati Uniti), Riccardo Valentini (Uni-Tuscia), Pier Luigi Viaroli (Uni-Parma, CMCC), Adriana Zingone (SZN).

Le basi per la costituzione ufficiale della Rete LTER-Italia, che vennero discusse e definite fino al 2004, si proposero di: a) istituire e coordinare una rete nazionale integrata di siti per la ricerca ecologica a lungo termine, b) favorire lo scambio di ricercatori e lo sviluppo di ricerche comparative a livello nazionale ed internazionale, c) favorire l'impiego e lo sviluppo di tecnologie adeguate e armonizzate per l'analisi dei sistemi ecologici, d) promuovere lo sviluppo di una rete informatica per la diffusione e la gestione dell'informazione di carattere ecologico sui siti (banche dati su internet a libero accesso, connessione con altre reti di monitoraggio ambientali, ecc.), e) sostenere lo sviluppo di programmi educativi di base e avanzati a carattere ecologico (scambio studenti, educazione permanente).

La Rete LTER-Italia fu pensata come contributo per l'acquisizione di dati, informazioni e conoscenze inerenti: a) alla variabilità di base e le tendenze evolutive dei processi ecologici, b) al supporto dell'elaborazione di strategie di gestione sostenibile degli ecosistemi, c) all'integrazione della ricerca ecologica terrestre, aquatica e marina.

Si è trattato di fasi coinvolgenti, arricchite da numerosi incontri e riunioni e dall'adesione di centinaia di ricercatori. Dal 1996 a oggi, ciò che ha caratterizzato la base di questa Rete sono state competenza, passione e amicizia. Il percorso di costruzione della Rete LTER è stato, infatti, contraddistinto da

dedizione e determinazione da parte dei suoi componenti, come si evince da alcuni estratti delle email intercorse tra i fondatori (Fig. 1).



Fig. 1 - Estratti di email scambiate durante il percorso di costruzione della Rete LTER-Italia

Il Comitato Promotore ha avuto, nel corso del 2005, l'importante ruolo di entità organizzativa e scientifica, dedicata al coordinamento dei ricercatori responsabili dei siti LTER e orientata alla cura dei rapporti di LTER-Italia con l'organismo internazionale ILTER. Nel Protocollo di Intesa era inoltre prevista la successiva elezione di un Comitato Tecnico Scientifico di LTER-Italia, che seguisse i temi scientifici portati avanti nei siti e procedesse alla loro valutazione periodica. La selezione finale dei siti LTER-Italia fu compiuta dal Comitato Promotore con il supporto scientifico di cinque revisori esterni. Una lista approvata di 17 siti LTER-Italia fu resa disponibile a febbraio 2006 e a marzo 2006 fu presentata in occasione della prima Assemblea Generale LTER-Italia, che si svolse a Roma presso la sede nazionale del CFS. Nel corso dell'Assemblea, il Comitato Promotore fu arricchito con tre nuovi membri e denominato “Comitato Esecutivo”, furono eletti sette membri del Comitato Tecnico Scientifico e fu preparata una proposta organica, da sottoporre al coordinamento della Rete internazionale ILTER.

L'entrata ufficiale dell'Italia nella Rete ILTER avvenne in occasione dell'annuale riunione nel Comitato di Coordinamento internazionale ILTER a Gobabeb (Namibia) ad agosto 2006, durante la quale la proposta italiana fu presentata da Bruno Petriccione e Cristiana Coccia (CFS) e ufficialmente accolta. Pertanto, nel 2006 la Rete LTER-Italia si è costituita formalmente a seguito del suo ingresso nella Rete Internazionale ILTER (Ravaioli 2016).

La Rete LTER-Italia ha un proprio sito web (www.lteritalia.it), uno Statuto, un Coordinatore e un Comitato di Coordinamento che vengono eletti dall'Assemblea dei Responsabili dei Siti. Il coordinamento della Rete è stato svolto dal CFS (2004-2010) e successivamente dal CNR (CNR-ISMAR, 2010-2014 e CNR-ISAFOM/IBE, dal 2014). I Coordinatori della Rete che si sono succeduti nel periodo 2004 – 2021 sono stati: Bruno Petriccione (CFS), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR) e Giorgio Matteucci (CNR-ISAFOM/IBE) (Matteucci *et al.* 2007).

Dal 2006 la Rete ha tenuto regolarmente incontri scientifici e Assemblee annuali, ha aumentato il numero di macrositi da 17 a 25 e ha svolto verifiche e aggiornamenti quinquennali sulle attività dei siti. Nel marzo 2012 è stato pubblicato il volume “La Rete Italiana LTER”, che presenta la Rete, i siti e i primi 5 anni di attività svolta (Bertoni *et al.* 2005).

Al 2020, la Rete LTER-Italia consiste di un gruppo di 25 macrositi (“parent sites”), che contengono 79 siti di ricerca suddivisi in 32 siti terrestri, 23 lacustri e 24 marini/acque di transizione. Inoltre, la rete include 7 siti extraterritoriali: due laghi Himalayani e cinque stazioni di ricerca in Antartide).

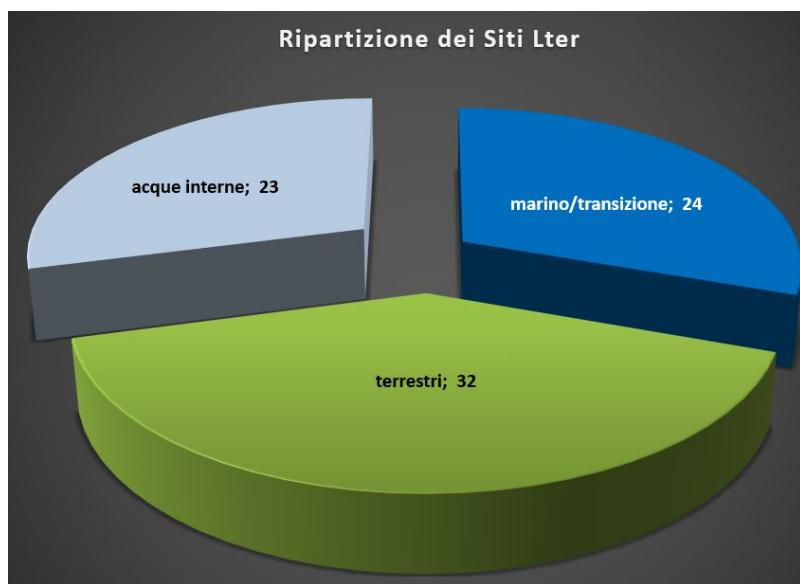


Fig. 2 - Ripartizione dei siti di ricerca della Rete LTER-Italia

Bibliografia

- Bertoni R. (a cura di) (2012). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER-Italia). Situazione e Prospettive dopo un Quinquennio di Attività (2006-2011). Aracne Editrice, Roma, pp. 228.
- Matteucci G., Bianchi F., Bertoni R., Pugnetti A., Ravaioli M. (2007). Ricerche ecologiche di lungo termine (LTER) e cambiamenti climatici: il ruolo del CNR. In: Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR. A cura di Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S. Edito dal CNR, p. 417-420.
- Ravaioli M. (2016). La Rete Lter Italia decennale “COME ERAVAMO” con letture di Grazia Ghetti. Convegno per il Decennale della Rete LTER-Italia, Mantova. 16 novembre 2016. Comunicazione orale.

Sitografia

- www.ilter.network (International LTER Network).
- www.lter.europe.net (Long-Term Ecosystem Research in Europe).
- www.lteritalia.it (La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine).

LTER-Italia: la Rete di Ricerca Ecologica a Lungo Termine

Autori

Giorgio Matteucci¹, Caterina Bergami², Alessandro Campanaro³, Lucilla Capotondi², Bruno Cataletto⁴, Andrea Lami⁵, Renzo Motta⁶, Alessandro Oggioni⁷, Bruno Petriccione⁸, Alessandra Pugnetti⁹, Mariangela Ravaioli², Maria Grazia Mazzocchi¹⁰

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR-IBE), via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), via Gobetti 101, 40129 Bologna.
- ³ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Difesa e Certificazione (CREA – DC), Via di Lanchiola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze.
- ⁴ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS).
- ⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).
- ⁶ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO).
- ⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA), via Bassini 15, 20133 Milano.
- ⁸ Reparto Carabinieri Biodiversità, via Sangro 45, 67031 Castel di Sangro (AQ).
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737f, 30122 Venezia.
- ¹⁰ Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Villa Comunale, 80121 Napoli.

Riassunto

La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER-Italia) è attualmente costituita da 79 siti organizzati in 25 macrositi, distribuiti in ambienti terrestri, d'acqua dolce e di acque di transizione e marine; essa include anche 7 siti extraterritoriali in Antartide e in Himalaya. Dal punto di vista organizzativo, la Rete LTER-Italia è regolata da uno Statuto che prevede l'Assemblea dei Responsabili dei macrositi, con un Coordinatore e un Comitato di Coordinamento elettivi e un Segretariato Tecnico-Scientifico. Il suo sviluppo e consolidamento sono da sempre strettamente connessi a quelli di LTER-Europe, cui la Rete appartiene dal 2006. Le ricerche vengono sostenute da numerose Istituzioni Scientifiche, Università e Amministrazioni statali e locali, inoltre LTER Italia ha importanti connessioni con altre infrastrutture di ricerca europee e con le Regioni. Le sue attività spaziano su molteplici ambiti scientifici, con un approccio socio-ecologico sui temi della biodiversità, dei cambiamenti climatici, della

Citare questo capitolo come segue: Matteucci G., Bergami C., Campanaro A. *et al.* (2021). LTER-Italia: La Rete di Ricerca Ecologica a Lungo Termine, p. 19-31. DOI: 10.5281/zenodo.5570326. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

formazione ed educazione ambientale e sulle sfide ambientali che impegnano la nostra società. La Rete LTER-Italia è stata ideata e realizzata come una piattaforma comune di ricerca ecologica, che favorisca il confronto dei risultati e la conservazione dei dati generati, al fine di costituire un patrimonio di informazioni e osservazioni accessibile e fruibile per le generazioni future. I membri di LTER-Italia studiano gli ecosistemi, le loro dinamiche e la loro evoluzione, le relazioni tra biodiversità e funzionalità ecologica e le risposte ambientali in seguito all'azione di stimoli esterni di tipo naturale e antropico. Nell'ambito della Rete vengono avviate e mantenute proficue collaborazioni scientifiche, incoraggiate le attività interdisciplinari e le ricerche trasversali agli ecosistemi nonché valorizzati i dati ecologici di interesse storico, la cui estensione temporale è, in alcuni siti e per alcune osservazioni, secolare. Dal 2015 si sta lavorando all'integrazione di LTER-Italia nella nascente infrastruttura europea eLTER-RI (*European Long-Term Ecosystem, critical zone and socio-ecological Research Infrastructure*).

Abstract

The Italian Network for Long-Term Ecological Research (LTER-Italy) is currently made of 79 sites organized in 25 parent sites, distributed all over the Italian territory in terrestrial, freshwater, transitional and marine water environments; it also includes 7 extraterritorial sites in Antarctica and in the Himalayas. LTER-Italy management is regulated according to a Statute that identify an Assembly of sites' managers, an elected Coordinator, a Coordination Committee, and a Technical-Scientific Secretariat. Its development and consolidation have been closely linked to that of LTER-Europe, to which the Network belongs since 2006. LTER-Italy researches are supported by numerous Scientific Institutions, Universities and Territorial Agencies. Furthermore, LTER-Italy has important connections with other European research infrastructures as well as with the Regional Authorities. Its activities span over multiple scientific fields, with a socio-ecological approach on biodiversity, climate change, training and education and the environmental challenges that engage our society. LTER-Italy was conceived and implemented as a shared ecological research platform, which favors the comparison of results and the data conservation, with the aim of creating a wealth of information and observations accessible and usable for future generations. The members of LTER-Italy study ecosystems, their dynamics and their evolution, the relationships between biodiversity and ecological functionality, and the environmental responses to natural and anthropic drivers. Within this network, fruitful scientific collaborations are initiated and maintained, interdisciplinary activities and cross-ecosystem research are encouraged and the valorization of long-term ecological data is promoted. Since 2015, LTER Italia is working at the integration within the nascent eLTER-RI European infrastructure (*European Long-Term Ecosystem, critical zone and socio-ecological Research Infrastructure*).

Introduzione

La ricerca ecologica di lungo termine (LTER, Long Term Ecological Research) analizza processi a una scala temporale pluridecennale, necessaria per comprendere i cambiamenti naturali degli ecosistemi e distinguere questi ultimi dalle variazioni che possono essere indotte dall'uomo, a diverse scale spaziali. L'analisi delle dinamiche storiche degli ecosistemi si completa anche con studi paleontologici e palinologici oltre che con l'elaborazione di modelli per valutare gli scenari futuri (Fig. 1.)

Si tratta di ricerche multidisciplinari sugli ecosistemi, che considerano necessariamente le interazioni fra i loro elementi biotici e abiotici, senza trascurare gli aspetti socio-ecologici, dove la componente ecologica è strettamente connessa a quella sociale e umana (Bergami *et al.* 2018; Haberl *et al.* 2006). La multi-, inter- e trans-disciplinarità che caratterizza le ricerche LTER consente di fornire indicazioni importanti per le scelte che la società opera nei confronti degli ecosistemi, da cui dipendono strettamente il benessere e la sopravvivenza degli stessi e delle loro specie, inclusa quella umana.

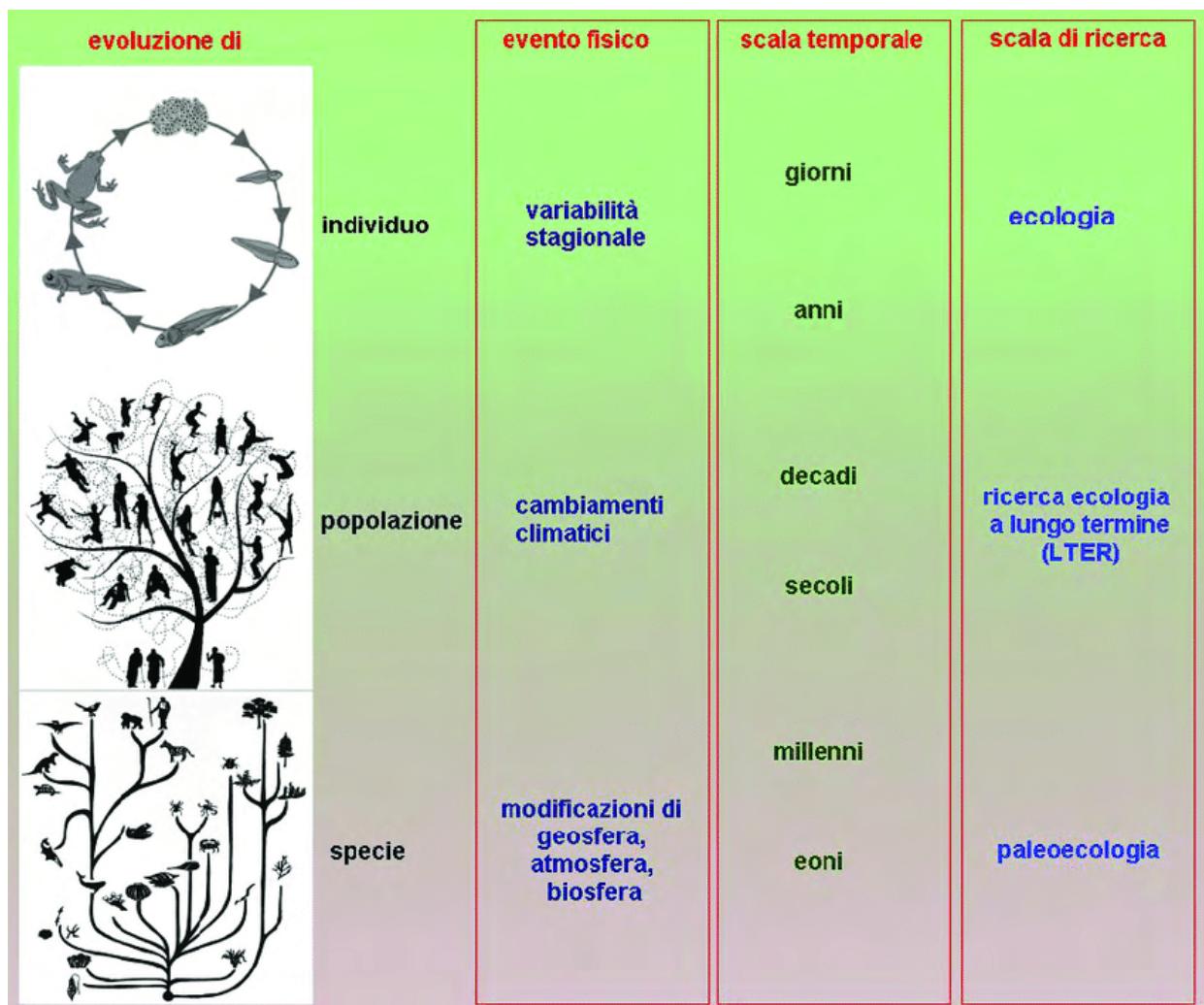


Fig.1 - Scale temporali della Ricerca Ecologica (da Bertoni 2012)

A partire dagli anni '90 del secolo scorso, la ricerca LTER è organizzata in Reti di siti distribuite sulla scala globale (LTER International, ILTER: <https://www.lter.network>; Mirtl *et al.* 2018), Europea (LTER-Europe: <http://www.lter-europe.net/>; Mirtl *et al.* 2018) e nazionale. Nelle Reti LTER, i siti comprendono diverse tipologie di ecosistemi che costituiscono: i) finestre di osservazione aperte sul territorio, ii) patrimoni di dati e di conoscenza ecologica, iii) sedi di studi complementari per approfondimenti e verifica di ipotesi di ricerca, iv) luoghi di confronto e collaborazione, dove l'approccio strettamente conoscitivo si può coniugare con quello emotivo (ecologia affettiva), generando una relazione più intima con la natura, v) luoghi di condivisione e apertura della ricerca al pubblico.

La Rete LTER-Italia

La Rete di Ricerca Ecologica di lungo termine LTER-Italia, il cui processo di nascita è riportato in Ravaioli *et al.* (2021, questo volume), fa parte della Rete internazionale (ILTER) ed europea (LTER-Europe) dal 2006. La struttura organizzativa di LTER-Italia è regolata da uno Statuto che prevede l'Assemblea dei Responsabili dei macrositi, con un Coordinatore e un Comitato di Coordinamento elettivi, e un Segretariato Tecnico-Scientifico. Il Comitato di Coordinamento e l'Assemblea dei siti, nel tempo, hanno istituito Gruppi di Lavoro a servizio delle attività della Rete (Appendice 2).

I compiti del Comitato di Coordinamento e Segretariato sono: i) guidare lo sviluppo della Rete, ii) selezionare e proporre iniziative e progetti a favore di LTER-Italia, iii) collaborare con referenti e

responsabili dei siti e promuovere le attività scientifiche della Rete, iv) curare i rapporti ufficiali con ILTER ed LTER-Europe a nome di LTER-Italia.

Attualmente la Rete è composta di 79 siti (Tab. 1, Fig. 2) organizzati in 25 macrositi, distribuiti su tutto il territorio nazionale in ambienti terrestri, d'acqua dolce, di acque di transizione e marine; include, inoltre, 7 siti extraterritoriali in Antartide (5) e in Himalaya (2). In tutti questi siti, le ricerche vengono condotte, spesso da diversi decenni, con il coinvolgimento di numerose Istituzioni Scientifiche, Università ed Enti di Ricerca e di monitoraggio, nonché Enti Territoriali (Matteucci *et al.* 2007; Bertoni 2012) (Appendice 3).

*Tab. 1 - Elenco dei macrositi e dei relativi siti di ricerca della Rete LTER-Italia**

Macrosito Siti Terrestri	Codice sito Italia**	Nome Sito di ricerca DEIMS.iD del Sito
IT01 – Appennini – Ecosistemi di Alta quota	IT01-001-T	Appennino centro-meridionale: Majella-Matese https://deims.org/c85fc568-df0c-4cbc-bd1e-02606a36c2bb
	IT01-002-T	Appennino centrale: Velino-Duchessa https://deims.org/12c79ecb-7890-4b75-9655-0883daed8a29
	IT01-003-T	Appennino centrale: Gran Sasso d'Italia https://deims.org/c0738b00-854c-418f-8d4f-69b03486e9fd
	IT01-004-T	Appennino settentrionale https://deims.org/a9bed11f-a08d-45f7-b3fe-8f549bfdca23
IT02 – Foreste delle Alpi	IT02-001-T	Val Masino LOM1 https://deims.org/68a5673c-9172-48cc-88e5-b9408b203309
	IT02-002-T	Renon BOL1 https://deims.org/5d32cbf8-ab7c-4acb-b29f-600fec830a1d
	IT02-003-T	Passo Lavazè TRE1 https://deims.org/2356671d-683c-436a-a959-f5b3b086ae5b
	IT02-004-T	Tarvisio FRI2 https://deims.org/2356671d-683c-436a-a959-f5b3b086ae5b
	IT02-005-T	Valbona https://deims.org/2b587e26-4550-4841-a032-ab3c93ced8a0
IT03 – Foreste degli Appennini	IT03-001-T	Collelongo-Selva Piana ABR1 https://deims.org/9b1d144a-dc37-4b0e-8cda-1dda1d7667da
	IT03-002-T	Montagna di Torricchio https://deims.org/6b62feb2-61bf-47e1-b97f-0e909c408db8
	IT03-003-T	Piano Limina CAL1 https://deims.org/d35d5417-d167-4137-97d1-c62ae4bc580b
IT04 – Foreste Mediterranee	IT04-001-T	Monte Rufeno LAZ1 https://deims.org/05e96829-e64a-48d3-a96d-de2aa4cde146
	IT04-002-T	Colognone TOS1 https://deims.org/fdd9b462-d2a9-441a-80a1-f4e8947f5577
	IT04-003-T	Ficuzza SIC1 https://deims.org/ec2bba9a-365f-45d8-9e0d-229de0f41332
IT05 – Foreste planiziali	IT05-001-T	Bosco Fontana VEN2 https://deims.org/0585b394-faf2-4850-913f-6351aace73e4
IT06 – Isola di Pianosa	IT06-001-T	Isola di Pianosa https://deims.org/29728230-1607-4143-a40d-1e6d27e383a8
IT18 – Tenuta di Castelporziano	IT18-001-T	Tenuta di Castelporziano https://deims.org/0d2269d3-5423-4939-a30d-077c8bc38b03
IT19 – Alpi Nord-Occidentali	IT19-001-T	Mosso, Passo Salati-Col d'Olen (Alagna Valsesia, Vercelli) https://deims.org/17210eba-d832-4759-89fa-9ff127cbdf6e
	IT19-002-T	Mars, Mont Mars (Fontainemore, Aosta) https://deims.org/46a11350-4bd3-4f97-874f-bfc012305633
	IT19-003-T	Mont Avic (AVIC) (Champdepraz, Aosta) https://deims.org/54cd5daf-f7d8-4af8-8e0c-974ff44fdf83
	IT19-004-T	Cime bianche, Colle Superiore di Cime Bianche (Valtournenche, Aosta) https://deims.org/0ccb0b0f-7a42-424c-bb78-c68dd50b7915
	IT19-005-T	Tellinod, Conca di Torgnon (Torgnon, Aosta) https://deims.org/a03ef869-aa6f-49cf-8e86-f791ee482ca9
	IT19-006-T	Tronchaney, Conca di Torgnon (Torgnon, Aosta) https://deims.org/4312983f-c36a-4b46-b10a-a9dea2172849
IT20 – Dune sabbiose dell'Italia centrale	IT20-001-T	Monumento Naturale Torre Flavia (Roma) https://deims.org/e618c7ca-2b92-46cb-9156-d87336c5a81f

	IT20-002-T	Foce Trigno-Marina di Petacciato (Campobasso) https://deims.org/1835cda2-b56d-400a-b413-ab5c74086dc5
	IT20-003-T	Foce Saccione-Bonifica Ramitelli (Campobasso) https://deims.org/088fc3af-c5bb-4cc8-b479-fe1ea6d5be80
IT23 – Parco Nazionale del Gran Paradiso	IT23-001-T	Parco Nazionale del Gran Paradiso https://deims.org/e33c983a-19ad-4f40-a6fd-1210ee0b3a4b
	IT25-001-T	Monteschino https://deims.org/51d0598a-e9e1-4252-8850-60fc8f329aab
	IT25-002-T	Bacino idrografico Rio Saldura https://deims.org/97ff6180-e5d1-45f2-a559-8a7872eb26b1
	IT25-003-T	Rio Saldura https://deims.org/7f479263-8f0b-447e-a33d-e08723c86184
	IT25-004-T	Area proglaciale Mazia https://deims.org/80c56aed-48bc-4d00-9ac0-033effeab9d2
Macrosito Siti acque dolci	Codice sito Italia**	Nome Sito di ricerca DEIMS.iD del Sito
	IT08-001-A	Lago Maggiore https://deims.org/f30007c4-8a6e-4f11-ab87-569db54638fe
	IT08-002-A	Lago di Candia https://deims.org/c7fe4203-24b1-4d11-a573-99b99204fede
	IT08-003-A	Lago di Orta https://deims.org/8bd7d2f8-421a-48bd-b212-04bc1e9f31d5
	IT08-004-A	Lago di Como https://deims.org/58036d71-8141-40c3-a0f2-50b8bd1bcddc
	IT08-005-A	Lago di Garda https://deims.org/c713db56-373c-46cc-8828-ce8cadc4f3bb
	IT08-006-A	Lago di Iseo https://deims.org/0667dab1-f857-45a1-b01b-4261e6a499bd
	IT09-001-A	Lago Santo Parmense https://deims.org/21d8695a-c932-4534-9819-e267e5befefc
	IT09-002-A	Lago Scuro Parmense https://deims.org/da7069d6-4d3e-4b31-a8aa-a606d4814eb3
	IT09-003-A	Lago Paione Inferiore https://deims.org/c128d2f9-beb0-45ba-89bb-df9e12f95b0f
	IT09-004-A	Lago Paione Superiore https://deims.org/7e5837a9-ee27-4e27-822a-f50e5217c313
	IT09-005-A	Lago Tovel https://deims.org/f3146959-ae18-4b4e-a9be-16634b0b530a
	IT09-006-A	Lago Anterselva https://deims.org/e8342c5a-849b-4eba-8a99-249d285b5094
	IT09-007-A	Lago Braies https://deims.org/c54a2c21-2079-400d-b169-5e2de8fdf06
	IT09-008-A	Lago Piccolo di Monticolo https://deims.org/7d2699f6-ae7b-4b00-a3b0-24b24bfa1334
	IT10-001-A	Lago Bidighinzu https://deims.org/67757ba9-c40c-4e2c-bdad-bc26905a738e
	IT10-002-A	Lago Cedrino https://deims.org/9010f9db-3d6b-4253-9604-4e10f6714000
	IT10-003-A	Lago Cuga https://deims.org/3b9c3c88-6774-49cb-a0fa-687e6ab1ce61
	IT10-004-A	Lago Monte Lerno https://deims.org/625a2aac-4b37-4366-8693-7d97b95759dc
	IT10-005-A	Lago Sos Canales https://deims.org/e8374da3-1644-460b-bd4c-bf669514dd22
	IT10-006-A	Lago Temo https://deims.org/5bd7ec0b-8215-4764-8f4a-9b1d42c95e24
	IT11-001-A	Lago Piramide Superiore https://deims.org/9c6df1bb-29ee-4db0-8c72-03cf67ac7be5
	IT11-002-A	Lago Piramide Inferiore https://deims.org/81535ac1-1401-495e-a786-17be3a95f1c6
IT21 – Lago Trasimeno	IT21-001-A	Lago Trasimeno https://deims.org/c93c97fb-196e-480a-87b0-817218cd7c24

Macrosito Siti marini e acque di transizione	Codice sito Italia**	Nome Sito di ricerca DEIMS.iD del Sito
IT07 – Lagune del Delta del Po	IT07-001-M	Sacca di Goro https://deims.org/b7869194-b220-473a-b035-feeada21aba
	IT07-002-M	Valli di Comacchio https://deims.org/70e1bc05-a03d-40fc-993d-0c61e524b177
IT12 – Alto Adriatico	IT12-001-M	Golfo di Venezia https://deims.org/758087d7-231f-4f07-bd7e-6922e0c283fd
	IT12-002-M	Golfo di Trieste https://deims.org/96969205-cfdf-41d8-979f-ff881ea8dc8b
	IT12-003-M	Delta del Po e Costa Romagnola https://deims.org/6869436a-80f4-4c6d-954b-a730b348d7ce
	IT12-004-M	Transetto Senigallia-Susak https://deims.org/be8971c2-c708-4d6e-a4c7-f49fcf1623c1
IT13 – Golfo di Napoli	IT13-001-M	LTER Marechiara https://deims.org/0b87459a-da3c-45af-a3e1-cb1508519411
	IT13-002-M	LTER Lacco Ameno https://deims.org/4a05a2fb-0015-4310-96d5-a94c019bda58
IT14 – Ecosistemi marini della Sardegna	IT14-001-M	Golfo dell'Asinara https://deims.org/1c9f9148-e8dc-4b67-ac13-ce387c5a6a2f
	IT14-002-M	Golfo di Olbia https://deims.org/3178d0fb-0789-4992-9c51-1ddb50b7e871
	IT14-003-M	Laguna di Cabras https://deims.org/d5071d21-9c8f-47cc-b534-1b1162a5e09c
	IT14-004-M	Laguna di Santa Giusta https://deims.org/6f7581f0-e663-4681-bf9d-4668d6c3f2ba
	IT14-005-M	Laguna di S'Ena Arrubia https://deims.org/3aecddfd-36e2-40ec-b89f-808607264657
IT15 – Mar Ligure	IT15-001-M	Area Marina Protetta di Portofino https://deims.org/769556a6-0ee6-46a9-acbb-a1f2d51c07e8
	IT15-002-M	Mar Ligure Orientale https://deims.org/56a6b13f-7c03-4bfa-ad4f-5f7e0f8189ca
IT16 – Laguna di Venezia	IT16-001-M	Laguna di Venezia https://deims.org/f7d94927-17be-4d3d-9810-e3c9bc91829c
IT17 – Stazioni di ricerca in Antartide	IT17-001-M	Mooring A https://deims.org/86b6465c-b604-4efa-9145-0805f62216f4
	IT17-002-M	Mooring B https://deims.org/1fb62b9c-4d5c-4f1f-8882-807032337de7
	IT17-003-M	Mooring D https://deims.org/b4121cd7-8b02-4872-b1d2-516d1c02056a
	IT17-004-M	Mooring H https://deims.org/63a444a3-22e1-44fe-a7e3-7982366a2c1b
	IT17-005-M	Macrosito Baia Terranova (MOA-BTN) https://deims.org/7fb8e2c6-b11f-41a7-b494-44ceeb3bed2d
IT22 – Mar Piccolo di Taranto	IT22-001-M	Mar Piccolo di Taranto https://deims.org/ede24c6e-9cf2-4cf8-8bf7-36ba327403b4
IT24 – Lagune del Salento	IT24-001-M	Acquatina https://deims.org/8e1909ae-afc0-4207-9314-68e234d57405
	IT24-002-M	Alimini https://deims.org/765cad42-25da-4893-b4cc-cb1f393b4b47

* Le informazioni sui siti nazionali sono accessibili sul sito web di LTER-Italia (<http://www.lteritalia.it>) e tramite il registro dei metadati dei siti di LTER (DEIMS-SDR: Dynamic Ecological Information Management System - Site and Dataset Registry <https://deims.org/>). **Il Codice Sito Italia fa riferimento alla codificazione precedente alla attuale (<https://deims.org/>), che la ha sostituita. È stato qui inserito per riferimento allo storico (Bertoni 2012) e per coerenza con i capitoli dei Macrositi e siti di questo volume



Fig. 2 - Localizzazione dei siti della Rete LTER-Italia nel territorio italiano.

I siti terrestri sono evidenziati in arancione, quelli di acqua dolce in blu, quelli marini in verde e quelli di acque di transizione in azzurro.

Nella Rete LTER-Italia sono presenti anche 7 siti extraterritoriali come citati in Figura

LTER-Italia è una struttura aperta e in evoluzione che periodicamente verifica la congruità delle attività dei siti con gli obiettivi LTER, basandosi su criteri accettati e condivisi a livello internazionale, quali ad esempio: i) la disponibilità di serie continue di dati (almeno 10 anni) e attività in corso, ii) lo svolgimento di ricerca ecologica strutturata su temi strategici (es. cambiamenti climatici, biodiversità, flussi biogeochimici, acidificazione, etc.), con risultati elaborati e pubblicati, iii) la disponibilità di adeguate risorse finanziarie e prospettive di mantenimento del sito nel lungo termine, iv) la capacità di divulgare i risultati, anche ad un pubblico non specializzato. Ogni cinque anni il Comitato di Coordinamento e il Segretariato della Rete, con il supporto di esperti esterni, verificano la congruità delle attività dei siti con gli obiettivi sopraelencati.

Sviluppo ed evoluzione della Rete LTER-Italia dal 2006 al 2021

A partire dal 2020, la Rete LTER-Italia ha cominciato a beneficiare di un finanziamento di base del MUR nel Fondo Ordinario Enti del Cnr. I siti afferenti portano avanti le attività con progettualità regionali, nazionali e internazionali, generalmente in autonomia, a volte con iniziative che coinvolgono più siti e Istituzioni. Inoltre, le attività LTER sono inserite tra quelle istituzionali degli Enti, Università e Agenzie coinvolte, che quindi le sostengono anche con il loro finanziamento ordinario e con unità di personale dedicato (Appendici 3 e 4). La Rete LTER-Italia è stata inserita nel Piano Nazionale per le

Infrastrutture di Ricerca 2021-2027 (PNIR 2021-2027, Decreto Ministeriale n.1082 del 10-09-2021) tra le infrastrutture di alta priorità.

Alcuni progetti e network hanno svolto un ruolo fondamentale per lo sviluppo della Rete. Nel 2004 il *Network of Excellence* “Alternet” (“*A Long-Term Biodiversity, Ecosystem and Awareness Research Network*”, FP6, 2004-2009 – <http://alterneteurope.eu/>), costituito da 24 organizzazioni di 17 paesi europei con focus sulla biodiversità ha consentito una prima formalizzazione della rete LTER-Italia, dato che aveva tra i suoi obiettivi anche la creazione della rete europea LTER. L'iniziativa si concretizzò, grazie alla garanzia istituzionale offerta dall'unico partner italiano, il Corpo Forestale dello Stato (Servizio CONECOFOR), che operava nell'ambito del Ministero per le Politiche Agricole, Alimentari e Forestali.

Tra il 2010 e il 2014 il progetto LIFE+Enveurope (“*Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring*”; www.eneveurope.eu), ideato dal Servizio CONECOFOR del Corpo Forestale dello Stato e poi coordinato dal CNR, svolto in collaborazione con 11 Paesi e con più di 60 siti della Rete Europea e co-finanziato dall'Unione Europea, ha portato ad un avanzamento significativo nell'integrazione delle misure e degli approcci di ricerca LTER. Nello stesso periodo (2010-2012) il progetto LIFE FACTS (“*Forest biodiversity assessment across Europe: towards an integrated system for biodiversity monitoring*”, coordinato dal CRA – ora CREA – con 11 Paesi coinvolti per un totale di 13 Partner) ha contribuito alla realizzazione di un sistema integrato di monitoraggio della biodiversità negli ecosistemi forestali. Anche il Progetto Bandiera Ritmare (2012-2017) ha sostenuto la Rete LTER-Italia, soprattutto per quanto riguarda la gestione dei dati, lo sviluppo di osservatori ecologici in Adriatico e nel Golfo di Napoli, il consolidamento delle infrastrutture osservative marine esistenti, le azioni nella Laguna di Venezia inerenti la protezione dagli allagamenti (Mose) e ricerche riguardo l'impatto delle attività antropiche sulla laguna (Appendici 3 e 4).

La creazione delle Reti nazionali è strettamente collegata a dinamiche internazionali e anche per LTER-Italia il processo di consolidamento è stato ed è strettamente connesso a quello della Rete Europea LTER-Europe. Nel 2015 è stato avviato il processo di trasformazione di LTER-Europe in una Infrastruttura di Ricerca (denominata eLTER-RI dal 2018), attraverso una serie di progetti e iniziative a livello europeo. In quell'anno e sino al 2019, è stato realizzato il progetto H2020 “eLTER” finanziato nel settore INFRAIA (accesso e sviluppo a infrastrutture di ricerca), per una “Starting Community”. Il CNR è stato partner italiano del progetto, coinvolto in numerose attività con un'ottica di servizio alla Rete. Sempre del 2015 è stata presentata la prima proposta per inserire eLTER nella roadmap dello “European Strategy Forum on Research Infrastructures (ESFRI)” del 2016. La proposta non fu accettata, ma eLTER venne indicata tra le “Emerging Infrastructures”. Nel 2017 è stato finanziato dall'Unione Europea un progetto H2020 annuale (Advance-eLTER) finalizzato alla presentazione della proposta per inserire eLTER nella roadmap ESFRI dell'anno successivo. La proposta, presentata sotto il coordinamento dello UFZ di Helmholtz (Germania), ha ricevuto il supporto di 26 Paesi di cui 17, tra cui l'Italia, hanno espresso un supporto più ampio anche a livello politico-ministeriale, ed è stata approvata con inclusione di eLTER-RI nella roadmap ESFRI 2018. È significativo segnalare che l'Italia, nella proposta eLTER-ESFRI, è stato il Paese che ha presentato il numero maggiore di lettere di adesione (*Memorandum of Understanding*) di Enti e Istituzioni (26 su un totale di 161 lettere da 27 Paesi).

Dal 2020, il percorso europeo verso eLTER-RI, in cui è inserita la Rete LTER-Italia, ha attivi due progetti di durata quinquennale che hanno come finalità lo sviluppo di eLTER-RI: il progetto “preparatorio” eLTER-PPP (Preparatory Phase Project della call H2020-INFRADEV) che ha l'obiettivo di sviluppare le componenti della infrastruttura di ricerca eLTER-RI (entità legale, governance, Head Office, centri tematici, *standard observations*, la rete di siti LTER e piattaforme LTSER e i servizi) ed il progetto eLTER-PLUS di “Advanced Community” (call INFRAIA), finalizzato a disegnare e migliorare i servizi che l'infrastruttura potrà fornire, in linea con le grandi sfide scientifiche attuali e del futuro (perdita di biodiversità, controllo biogeochimico delle funzioni ecosistemiche, nesso tra clima-acqua e produzione di cibo, sistemi socio-ecologici); tale progetto prevede anche l'accesso a 45 siti europei, tra cui due italiani: il Lago Maggiore e l'Isola Pianosa. L'Italia è presente nei due progetti tramite il CNR, che anche in questo caso assume un ruolo di servizio e riferimento per la Rete

nazionale. L'Italia è anche presente con i siti Lago Maggiore e Appennino centro-meridionale Majella-Matese nel progetto LifePlan ERC Synergy.

Inoltre, la Rete LTER-Italia ha sviluppato e consolidato una sinergia con “LifeWatch Italy”, che è la componente nazionale dell’infrastruttura di e-Science per la ricerca su biodiversità ed ecosistemi LifeWatch-ERIC. LTER-Italia ha contribuito notevolmente allo sviluppo di LifeWatch-Italy, fornendo i dati provenienti dai siti per la realizzazione dei primi laboratori virtuali, tra i quali quello sulle specie aliene (<https://www.lifewatch.eu/alien-species-vre>, Corriero *et al.* 2016; Malavasi *et al.* 2018).

Oltre a LifeWatch, LTER-Italia ha importanti connessioni con altre Infrastrutture e Reti europee che studiano ecosistemi, biodiversità e cambiamenti climatici, nonché con i servizi per la gestione di dati ambientali a livello nazionale (Fig. 3 e 4). Tra le più importanti collaborazioni citiamo quelle con: i) Sistema comune di Informazioni Ambientali (SEIS); ii) Global Monitoring for Environment and Security (GMES), iniziativa congiunta tra Unione Europea e l’European Space Agency (ESA); iii) ACTRIS – Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure; iv) ICOS ERIC – Integrated Carbon Observation System; v) Danubius-RI; vi) EMBRC ERIC – European Marine Biological Resource Centre; vii) AnaEE RI – Analysis and Experimentation on Ecosystems, viii) LifePlan ERC Synergy. A Planetary inventory of Life-a New Synthesis Built on Big Data Combined with Novel Statistical Methods (ERR 2019-SyG) (Appendice 4).

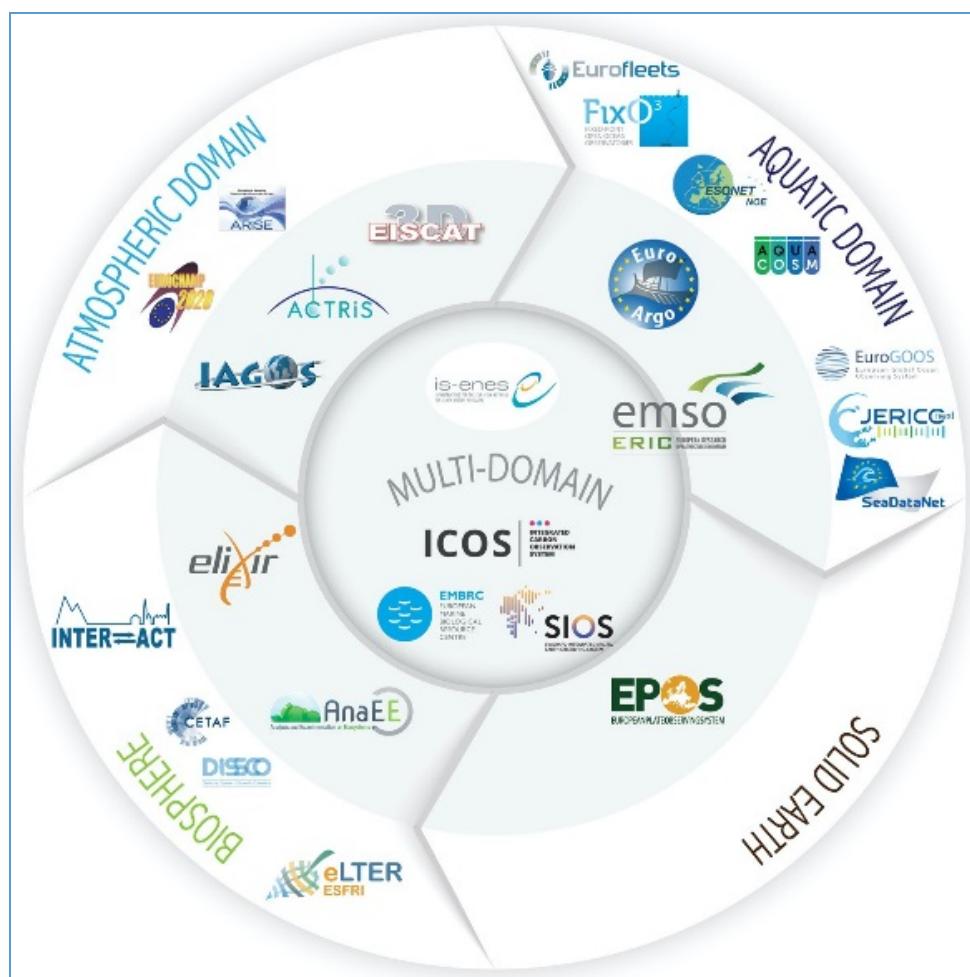


Fig. 3 - Principali infrastrutture di rilevanza ambientale - Progetto Envriplus H2020 (<https://www.envriplus.eu/>)

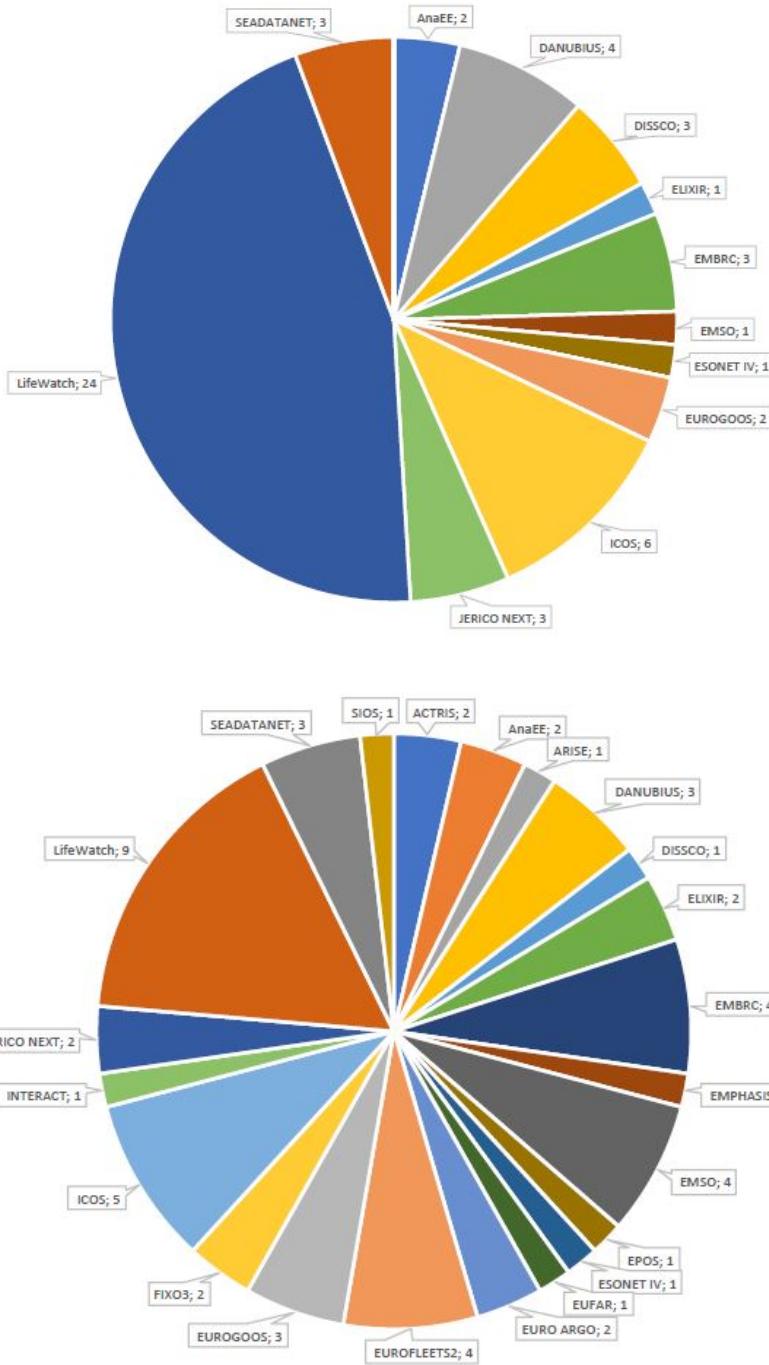


Fig. 4 - Partecipazione dei Siti LTER (in alto) e delle Istituzioni (in basso)
alle infrastrutture di ricerca europee del settore ambiente e sistema terra

A partire dalla fase della proposta di inserimento nella roadmap ESFRI (2018), la Rete LTER-Italia ha avviato il processo di costituzione di una Joint Research Unit (JRU), per avere un maggior riconoscimento formale, quale infrastruttura per la ricerca nazionale, da Parte del Ministero dell'Università e della Ricerca.

Siti della Rete LTER-Italia si trovano pressoché in tutte le regioni italiane. Tra gli Enti responsabili dei siti sono presenti organizzazioni di Regioni e Province. Alcune Regioni hanno ufficialmente inserito i siti LTER nella loro strategia delle infrastrutture di ricerca o li hanno riconosciuti nell'ambito di altre iniziative. L'Emilia Romagna ha inserito il sito Delta del Po e Costa Romagnola nella strategia Por-FERS (vedi Appendice 4). Il sito Lago Maggiore fa parte della Convenzione Internazionale per la

protezione delle Acque Comuni fra Italia e Svizzera, cui aderiscono i Governi Svizzero e Italiano e le Regioni Lombardia e Piemonte. La Provincia Autonoma di Bolzano contribuisce finanziariamente da anni al sito Val Mazia, gestisce direttamente il sito forestale di Renon e collabora alle attività di diversi siti in laghi alpini. Le attività di ricerca dei siti sardi sono condotte insieme ad Agris e ENAS (vedi Appendice 4). In numerosi siti sono attive collaborazioni con uffici delle Regioni e delle Province, incluse diverse Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) (Appendice 3).

A oggi LTER-Italia contribuisce alla Strategia Nazionale di Specializzazione Intelligente (SNSI, S3) in diversi ambiti:

- Aerospazio – siti di ricerca come stazioni privilegiate di riferimento a terra per i diversi sistemi per l'osservazione della Terra.
- Agrifood – studi *in situ* sulla sostenibilità della produzione primaria in foreste e agricoltura e connessioni con la biodiversità a diverse scale; monitoraggio avanzato delle foreste.
- Blue Growth – monitoraggio avanzato di sistemi marini e di acque di transizione, in relazione alla ricerca e tutela ambientale.
- Cultural Heritage – ruolo socio-culturale dei siti di ricerca a lungo-termine, turismo scientifico e citizen science. Analisi a scala territoriale e di paesaggio.
- Energia – impatto dei diversi sistemi di produzione energetica sugli ecosistemi e sul paesaggio.
- Fabbrica Intelligente – utilizzo di tecnologie ICT per il monitoraggio ambientale, la raccolta e la distribuzione di dati ecologici e socio-ecologici.
- Salute – ruolo degli ecosistemi e della loro naturalità sulla salute.
- Smart, Secure and Inclusive Communities – monitoraggio avanzato e integrato del territorio, prevenzione di eventi critici o di rischio (early warning ambientale e sui cambiamenti climatici).

L'infrastruttura LTER ha un ruolo significativo nel fornire basi scientifiche alla programmazione di strategie e all'attuazione di provvedimenti per la tutela e la gestione del territorio, degli habitat e delle specie selvatiche rispettose della struttura e delle funzioni ecologiche della biosfera, in modo da risolvere la drammatica crisi della biodiversità, anche per assicurare un futuro vivibile alle attuali e future generazioni. Inoltre, LTER-Italia contribuisce alla condivisione e all'integrazione delle informazioni socio-ecologiche necessarie per comprendere e gestire problemi ambientali sia attuali sia futuri, a livello locale e globale. Tramite lo studio e il mantenimento delle estese serie temporali e spaziali di dati ecologici, è possibile, infatti, individuare i fattori che influenzano gli ecosistemi, comprendendo i fenomeni legati ai cambiamenti climatici (Mazzocchi *et al.* 2019). Con il monitoraggio continuo di questi processi socio-ecologici, LTER-Italia contribuisce anche alla realizzazione degli obiettivi dell'Agenda 2030 dell'ONU, fornendo strumenti di pianificazione e di verifica della gestione delle risorse del territorio, utili per la sostenibilità dello sviluppo economico e sociale del Paese, con ricadute sulla gestione delle foreste, dei mari, dei laghi e su tutta l'economia ad essi connessa.

Esistono anche forti connessioni fra LTER-Italia e la valutazione degli impatti dell'emergenza pandemica “Covid-19”, poiché, durante la pandemia, gli studi e le osservazioni nei siti sono proseguiti, seppure in molti casi con minore regolarità, e potranno essere uno strumento di analisi importante per la valutazione e lo studio delle risposte dei sistemi ecologici e socio-ecologici. Inoltre LTER-Italia è attiva da sempre nella comunicazione verso la popolazione e le scuole, per promuovere attenzione, responsabilità sociale e cura del territorio (Bergami *et al.* 2018) e si caratterizza per un approccio equilibrato alle questioni di genere nella ricerca ecologica (Pugnetti *et al.* 2011, Ravaioli *et al.* 2015).

In sintesi, la Rete LTER-Italia rappresenta uno strumento essenziale per affrontare le sfide ambientali attuali e quelle che ci attendono nei prossimi anni, in particolare in relazione alla crisi della biodiversità, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici, che sono descritte in diversi piani e strategie per le prossime decadi (Green Deal, Next Generation EU, EU Biodiversity Strategy) (Matteucci *et al.* 2021, questo volume).

Sitografia

LTER-Italy www.lteritalia.it
ILTER www.lter.network
LTER-Europe www.lter-europe.net
Informazione sui siti: <https://deims.org/>
eLTER-PPP <https://www.lter-europe.net/projects/PPP>
eLTER-PLUS <https://www.lter-europe.net/projects/PLUS>
eLTER-ESFRI <https://www.lter-europe.net/news/elter-on-esfri-2018-roadmap>
LifeWatch Italia <https://www.lifewatchitaly.eu/it/home-it/>
LifeWatch ERIC <https://www.lifewatch.eu/>, <https://www.lter-europe.net/news/research-at-italian-lter-sites-presented-in-special-issue>
Agenda 2030 ONU <https://unric.org/it/agenda-2030/>
Progetto Envriplus H2020 <https://www.envriplus.eu/>
SNSI, S3 <https://www.agenziacoesione.gov.it/s3-smart-specialisation-strategy/>
LifePlan ERC Synergy <https://cordis.europa.eu/project/id/856506/it>

Bibliografia

- Bergami C., Campanaro A., Capotondi L., Cataletto B., Lami A., Matteucci G., Mazzocchi M.G., Motta R., Pugnetti A., Ravaoli (2018). La Ricerca Ecologica di Lungo Termine (LTER) e la Rete LTER-Italia Volume I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. A cura di: Bergami C., Pugnetti A. e Lastorina A. – Volume CNR Edizioni (2018), pp. 180. ISBN (online) 97888080304-1, ISBN (cartaceo) 97888080312-6. DOI: 10.32018/97888080304.
- Bergami C., CdC LTER Italia, presentatori delle RI selezionate - Le infrastrutture di ricerca del settore ambiente e la rete Lter-Italia. XIII Assemblea formale della Rete LTER-Italia 26 novembre 2019- Bologna (Presentazioni_XIIIAssembleaLTER – Google Drive).
- Bertoni R. (a cura di) (2012). La Rete Italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006–2011). Aracne Editrice, Roma, pp. 228.
- Corriero G., Pierri C., Accoroni S. et al. (2016). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: A case study on marine habitats along the Italian coast. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 26, 392-409. DOI: 10.1002/aqc.2550.
- Haberl H., Winiwarter V., Andersson K., Ayres R.U., Boone C., Castillo A., Cunfer G., Fischer-Kowalski M., Freudenburg W.R., Furman E., Kaufmann R., Krausmann F., Langthaler E., Lotze-Campen H., Mirtl M., Redman C.L., Reenberg A., Wardell A., Warr B. and Zechmeister H. (2006). From LTER to LTSER: conceptualizing the socioeconomic dimension of long-term socioecological research. Ecology and Society 11 (2): 13.
- Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L., Bartolozzi L., Basset A., Bassignana M., Campanaro A., Canullo R., Carruggio F., Cavallaro V., Cianferoni F., Cindolo C., Cocciufa C., Corriero G., D'Amico F.S., Forte L., Freppaz M., Mantino F., Matteucci G., Pierri C., Stanisci A., Colangelo P. (2018). Plant invasions in Italy: An integrative approach using the European LifeWatch infrastructure database. Ecological Indicators 91: 182-188.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.038>.

-
- Matteucci G., Bianchi F., Bertoni R., Pugnetti A., Ravaioli M. (2007). "Ricerche ecologiche di lungo termine (LTER) e cambiamenti climatici: il ruolo del CNR". In: Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR. A cura di Bruno Carli, Giuseppe Cavarretta, Michele Colacino, Sandro Fuzzi. Edito dal CNR.
- Matteucci G., Bergami C., Campanaro A., Capotondi L., Cataletto B., Lami A., Motta R., Pugnetti A., Ravaioli M., Mazzocchi M.G. (2021). Prospettive per il futuro della Rete LTER-Italia. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti. Roma, CNR-Editioni, p. 747-752. DOI: 10.5281/zenodo.5589841.
- Mirtl M., Borer E., Djukic I., Forsius M., Haubold H., Hugo W., Jourdan J., Lindenmayer D., McDowell W.H., Muraoka H., Orenstein D., Pauw J., Peterseil J., Shibata H., Wohner C., Yuk X. and Haase P. (2018). Genesis, goals and achievements of Long-Term Ecological Research at the global scale: A critical review of ILTER and future directions. *The Science of the Total Environment* 626: 1439-1469.
- Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (2019). Special Issus: Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Natur Conservation*.
<https://natureconservation.pensoft.net>, V. 34, 7.
- Pugnetti A., Ravaioli M. & Focaccia P. (2011). Così tessiamo una rete europea. *Sapere*, 77, 54-61.
- Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci A. & Cesarini C. (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l'esempio della rete LTER-Italia. In Avveduto S., Paciello M. L., Arrigoni T., Mangia C. & Martinelli L. (A cura di), Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve. Roma: CNR-IRPPS e-Publishing, 91-103.
- Ravaioli M., Matteucci G., Mazzocchi M.G., Bergami C., A Campanaro A., Capotondi L., Cataletto B., Andrea Lami A., Motta R., Petriccione B., Pugnetti A. (2021). Nascita e sviluppo della Rete LTER-Italia. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti. Roma, CNR-Editioni, p. 11-15.
DOI: 10.5281/zenodo.557032413-17.

Strumenti e servizi per la gestione dei dati prodotti dalla Rete

Autori

Alessandro Oggioni¹, Caterina Bergami², Martina Zilioli¹, Paolo Tagliolato¹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

Nel volume prodotto in occasione del quinquennale della Rete LTER-Italia del 2011 è stato dedicato un intero capitolo alla descrizione della “Infrastruttura Spaziale di Dati nei siti LTER” (Oggioni *et al.* 2011). Sebbene essa fosse solo agli albori, era già chiaro che le Reti, Nazionale ed Europea, lavorassero congiuntamente per proporre modalità di gestione e curatela del dato in linea con le legislazioni e le pratiche internazionali. Da allora, le attività intraprese sono state numerose e, soprattutto nell’ambito dei due progetti europei Life+ EnvEurope ed eLTER H2020, è stato possibile implementare strumenti per l’archiviazione, la ricerca e la distribuzione di dati, e relativi metadati, specificamente pensati per la ricerca ecologica di lungo termine.

Qui di seguito verranno descritti gli strumenti realizzati, gli obiettivi, le modalità e le ragioni per cui un dato, una volta raccolto, debba essere condiviso.

Se da un lato la cura dei dati e la stesura di metadati adeguatamente strutturati sono processi chiave, dall’altro la disponibilità nella rete di entrambi permette un miglior utilizzo, un reale confronto e un’efficace analisi anche quando essi sono raccolti in ambiti progettuali diversi.

Il lavoro intrapreso nella comunità LTER è destinato a fornire dati controllati e affidabili a supporto della ricerca, per l’elaborazione di politiche ambientali efficaci e per la valutazione del loro impatto. Al fine di promuovere lo scambio e la condivisione di informazioni, i dati devono essere descritti utilizzando schemi di metadato specifici e vocabolari controllati. Ciò richiede un’adeguata descrizione dei dataset acquisiti dai siti LTER, dei servizi forniti e dei sistemi di osservazione, nonché lo sviluppo di infrastrutture informatiche che consentano la ricerca e l’accesso ai dati attraverso la rete (*web-based*).

La gestione dei dati per la maggior parte dei siti LTER è responsabilità di chi gestisce il sito stesso (Mirtl *et al.* 2018). Ciò crea un’elevata eterogeneità di formati e anche di strumenti di gestione.

Per tentare di superare questa eterogeneità, la Rete LTER europea fornisce, ad uso di tutti i network che ne fanno parte, una serie di strumenti e metodi (Zilioli *et al.* 2021) a sostegno della comunità LTER per la gestione dei metadati e dei dati di diverse entità della rete di ricerca (siti, network, dataset, e persone) (Fig. 1). Questo consente di ottenere uniformità nelle pratiche di gestione di metadati e dati a livello dei nodi nazionali e regionali mediante norme e servizi comuni.

Di seguito vengono presentati e brevemente descritti alcuni degli strumenti a disposizione della comunità LTER e utilizzati anche dalla Rete LTER-Italia; ognuno di essi assicura diversi livelli di interoperabilità (sintattica, strutturale, semantica e legale).

Citare questo capitolo come segue: Oggioni A., Bergami C., Zilioli M., Tagliato P. (2021). Strumenti e servizi per la gestione dei dati prodotti dalla Rete, p. 33-39. DOI: 10.5281/zenodo.5572354. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

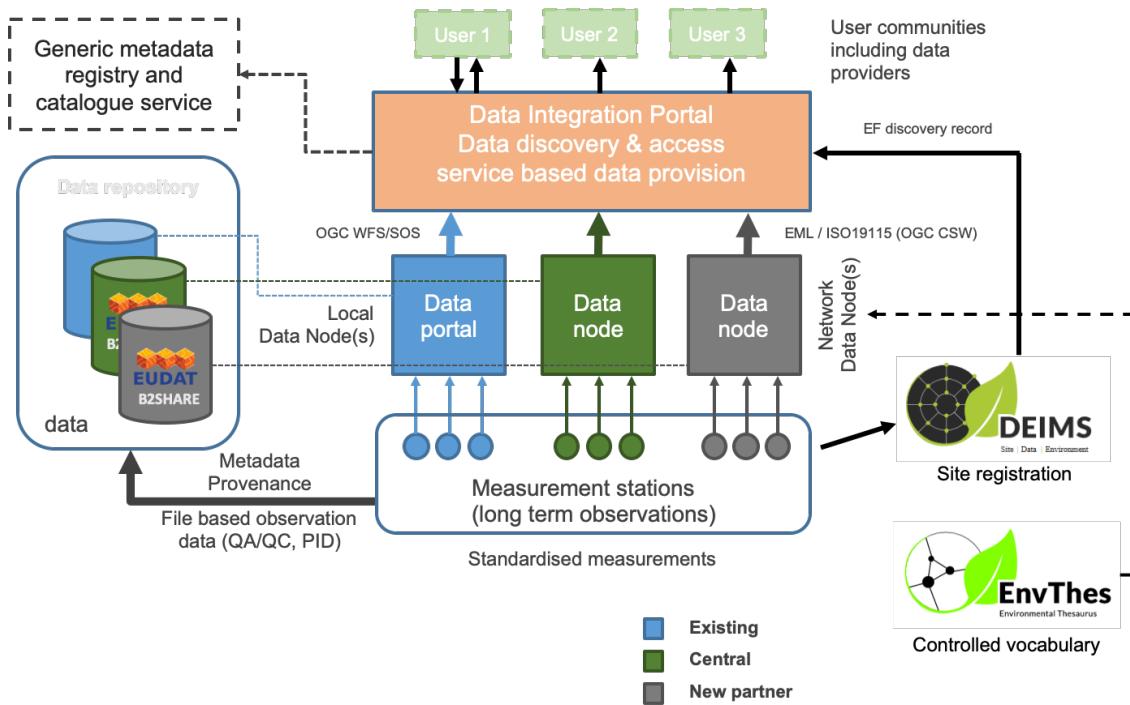


Fig. 1 - eLTER Information System (da Peterseil et al. 2018)

Dynamic Ecological Information Management System – Site and Dataset Registry (DEIMS-SDR)

DEIMS-SDR² è il registro ufficiale dei siti e dei dataset di tutta la Rete LTER Internazionale (ILTER) (Wohner et al. 2019). È un sistema sviluppato dall’Università del Nuovo Messico, l’Università di Puerto Rico, l’Università del Wisconsin e da Palantir.net ed esteso poi da LTER Europa al fine di descrivere al meglio i dati ecologici e le strutture di monitoraggio ambientale. Nella attuale versione DEIMS-SDR consente di descrivere, i siti di ricerca LTER e le entità ad essi collegati (Fig. 2): i network a cui i siti afferiscono, i dataset raccolti nei siti e le persone che lavorano nei siti.

DEIMS-SDR consente una descrizione dettagliata dei singoli siti di ricerca con informazioni sulle attività di ricerca, sulle infrastrutture tecniche (e.g. dispositivi sensoristici, strumentazioni per il campionamento) presenti e sui parametri ambientali misurati.

A ogni sito viene attribuito un codice DEIMS.ID³, che permette di identificarlo e citarlo in maniera univoca e persistente, esattamente come si farebbe con il DOI di una pubblicazione.

Attraverso DEIMS-SDR è inoltre possibile accedere direttamente ai metadati relativi ai dataset o ad altri prodotti della ricerca che fanno riferimento a un determinato sito. I singoli siti possono utilizzare questo strumento per descrivere, attraverso uno schema di metadato comune, i dataset prodotti e condivisi attraverso repository generalisti o più specifici (es. Zenodo, Pangae, etc...). La Rete LTER-Italia suggerisce di utilizzare Zenodo, in quanto è un archivio per i tutti i dati riguardanti le scienze della vita, le scienze naturali e le scienze ingegneristiche, è ospitato dal CERN e finanziato dall’Unione Europea. Zenodo ha una serie di funzionalità utili a supporto della scienza aperta e i suoi contenuti sono indicizzati su “Thomson Reuters Data Citation Index”.

DEIMS-SDR, grazie alle sue specifiche, assicura i livelli di interoperabilità sintattica, strutturale e legale dei metadati.

² <https://deims.org>

³ <https://deims.org/docs/deimsid.html>

 DEIMS-SDR [Explore](#)▼ [Documentation](#)▼ [Log in](#)

Latest Updates

-  Mar Piccolo of Taranto phytobenthos biomass from 2011 to 2019
2020-02-03 16:16
-  Simon Stevin Research Vessel - Belgium
2020-01-31 13:36
-  VLIZ Thornton Buoy - Belgium
2020-01-31 12:15
-  Wytham: solar radiation - 1991-2015 (UK Environmental Change Network (ECN))
2020-01-31 09:46
-  Wytham: precipitation - 1991-2015 (UK Environmental Change Network (ECN))
2020-01-31 09:45
-  Wytham: air temperature - 1991-2015 (UK Environmental Change Network (ECN))
2020-01-31 09:44
-  Wytham: UK Environmental Change Network (ECN) Stream Water Chemistry data: 1992-2015
2020-01-31 09:43

Welcome to DEIMS-SDR

DEIMS-SDR (Dynamic Ecological Information Management System - Site and dataset registry) is an information management system that allows you to discover long-term ecosystem research sites around the globe, along with the data gathered at those sites and the people and networks associated with them. DEIMS-SDR describes a wide range of sites, providing a wealth of information, including each site's location, ecosystems, facilities, parameters measured and research themes. It is also possible to access a growing number of datasets and data products associated with the sites. [Read more about DEIMS](#)

RESOURCES

-  [Sites](#)
-  [Datasets](#)
-  [Sensors](#)
-  [Activities](#)

Fig. 2 - Pagina introduttiva di DEIMS-SDR

Data Integration Portal (DIP)

DIP⁴ è il catalogo principale della comunità LTER attraverso cui è possibili ricercare, accedere e visualizzare le fonti di dati forniti da tutti i nodi della Rete (Fig. 3).

I dati forniti come servizio OGC SOS possono essere dinamicamente visualizzati e scaricati. DIP assicura l'interoperabilità sintattica e strutturale di dati e metadati.

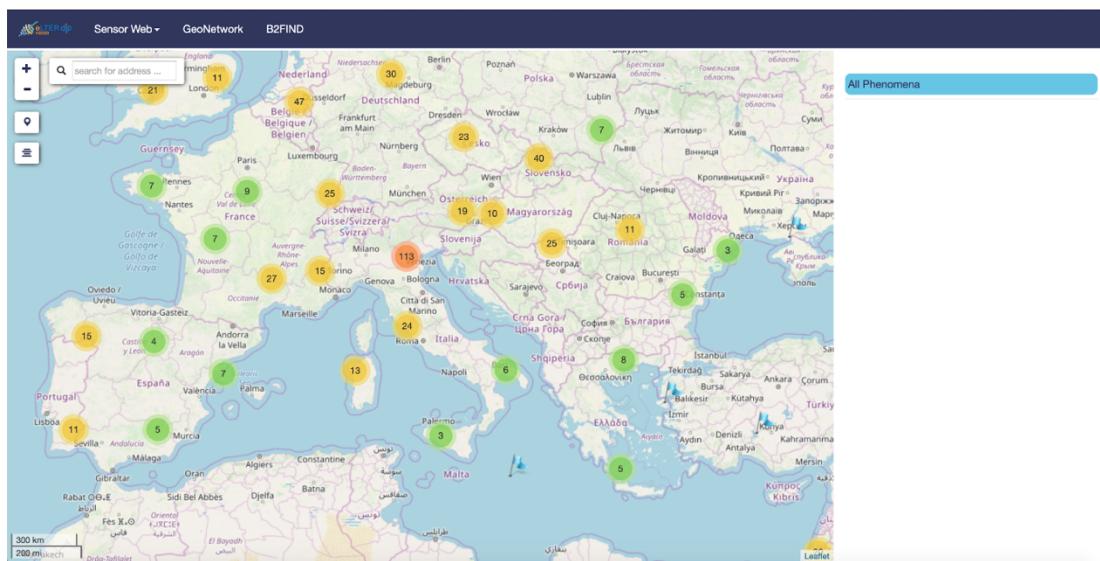


Fig. 3 - DIP Data Integration Platform

⁴ <http://dip.lter-europe.net>

Environmental Thesaurus (EnvThes)

EnvThes⁵ è il vocabolario controllato appositamente implementato per la comunità che si occupa di ricerca ecologica e costituisce il supporto semantico per la descrizione dei siti e dei dati raccolti (viene ad esempio utilizzato, in DEIMS-SDR, per l'autocompletamento delle parole chiave e dei parametri).

Esso è basato sul vocabolario controllato sviluppato dalle Rete ILTER, è libero e aperto e rappresenta uno sforzo collettivo della comunità LTER, in quanto viene costantemente aggiornato ed è tradotto in molteplici lingue.

Geoinformation Enablement Toolkit (GET-IT)

GET-IT⁶ è una suite software che consente ai ricercatori esperti di dominio di abilitare un nodo per la distribuzione interoperabile di dati e metadati. Utilizzando norme pertinenti con le specifiche del web geospaziale (Open Geospatial Consortium – OGC⁷ e W3C⁸), esso consente la distribuzione, attraverso servizi web, dei dati sia con caratteristiche spaziali (e.g. immagini georiferite) sia osservazioni *in-situ* e la creazione di propri archivi di dati territoriali e agevola l'inserimento e la cura di dati e metadati (Menegon *et al.* 2018).

In particolare la nuova implementazione del software include:

- un client, denominato EDI, per la metadatazione, che consente la creazione e la convalida di metadati in conformità a diversi profili o modelli (Pavesi *et al.* 2016). EDI consente di collegare fonti di dati esterne che vengono rese disponibili come risorse semantiche;
- una pagina per la visualizzazione delle caratteristiche del sensore registrato;
- un gestore per le osservazioni raccolte da stazioni *in-situ*, che consente la registrazione di sensori utilizzando il profilo Sensor Metadata Language (SensorML)⁹;
- un'interfaccia di caricamento delle osservazioni raccolte *in-situ*, tramite semplice copia e incolla;
- un client di visualizzazione delle osservazioni caricate su mappa;
- un servizio per l'accesso tramite servizi web alle osservazioni *in-situ*.
- GET-IT assicura i livelli di interoperabilità sintattica, strutturale e semantica di dati e metadati.

Data Policy

Per Data Policy si intende l'insieme di principi più o meno vincolanti che regolano la gestione e la pubblicazione dei dati della ricerca all'interno di un'organizzazione o di una istituzione.

In ambito LTER documenti riguardanti la politica sui dati sono stati prodotti e discussi per lungo tempo e, sebbene esistesse già un documento in forma di bozza a partire dal 2016, solo con la conclusione del progetto eLTER H2020 è stato prodotto un Deliverable interamente dedicato a “*Governance and data policy for sharing and publishing of data*” (Kunkel *et al.* 2019).

eLTER RI incoraggia la condivisione pubblica di dati e metadati, sottolineando la necessità che i dati raccolti a seguito della concessione di fondi pubblici, debbano essere resi disponibili online gratuitamente, con il minor numero possibile di restrizioni e su base non discriminatoria. Gli scienziati LTER dovrebbero fare ogni sforzo per rilasciare i dati in modo tempestivo, correlandoli di metadati accurati e completi per ridurre il numero di interazioni tra l'utente pubblico e il proprietario del dato.

La politica di condivisione dei dati in LTER mira a fornire orientamenti generali e raccomandazioni per lo sviluppo e l'attuazione di politiche locali a livello di rete o sito di ricerca e favorisce altresì l'inclusione della rete internazionale, delle reti nazionali o dei singoli nodi in framework e iniziative di reclutamento (*data mobilization*) e aggregazione di dati su scala globale come quella legata alle Essential

⁵ <http://vocabs.lter-europe.net/edg/tbl/EnvThes.editor>

⁶ <http://get-it.it>

⁷ <https://www.opengeospatial.org>

⁸ <https://www.w3.org>

⁹ <https://www.opengeospatial.org/standards/sensorml>

Biodiversity Variables (EBV) attivata da Group on Earth Observations Biodiversity Observation Network (GEO BON)¹⁰ (Zilioli *et al.* 2019). La Rete LTER-Italia ha recepito le indicazioni di eLTER e si è dotata di una data policy che è stata presentata per la prima volta durante l'Assemblea annuale della Rete, tenutasi a Bolzano a Maggio 2018. Nel documento vengono definiti i tipi di dati che la Rete produce e che può rendere accessibili e vengono proposte una serie di regole per la condivisione sia dei metadati sia dei dati, utilizzando gli strumenti informatici messi a disposizione della comunità LTER (vedi sopra). La data policy LTER-Italia è accessibile a questo link: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3763378>.

Buone pratiche per la gestione dei dati in LTER-Italia

Facendo seguito a quanto indicato nelle Data Policy redatte da eLTER e LTER-Italy e a quanto descritto nei diversi deliverable del progetto eLTER H2020 reperibili on-line¹¹, qui di seguito vengono descritte alcune buone pratiche per la gestione dei dati raccolti in ambito LTER, seguendo il ciclo di vita dei dati (Fig. 4) dalla fase di curatela a quella di utilizzo e passando per la pubblicazione e l'analisi. Le pratiche di acquisizione sono specifiche per sito di ricerca e utilizzano metodi e protocolli definiti in base al tipo di ricerca svolta.

Seguire queste buone pratiche permette al ricercatore LTER di valorizzare i propri dati, rendendoli accessibili, citabili e riutilizzabili, dando ulteriore valore alla propria attività di ricerca e a quella di coloro che collaborano alle diverse fasi del ciclo di vita del dato.

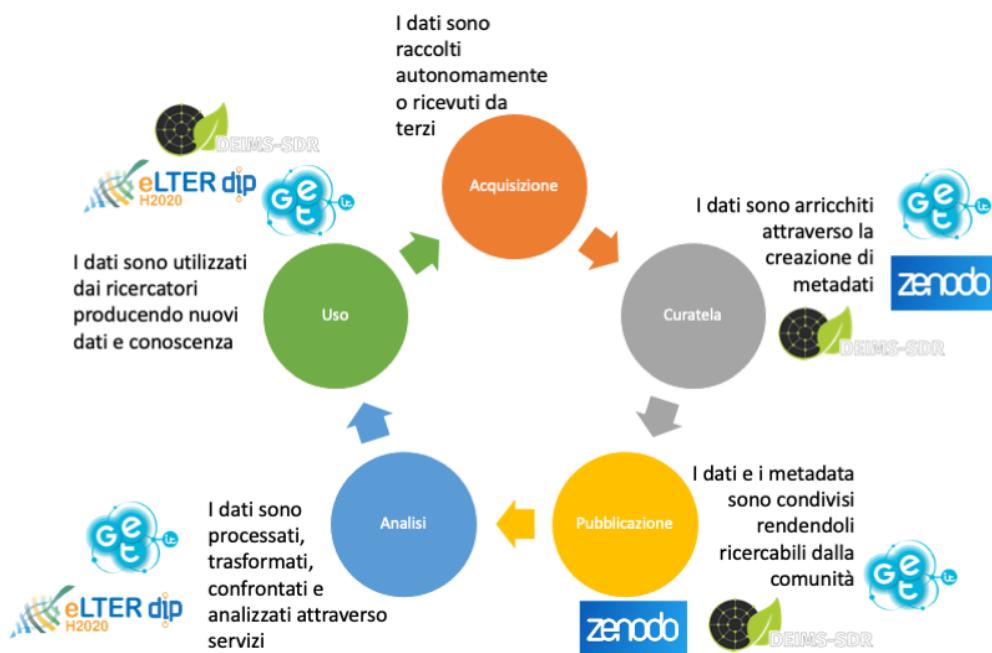


Fig. 4 - Ciclo di vita del dato dall'acquisizione all'uso e relativi strumenti per ogni pratica.
Modificato da ENVR Reference Model¹²

¹⁰ <https://geobon.org>

¹¹ <https://www.lter-europe.net/document-archive/elter-h2020-project-files>

¹² <https://confluence.egi.eu/display/EC/Model+Overview>

Nella tabella (Tab. 1) vengono elencate le fasi, dalla curatela all'uso del dato, descritte le operazioni possibili e indicati gli strumenti a disposizione.

Descrizione della pratica	Fasi del ciclo di vita (Fig. 4)	Strumenti messi a disposizione dall'infrastruttura ELTER
Metadatazione del dataset Metadatazione dei sensori	Curatela	DEIMS-SDR per la metadatazione del dato attraverso il dataset metadata model (DSMM, Kliment <i>et al.</i> 2012) ¹³ di LTER armonizzato con le INSPIRE metadata regulation ¹⁴ e realizzato usando Ecological Metadata Language (EML) ¹⁵ metadata specification; GET-IT (EDI) e DEIMS-SDR per la metadatazione dei dataset e dei sensori; EnvThes per arricchire semanticamente i metadati così che il loro significato sia armonizzato.
Pubblicazione del dataset Citabilità del dataset Pubblicazione del data paper ¹⁶	Pubblicazione	GET-IT e Zenodo per la pubblicazione del dataset così che sia ricercabile; <u>Zendo per l'assegnazione di un DOI al dataset così che sia citabile.</u>
Analisi comparata di serie temporali	Analisi	<u>GET-IT</u> e <u>DIP</u> per la georeferenziazione del punto di acquisizione e la visualizzazione simultanea di più serie temporali.
Scaricamento e riuso del dataset	Uso	<u>GET-IT</u> , <u>DIP</u> e <u>DEIMS-SDR</u> per il download o l'accesso tramite servizi web al dataset e suo riutilizzo tenendo conto della licenza ad esso attribuita.

¹³ <https://deims.org/models>

¹⁴ <https://inspire.ec.europa.eu/documents/inspire-metadata-regulation>

¹⁵ <https://rdamsc.dcc.ac.uk/msc/m16>

¹⁶ Riviste per la pubblicazione dei data paper richiedono la pubblicazione del dataset su repository riconosciuti e la persistenza della risorsa dato attraverso l'uso di PID (es. DOI).

Bibliografia

- Kliment T. & Oggioni A. (2012). EnvEurope (LTER-Europe) Metadata Specification for Dataset Level.
- Kunkel R., Peterseil J., Oggioni A., Wohner Ch., Watkins J., Minić V., Sorg J. (2019). D3.2 Governance and data policy for sharing and publishing of data. <https://www.lter-europe.net/document-archive/elter-h2020-project-files/d3-2-governance-data-policy>.
- Menegon S., Oggioni A., Carrara P. (2018). GET-IT, Geoinformation Enabling ToolKIT starterkit®, Versione 1.0. Roma, CNR Pubblicazioni 2018. pp. 43, ISBN 978-88-8080-299-0. DOI: 10.5281/zenodo.3678070.
- Mirtl M., Borer E.T., Djukic I., Forsius M., Haubold H., Hugo W., Jourdan J., Lindenmayer D., McDowell W.H., Muraoka H., Orenstein D.E., Pauw J.C., Peterseil J., Shibata H., Wohner C., Yu X., Haase P. (2018). Genesis, goals and achievements of long-term ecological research at the global scale: a critical review of ILTER and future directions. *Sci. Total Environ.*, 626, p. 1439-1462, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.001.
- Oggioni A., Manca D., Kliment T. & Bastianini M. (2012). Infrastruttura Spaziale di Dati nei siti LTER – Interoperabilità, archiviazione, condivisione, metadatizzazione. In R. Bertoni (Ed.), *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)* (pp. 23-31). Roma: Aracne.
- Oggioni A., Wohner Ch., Watkins J., Ciar D., Schentz H., Lanucara S., Minić V., Skrbic S., Bodroški Z., Kunkel R., Sorg J., Kliment T., Sanchez F., Magagna B., Peterseil J. (2018). D3.1 eLTER State of the art and requirements. <https://www.lter-europe.net/document-archive/elter-h2020-project-files/d3-1-data-integration>.
- Pavesi F., Basoni A., Fugazza C., Menegon S., Oggioni A., Pepe M., Tagliolato P., Carrara P. (2016). EDI – A Template-Driven Metadata Editor for Research Data. *Journal of Open Research Software – JORS* 4. DOI: 10.5334/jors.106.
- Peterseil J., Watkins J., Minić V., Kunkel R., Oggioni A., Wohner Ch., Magagna B., Ciar D., Sorg J., Mirtl M., Crnojevic V. (2018). eLTER Information System-a European contribution to share scientific data from long term ecosystem research in Europe. <https://lternet.edu/wp-content/uploads/2018/03/2018DatabitsSpringIssue-web.pdf>.
- Tagliolato P., Fugazza C., Oggioni A., Carrara P. (2019). Semantic Profiles for Easing SensorML Description: Review and Proposal. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2019, 8(8), 340. DOI 10.3390/ijgi8080340.
- Wohner C., Peterseil J., Poursanidis D., Kliment T., Wilson M., Mirtl M., Chrysoulakis N. (2019). DEIMS-SDR – A web portal to document research sites and their associated data. *Ecological Informatics*, 51:15-24, ISSN: 1574-9541. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2019.01.005.
- Zilioli M., Oggioni A., Tagliolato P., Pugnetti A., Carrara P. (2019). Feeding Essential Biodiversity Variables (EBVs): actual and potential contributions from LTER-Italy. *Nature Conservation* 34, 477-503. DOI: 10.3897/natureconservation.34.30735.
- Zilioli M., Bergami C., Carrara P., Fugazza C., Oggioni A., Pugnetti A. Tagliolato Acquaviva d'Aragona P. (2021). Enabling the Reuse of Long-Term Marine Biological Observations in Essential Variables Frameworks Through a Practical Approach. *Front. Mar. Sci.*, 8:645997. DOI: 10.3389/fmars.2021.645997.

La risposta degli ecosistemi della Rete LTER-Italia alla variabilità climatica e antropica

Autori

Lucilla Capotondi¹, Mariangela Ravaioli¹, Maurizio Ribera d'Alcalà², Leone Tarozzi¹, Maria Grazia Mazzocchi²

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR – ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

² Stazione Zoologica Anton Dohrn, Villa Comunale, 80121 Napoli, Italia.

Abstract

The LTER-Italy network encompasses 79 sites distributed in terrestrial, freshwater and marine domains and reflects the great variety and biodiversity of environments present in Italy and in two extraterritorial areas under Italian responsibility. The research activities carried out at these sites allow following and understanding the short and long term ecosystem dynamics. This chapter provides a synthetic overview of the results achieved by researches focused on the environmental changes detected in the different types of ecosystems. Studies of the terrestrial sites have shown changes, even on relatively short scales, due to the increase in temperature and the variation in the rainfall regime, and the decrease in snow cover. It has been observed an increase in: i) vegetation cover at medium and high altitudes, ii) distribution of thermophilic species, and iii) microbial biomass in the soil. In addition, variations have been recorded in the composition of insect communities and aquatic fauna. On the other hand, variations observed in the fragile environments of coastal dunes seem to be caused more by anthropogenic activities than by climate change. In the freshwater ecosystems, the most evident effect in large and medium-sized lakes is related to temperature increase, which has affected the winter mixing, especially in large lakes, and the production and seasonal cycle of plankton. In contrast, the decreased impact of reduced acid and non-acid atmospheric depositions and the appearance of alien species, especially in the benthic systems, are connected to the anthropic activities. In marine and transitional ecosystems, plankton seem to respond to the climatic variation with changes in phenology and variations in production, which is, however, also linked to anthropogenic impact such as external nutrient supply. Benthic systems show a more marked response, likely due to a tight interplay of climatic



Fig. 1 - Varietà di tematiche e habitat oggetto di ricerche nella Rete LTER-Italia e presentati in questo capitolo

Citare questo capitolo come segue: Capotondi L., Ravaioli M., Ribera d'Alcalà M. *et al.* (2021). La risposta degli ecosistemi della Rete LTER-Italia alla variabilità climatica e antropica, p. 41-56. DOI: 10.5281/zenodo.5575822. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

variation and anthropogenic pressure, such as the introduction and establishment of alien species mainly linked to commercial use. Terrestrial and aquatic systems, especially the marine ones, respond differently to climate change and anthropogenic activity even if both systems show responses to the temperature increasing. However, it is still difficult to completely disentangle anthropogenic from natural factors that tightly interplay and affect ecosystem components and dynamics.

Introduzione

I 79 siti della Rete LTER-Italia, distribuiti sia nel dominio terrestre che acquatico, rispecchiano la grande varietà di ambienti presenti sul territorio italiano, con la loro biodiversità. I dati raccolti in questi siti, su diverse scale temporali, permettono di seguire e comprendere la dinamica dei cambiamenti ecologici nel breve e lungo termine. Si tratta di informazioni ad ampio spettro, fondamentali per elaborare adeguate strategie di conservazione della biodiversità e uso sostenibile dell'ambiente. Le varie attività di ricerca, descritte in dettaglio per i singoli siti nel capitolo “Macrositi e Siti”, hanno portato ad una ricca produzione scientifica con numerose pubblicazioni, alcune delle quali recentemente raccolte in un numero speciale di *Nature Conservation* (<https://natureconservation.pensoft.net/issue/1387/>).

In questo capitolo viene presentata una sintesi dei risultati di tali attività, focalizzata sui cambiamenti ambientali rilevati nelle diverse tipologie di ecosistemi (Fig. 1).

Ecosistemi terrestri

Gli ecosistemi terrestri della rete LTER-Italia sono distribuiti lungo un’ampia fascia altitudinale: dagli ambienti d’alta quota, alle foreste planiziali, fino alle dune costiere.

Le numerose osservazioni sugli ecosistemi montani, sia Alpini che Appenninici, hanno mostrato l’impatto significativo indotto dalla variabilità climatica verificatasi nell’ultimo secolo. In particolare, si è constatato l’effetto dovuto all’aumento della temperatura, della variabilità nelle precipitazioni e della frequenza degli eventi estremi (Bucchignani *et al.* 2016). Uno studio multidisciplinare e transdominio focalizzato sui siti montani presenti in Italia, Svizzera e Austria, su un arco temporale di circa 20 anni, ha evidenziato una rapida risposta degli ecosistemi montani ai cambiamenti climatici, sebbene con tempi e modalità specifiche per i diversi siti (Rogora *et al.* 2018a). In ambito terrestre, a seguito di un aumento di temperatura è aumentata la copertura vegetale nelle aree alpine e subalpine e, come conseguente riduzione della copertura nevosa, sono aumentate nel suolo sia la temperatura che la biomassa microbica. Nei corsi d’acqua e nei piccoli laghi sono stati osservati, in relazione a variazioni climatiche (es., aumento di temperatura e di scioglimento nevoso) un aumento nelle concentrazioni di soluti, variazioni nei livelli di azoto e cambiamenti nella fenologia e composizione di plancton e benthos. L’indagine ha anche messo in evidenza l’importanza di adottare approcci standardizzati tra siti e network diversi per garantire la confrontabilità dei dati osservati.

Nelle Alpi Nord-Occidentali, in ecosistemi di tundra e foresta montana, le condizioni climatiche e pedoclimatiche hanno influenzato in modo significativo il contenuto di carbonio e azoto nel suolo e in acque lacustri, essendo tale contenuto correlato positivamente al carico cumulativo di neve registrato durante l’anno e al numero di cicli di congelamento e scongelamento (Freppaz *et al.* 2019). Nelle Alpi Centrali, il monitoraggio delle deposizioni atmosferiche e delle concentrazioni di carbonio e azoto nel suolo ha mostrato che la quantità delle piogge controlla significativamente le concentrazioni di carbonio e azoto organico dissolto, per un effetto di diluizione evidente soprattutto a livello di canopia (Balestrini *et al.* 2019). In questo settore alpino sono state rilevate significative variazioni nella distribuzione delle farfalle lungo i gradienti altitudinali, con un generale aumento della ricchezza delle specie e un aumento di specie generaliste e altamente mobili a spese di quelle specialiste e di quelle meno mobili (Cerrato *et al.* 2019). Per le Alpi Orientali, modelli predittivi indicano che un aumento della temperatura di 2,8°C porterebbe in tre anni ad un aumento significativo della biomassa vegetale e ad un notevole turnover di specie (Niedrist *et al.* 2016). Un modello eco-idrologico, che permette di valutare gli impatti delle variazioni climatiche sulle risorse idriche e sulla produttività della vegetazione in ambienti montani, ha

mostrato un bilancio idrico positivo al di sopra di 1500 m s.l.m. mentre a quote più basse, senza irrigazione la produttività dei prati diminuirebbe significativamente (Della Chiesa *et al.* 2014). In Val di Mazia, nel bacino idrografico del Rio Saldura, sia l'abbandono che l'intensificazione di prati e pascoli agricoli hanno causato una diminuzione della biodiversità. La presenza di pascoli aridi, oltre ad accogliere molte specie, consente la permanenza di quelle più rare (Hilpold *et al.* 2018). L'aumento di portata del Rio Saldura, con i suoi picchi nei mesi di giugno e luglio legati prevalentemente al crescente scioglimento di neve e ghiaccio, ha portato ad una diminuzione dell'abbondanza e della diversità nel macrozoobenthos (Rogora *et al.* 2018a; Scotti *et al.* 2018). In campioni di suolo prelevati a 2000 e 2500 m di altitudine è stata recentemente segnalata la presenza del coleottero *Opetiopalpus sabulosus*, il cui ritrovamento rappresenta il primo record per le Alpi europee e per l'Europa centrale (Steinwandter *et al.* 2019). Questa specie vive in praterie asciutte caratterizzate da basse precipitazioni e poco sfruttate per il pascolo, ambienti che si stanno rivelando habitat di elevata biodiversità.

Sugli Appennini si sono osservate significative variazioni nella distribuzione delle specie vegetali, con un generale aumento, in corrispondenza delle quote più alte, dell'abbondanza di specie termofile, in relazione all'aumento della temperatura registrato nell'ultimo secolo. Tale aumento, nella zona Majella-Matese è stato di 2,87°C in primavera, di 4,38°C in inverno e di 3,17°C per le minime estive (Dai *et al.* 2017). Nell'Appennino settentrionale (Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano e parte del Parco Regionale dell'Appennino Modenese) si è registrata una perdita di specie criofile o tipiche di ambiente alpino (Pauli *et al.* 2012), mentre è aumentata l'abbondanza di graminacee e arbusti (Porro *et al.* 2019; Rogora *et al.* 2018a). La popolazione della specie criofila *Silene sueica* è diminuita costantemente e la produzione di scapi fiorali di *Alopecurus alpinus* e *Vicia cusnae* è risultata correlata negativamente con eventi di caldo estremo (Abeli *et al.* 2012a, 2012b). Nell'Appennino centro-meridionale (Majella-Matese), si è osservato uno spostamento, verso le alte quote, di piante tipiche delle praterie che si sviluppano nella fascia del limite superiore del bosco (specie termofile). In particolare, gli habitat che hanno subito una maggiore "termofilizzazione" risultano essere le praterie discontinue degli altopiani sopra i 2500 m s.l.m. e le formazioni a *Pinus mugo* (Frate *et al.* 2018; Calabrese *et al.* 2018). Inoltre, è stato monitorato uno spostamento della mughesta sia verso quote sopra al limite della vegetazione arborea, sia verso quote inferiori con l'occupazione di superfici idonee allo sviluppo del faggio (Dai *et al.* 2017). Sul Gran Sasso, negli ultimi 30 anni, sono aumentate quantitativamente le specie più termofile e resistenti alla siccità e sono diminuite le specie più mesiche e criofile (Petriccione & Bricca 2019). In alcuni tipi di ecosistemi il 20% delle specie più sensibili è completamente scomparso, mentre molte altre specie sono state progressivamente sostituite da specie più termofile ed opportuniste, come nel caso del *Trifolium thalii*, sostituito in gran parte dal più comune *Trifolium pratense*.

Nelle foreste delle Alpi, i valori di pH delle precipitazioni sono aumentati in relazione alla significativa riduzione delle concentrazioni di solfati e nitrati nelle deposizioni atmosferiche, conseguenza del generale calo di emissioni di anidridi di zolfo e azoto (Salvadori *et al.* 2009). Al Passo Lavazè, in Val di Fiemme, non è emersa una relazione significativa fra lo stato di salute ed accrescimento delle piante ed i valori di ozono troposferico, nonostante questi siano risultati superiori ai livelli definiti per la protezione della vegetazione (Ferretti *et al.* 2018). Nelle ultime due decadi, fino al 2018, la pecceta subalpina è cresciuta con ritmo abbastanza stabile e piuttosto elevato, soprattutto se rapportato all'altitudine del sito (1800 m s.l.m.) e all'età del soprassuolo. Nei macrofunghi, nell'arco di 26 anni, sono state rilevate significative variazioni annuali tra le specie saprotofite e quelle micorrizziche in relazione soprattutto a fattori climatici. Inoltre, si è osservata una tendenza all'allungamento stagionale del periodo di produzione fungina, con precoci produzioni primaverili e, soprattutto, tardive produzioni autunnali (La Porta *et al.* 2008). Il ricco patrimonio forestale del sito di Passo Lavazè, da oltre 25 anni al centro di importanti ricerche interdisciplinari, nel 2018 è stato devastato dal passaggio dell'uragano VAIA. Quest'evento catastrofico ha causato la distruzione della vegetazione arborea, con la sopravvivenza di solo poche unità degli oltre 100 abeti rossi di diametro medio intorno ai 45-50 cm, nonché di tutta la strumentazione di rilevamento del sito.

Nell'area naturale protetta di Bosco Fontana, residuo dell'originaria foresta che occupava in epoche antiche la Pianura Padana, nell'arco di 20 anni è stata osservata la tendenza alla regressione della farnia (*Quercus robur*), completamente mancante negli stadi giovanili. Dal 2008 ad oggi lo studio della popolazione di Cervo volante (*Lucanus cervus*) ha permesso di definire la fenologia degli adulti (fine maggio – metà luglio) e di individuare il metodo di monitoraggio più adatto per questo coleottero di grandi dimensioni che vive in cavità di tronchi d'albero. Uno studio applicato alla Riserva Naturale “Montagna di Torricchio”, un'area considerata rappresentativa dell'Appennino Centrale, indica che i sistemi forestali sembrano attenuare l'impatto delle variazioni climatiche a breve termine, almeno in termini di ricchezza di specie (Chelli *et al.* 2019).

Scendendo verso le zone costiere, le ricerche di lungo termine hanno evidenziato notevoli cambiamenti nel paesaggio terrestre dal dopo-guerra in poi. In particolare, nelle dune sabbiose dell'Italia centrale, ambienti costieri particolarmente fragili, è stato registrato un forte aumento delle aree coltivate, dei rimboschimenti e dei processi di urbanizzazione, con conseguente frammentazione e scomparsa degli habitat naturali (Malavasi *et al.* 2013, 2016). Composizione e abbondanza delle comunità ornitiche hanno mostrato variazioni interannuali legate a cambiamenti ambientali a scala locale (Sorace *et al.* 2015), una diminuzione della diversità delle specie vegetali principalmente nei siti in erosione (Prisco *et al.* 2016) e un aumento generalizzato delle piante termofile negli ultimi 20 anni (Del Vecchio *et al.* 2015). Tuttavia, in seguito ad un esperimento di recinzione, è stata anche evidenziata una veloce ripresa delle specie degli habitat costieri, sia in termini di numero che di abbondanza di specie dunali (Acosta *et al.* 2013). Una specie che mostra rapida crescita e sviluppo negli ecosistemi dunali delle coste Adriatiche dell'Italia centrale è la specie non indigena *Acacia saligna*, una pianta vascolare australiana introdotta in Europa negli ultimi 50 anni e una delle più invasive nel bacino Mediterraneo, oggetto di studi approfonditi per definire le caratteristiche ambientali che promuovono la sua rapida colonizzazione (Marzialetti *et al.* 2019).

Complessivamente tutti gli ecosistemi studiati hanno mostrato cambiamenti, anche su scale relativamente brevi, dovute all'aumento di temperatura ed alla variazione nel regime delle precipitazioni, e la conseguente diminuzione della copertura nevosa. Sono stati registrati: aumento della copertura vegetale alle medie ed alte quote e tendenza all'inaridimento a quelle più basse; aumento della copertura di specie vegetali termofile; aumento della biomassa microbica nel suolo; cambiamento nella composizione delle comunità animali in particolare per gli insetti e la fauna acquatica. I cambiamenti osservati nei fragili ambienti delle dune costiere mostrano invece più il segno dell'attività antropica che del cambiamento climatico.

Acque interne

I grandi laghi sudalpini, eccetto il lago di Como e di Iseo, sono stati interessati da un processo di oligotrofizzazione strettamente correlato con la progressiva diminuzione di immissione di nutrienti (in particolare di fosforo) dai bacini imbriferi a partire dagli anni '80 del secolo scorso. Inoltre, in questi ambienti si è registrato un progressivo innalzamento della temperatura, sia negli strati superficiali che profondi in risposta al significativo riscaldamento delle temperature dell'aria registrato su scala regionale e globale negli ultimi decenni (Salmaso *et al.* 2014; Rogora *et al.* 2018b; Viaroli *et al.* 2018). In particolare, nei grandi laghi profondi la diminuzione della frequenza e dell'estensione del rimescolamento verticale hanno inciso sulla distribuzione dell'ossigeno e dei nutrienti lungo la colonna d'acqua (Rogora *et al.* 2018b). L'aumento dei valori invernali dell'East Atlantic pattern ha determinato lo stabilirsi di lunghi periodi di meromissi, come osservato ad es. nel Lago di Garda (Salmaso *et al.* 2018). Nel Lago d'Orta, interessato a partire dagli anni '30 del secolo scorso da un marcato inquinamento di origine industriale, è stato evidente il recupero della qualità ambientale, sia dal punto di vista chimico che delle comunità planctoniche. Infine, nel Lago di Candia, il passaggio da condizioni eutrofiche a mesotrofiche è stato favorito, oltre che da un minore apporto di nutrienti dal bacino, anche dalla diminuita presenza di pesci zooplantivori (Giussani *et al.* 1990). Fattori meteo-climatici, in particolare l'innalzamento della temperatura, hanno portato anche a cambiamenti nelle comunità planctoniche. Il Lago di Iseo è stato soggetto a intense e frequenti fioriture di cianobatteri e a cambiamenti nei cicli stagionali dello

zooplancton (Leoni *et al.* 2018). Nel lago di Garda e nel lago Maggiore è cambiata la dinamica primaverile del cladocero *Daphnia* in seguito alla variabilità meteo-climatica dei mesi invernali (Manca *et al.* 2014). Numerose sono le specie alloctone ora presenti nei laghi sudalpini. Nei laghi di Iseo, Como, Maggiore e Garda si è osservato il progressivo aumento di una nuova specie fitoplanctonica, *Tychonema bourrellyi* (Shams *et al.* 2015), che è stata recentemente inserita nella lista dei cianobatteri tossici oggetto di monitoraggio e valutazione del rischio a livello europeo (Bernard *et al.* 2017; Salmaso *et al.* 2017). Notevole è la presenza di specie non autoctone di pesci in tutti i laghi profondi sudalpini (Volta *et al.* 2018) e di piante acquatiche e alghe e invertebrati nel Lago di Garda (Ciutti & Cappelletti 2017), fra cui anche molluschi di recente introduzione (Lopez-Soriano *et al.* 2018).

Nei laghi montani sia alpini che appenninici, negli ultimi 20 anni circa (Rogora *et al.* 2018a e referenze ivi citate) si sono verificati cambiamenti nel chimismo delle acque, sia in risposta alle variazioni negli apporti atmosferici di composti acidificanti (solfati e nitrati) che a fattori meteo-climatici. Le concentrazioni di solfati nei laghi alpini, in particolare, sono diminuite significativamente in risposta alla forte riduzione delle deposizioni di questo elemento, a sua volta dovuta alle minori emissioni in atmosfera di ossidi di zolfo. Nel lago di Tovel, le osservazioni a lungo termine hanno permesso di evidenziare come, in relazione al cambiamento climatico, l'approvvigionamento idrico sia sempre più legato agli apporti di falda che non a quelli nivali (Flaim *et al.* 2019). Nei laghi montani dell'Appennino Tosco-Emiliano si sono osservate risposte diverse nel comparto biologico in relazione a indici climatici che influenzano l'intero bacino Mediterraneo. L'anticipato sviluppo sia di fitoplancton che di specie zooplanktoniche, osservato nel Lago Santo in risposta alle più alte temperature primaverili, non è stato registrato nel Lago Scuro, che, a causa delle dimensioni relativamente ridotte, risponde più alla variabilità meteorologica locale che a quella climatica di larga scala. Nel Lago Trasimeno, il popolamento fitoplanctonico ha mostrato, negli ultimi 50 anni, un'alterazione progressiva del ciclo stagionale e una drastica riduzione di biodiversità tassonomica, in risposta a fattori meteo-climatici e idrologici (Brancale 2018). Per tale lago sembrano prospettarsi seri rischi di prosciugamento nel caso in cui si verificassero le proiezioni medie o più pessimistiche di cambiamento climatico (Ludovisi *et al.* 2013).

Negli ecosistemi lacustri della Sardegna, fattori locali (gestione delle acque negli invasi, impatto delle attività antropiche nei bacini imbriferi, forte decremento delle aree naturali, inadeguata depurazione e deviazione dei reflui) e fattori climatici globali (riscaldamento e modificazioni nel regime delle precipitazioni) stanno influenzando il fitoplancton in maniera complessa ed esacerbando il processo eutrofico (Mariani *et al.* 2015; Pulina *et al.* 2019) con prolungate fioriture estive dominate da cianobatteri anche potenzialmente tossici (Messineo *et al.* 2009; Lazzaro *et al.* 2018). Nel bacino artificiale Lago Bidighinzu, una diminuzione dei nutrienti, associata ad un aumento di temperatura e a variazioni nell'estensione fra zona rimescolata e zona eufotica, hanno portato, nell'arco di un decennio (2006-2015), a cambiamenti nel popolamento fitoplanctonico, con un aumento della densità e una diminuzione del volume cellulare medio, conseguente ad un aumentato contributo di piccole Bacillariophyceae e Cyanophyceae (Pulina *et al.* 2019).

Nel complesso, l'effetto più visibile e generalizzato nei laghi di grande e media dimensione è quello dovuto al riscaldamento, con un impatto sul mescolamento invernale, soprattutto nei grandi laghi, ed una modifica nel ciclo stagionale del plancton. Cambiamenti sono stati osservati anche in relazione all'attività antropica con la comparsa di specie alloctone, ma anche una riduzione dell'impatto delle deposizioni atmosferiche acide e non, e dell'apporto di nutrienti di origine antropica.

Acque di transizione e marine

Le osservazioni effettuate nei siti appartenenti agli ambienti di transizione e marini riguardano prevalentemente le comunità fito – e zooplanktoniche in quanto componenti fondamentali per lo scambio di CO₂ aria/atmosfera e alla base delle complesse reti trofiche pelagiche. Risultati rilevanti sono tuttavia emersi anche dai monitoraggi condotti sul comparto bentonico, sia animale che vegetale.

L'impatto della variabilità climatica su parametri abiotici e abbondanze di fito- e zooplancton è una delle caratteristiche principali che emerge dalle osservazioni effettuate nei siti distribuiti lungo il territorio nazionale. Esempio ne sono i cinquanta anni di osservazioni (dal 1965 al 2015) effettuate ad ampia scala areale nell'Alto Adriatico (Acri *et al.* 2020). Nel Golfo di Trieste, la marcata stagionalità del fitoplancton osservata negli anni 2010-2017 è strettamente connessa con l'andamento di temperatura (Cerino *et al.* 2019). In questo sito, è stata evidenziata la presenza di un picco fitoplanctonico primaverile innescato da un'elevata disponibilità di nutrienti dovuta a scarichi fluviali, e di un secondario aumento autunnale favorito dalla maggiore disponibilità di nutrienti derivante dal rimescolamento della colonna d'acqua. Come documentato da 18 anni di osservazioni (dal 1998 al 2016), la temperatura risulta essere un fattore importante anche per la distribuzione stagionale dei Tintinnidi, con effetti diversi sulle varie specie, mentre la salinità influenza negativamente la maggior parte delle specie di questo gruppo (Monti-Birkenmeier *et al.* 2019). Una diminuzione nell'abbondanza dei Tintinnidi e nella biomassa fitoplanctonica è stata registrata nel periodo 2000-2007, caratterizzato da una riduzione del runoff fluviale in seguito ad un lungo periodo di siccità, ad un aumento della salinità superficiale e della concentrazione di nitrati e silicati. Nella stessa area, lo studio pluriennale (2010-2018) sui sedimenti ha evidenziato una significativa influenza della temperatura anche sulle diverse attività microbiche con l'eccezione di aminopeptidasi sul substrato organico (Franzo *et al.* 2019).

Analogamente, nel Golfo di Venezia le forzanti ambientali risultano modulare i tempi e le ampiezze di crescita del fitoplancton e del mesozooplankton, quest'ultimo caratterizzato da un picco estivo dominato da cladoceri, mentre i copepodi caratterizzano la primavera e l'autunno (Morabito *et al.* 2018). Nell'ambiente lagunare, inoltre, l'analisi della serie temporale fitoplanctonica ha evidenziato che i popolamenti presentano un ciclo unimodale con l'unico picco in estate legato al massimo di temperatura e di luce e poco influenzato dalla variazione dei macronutrienti disciolti mai limitanti la crescita delle microalghe. La costante osservazione dell'andamento delle biomasse algali ha consentito di rilevare particolari situazioni di stress ambientale, quali ad esempio il periodo di siccità nell'estate del 2003 (Bernardi Aubry *et al.* 2013) e il fenomeno di ipossia nella parte centro-settentrionale della laguna nell'estate 2013 (Bastianini *et al.* 2014).

Anche le osservazioni provenienti dal transetto Senigallia-Susak, situato nel basso Adriatico settentrionale, hanno evidenziato importanti cambiamenti nella struttura di comunità e nel ciclo stagionale del fitoplancton nell'ultima decade, come conseguenza dell'aumento di eventi meteorologici eccezionali. In particolare si è notato che le concentrazioni di nutrienti inorganici e le abbondanze fitoplanctoniche sono aumentate significativamente rispetto al periodo 1988-2002 e che il ciclo annuale del fitoplancton è caratterizzato da irregolari fioriture improvvise ed eccezionali nel corso dell'anno in conseguenza di eventi meteorologici intensi (Totti *et al.* 2019).

Inoltre, il costante monitoraggio a lungo termine della biodiversità in Alto Adriatico ha permesso di individuare lo sviluppo dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi*. Questa specie, originaria delle coste atlantiche del continente americano, ha un ruolo importante nella rete trofica in quanto preda la componente planctonica, incluse le forme larvali di pesci come sardine e acciughe di notevole importanza commerciale. L'introduzione e la diffusione di specie non indigene è considerata una delle principali minacce alla biodiversità delle aree costiere e di transizione, come nella sacca di Goro dove le specie alloctone sono risultate costituire il 20,4% dei taxa raccolti, interessando sia gli Anellidi, i Molluschi e i Crostacei. In questa laguna poco profonda, sede dell'allevamento di vongole tra i più fiorenti d'Europa (Munari & Mistri 2014), si è verificato un costante aumento di specie non autoctone, come l'anfipode *Grandidierella japonica*, rilevato per la prima volta nel Mar Mediterraneo nel 2015 (Munari *et al.* 2016). I fattori che favoriscono l'introduzione e lo sviluppo di specie non indigene in questa particolare area sembrano essere principalmente legate all'acquacoltura, ai grandi volumi di traffico marittimo che interessano la zona, allo stress ambientale e all'alto carico di sostanze nutritive, sia di origine naturale che antropica, che interessano tipicamente l'ambiente lagunare.

L'analisi della serie temporale di dati biotici ed abiotici, effettuata dal 1996 al 2015 nelle Valli di Comacchio, ha evidenziato l'effetto negativo delle temperature estive sulle dinamiche delle comunità

bentoniche lagunari. Elevate temperature, unite ad una diminuzione della salinità e dell'ossigeno dissolto, con conseguenti potenziali fenomeni di ipossia, hanno portato ad una generale diminuzione della percentuale di organismi filtratori, predatori, erbivori, sessili, vagili e dotati di esoscheletro, e un contemporaneo aumento generale degli organismi detritivori, scavatori, con corpo non protetto da esoscheletro e ciclo vitale breve (Munari & Mistri 2012). Inoltre, sul lungo periodo si è osservata una generale tendenza al deterioramento delle condizioni ecologiche, con diminuzione del numero di specie, della diversità e della percentuale di specie sensibili, e un aumento in proporzione delle modalità opportuniste di alcuni tratti biologici suggerendo che le ondate di calore costituiscano una potenziale minaccia per la resilienza della comunità macrobentonica delle Valli di Comacchio (Pitacco *et al.* 2018).

Nel Mar Piccolo di Taranto, i cambiamenti osservati fin dai primi del '900, nell'arco di circa un secolo, nei popolamenti fito – e zoobentonici (Cecere *et al.* 1991; Cecere *et al.* 1992; Petrocelli *et al.* 2014, 2019) hanno evidenziato la recente ricomparsa di alghe brune (es. *Padina pavonica*), segnalate negli anni '20 del secolo scorso e non ritrovate negli anni '80 e '90, quando lo sversamento dei liquami nel Mar Piccolo era sostenuto e il costante aumento di specie non indigene, introdotte principalmente con l'importazione di molluschi eduli, incrementata notevolmente negli ultimi anni a causa della carenza di prodotti locali (Petrocelli *et al.* 2013; Cecere *et al.* 2016). In questa area, inoltre, è riportato l'aumento in densità delle praterie di *Cymodocea nodosa*, una fanerogama presente nel Primo Seno con chiazze molto rade fino agli inizi del 2000, e oggi ampiamente diffusa in entrambi i Seni, con fiori e frutti.

Nelle lagune del Salento, che rappresentano il sito LTER italiano più meridionale, le attività di ricerca e di monitoraggio svolte a intervalli irregolari dalla fine degli anni '80 fino al 2008, e dal 2008 in maniera continua fino ad oggi, hanno consentito l'acquisizione di un'ingente quantità di dati, sia del comparto abiotico che biotico (Giangrande & Fraschetti 1996; Boggero *et al.* 2017; Marocco *et al.* 2018). Da tale monitoraggio emerge che negli ultimi 15 anni le condizioni ambientali generali sono cambiate a seguito degli interventi attuati dall'uomo come la riapertura del canale situato a sud nella laguna di Acquatina. In questa area, l'aumento degli scambi tra interno ed esterno della laguna ha portato al miglioramento delle condizioni trofiche, creando un ambiente idoneo alla colonizzazione delle specie animali e vegetali (Lumare *et al.* 2010). Il benthos di fondo molle del bacino di Acquatina è dominato dai Policheti e la loro attuale distribuzione, rispetto a quanto osservato nei primi anni '90, evidenzia una maggiore omogeneità ed un generalizzato aumento della diversità. Attualmente il censimento della fauna ittica ha rilevato una maggiore diversificazione della componente alieutica (Lumare *et al.* 2010) rispetto al censimento dei primi anni '80. Il bacino risulta essere caratterizzato dalla presenza di un'ampia varietà di specie ittiche marine eurialine. Inoltre, sono stati rinvenuti, per la prima volta, esemplari di *Pinna nobilis* (Pinna *et al.* 2018), la cui scoperta, in controtendenza rispetto alla situazione attuale della specie, indica probabilmente che la laguna è utilizzata come nursery o habitat rifugio per la specie (Marocco *et al.* 2018). Nei Laghi Alimini l'evoluzione pluriennale (2008-2017) della biomassa fitoplanctonica, evidenzia sia l'elevata variabilità interannuale che la tendenza alla meso-oligotrofia del sistema.

La serie ultratrentennale (1984-oggi) nel Golfo di Napoli documenta che l'aumento della temperatura estiva dell'acqua superficiale sembra aver determinato una diminuzione della biomassa fitoplanctonica (come clorofilla *a*) e una diminuzione delle dimensioni cellulari del fitoplancton, principalmente a causa di un aumento percentuale delle diatomee di piccola taglia, un trend che però si è invertito negli ultimi anni (Sarno & Zingone, dati non pubblicati, in Morabito *et al.* 2018). Tuttavia, nonostante la marcata variabilità interannuale registrata nelle condizioni ambientali, regolari ricorrenze nelle successioni stagionali permangono sia nello zooplankton (Mazzocchi *et al.* 2011, 2012) che nel fitoplancton (Tunin-Ley *et al.* 2009; Ruggiero *et al.* 2015; Cerino & Zingone 2006). Questi dati indicano chiaramente la resilienza delle comunità planctoniche costiere suggerendo che la successione stagionale è principalmente regolata da fattori biologici come i cicli vitali, i tratti fisiologici specie-specifici e le interazioni fra specie (Zingone *et al.* 2019). La resilienza ai cambiamenti climatici in atto emerge anche dai dati ottenuti dal 1978 ad oggi sulle praterie a *Posidonia oceanica* dell'Isola di Ischia in un'ampia fascia batimetrica (-1 m/-35 m) esposta a variazioni di temperatura, luce e pH (Zupo *et al.* 1997; Dattolo *et al.* 2014; Scartazza *et al.* 2017). Nello stesso arco temporale, tuttavia, è evidente l'impatto provocato dagli ancoraggi (non regolamentati)

nel periodo estivo, che danneggiano le praterie causando una diminuzione della loro complessità e della densità delle piante (Buia *et al.*, dati non pubblicati).

Nel Mar Ligure le osservazioni sembrano suggerire che, in risposta all'aumento di temperatura si stia instaurando una rete trofica plantonica dominata dal microbial loop. Nello zooplancton si è riscontrata una diminuzione di alcuni organismi chiave (i copepodi *Temora stylifera* e *Centropages typicus*) ed un aumento sia di copepodi di taglia medio piccola (0,5-1 mm) che di appendicolarie, organismi adattati ad ambienti oligotrofici (Morabito *et al.* 2018). Interessanti cambiamenti sia a livello qualitativo che quantitativo sono stati riportati anche nelle catture dei pesci nell'antica Tonnarella di Camogli negli anni 2000 rispetto al passato, ovvero sono diminuite le specie boreali e sono aumentati i carangidi di acque caldo-temperate, insieme ad altre specie tipiche del Mediterraneo meridionale, in relazione al riscaldamento delle acque (Cattaneo Vietti *et al.* 2015). Nel Mar Ligure orientale, l'aumento della temperatura (Ciuffardi *et al.* 2017) e le associate modificazioni del regime pluviale e dei processi sedimentari del Fiume Magra (Delbono *et al.* 2016) hanno causato sensibili variazioni nelle praterie di *Posidonia oceanica* (Peirano *et al.* 2011) e nei popolamenti del coralligeno presenti a Punta Mesco, che sono stati sostituiti da alcune specie aliene (Gatti *et al.* 2015).

Anche negli ecosistemi marini e di transizione della Sardegna le relazioni fra il fitoplancton e le variabili ambientali sono strettamente modulate dalla temperatura (Pulina *et al.* 2019). I dati mostrano infatti un'intensa proliferazione di cianobatteri nel periodo compreso tra luglio 2007 e giugno 2009 nella Laguna di Cabras e notevoli fioriture di *Chattonella* nella Laguna di Santa Giusta associate ad estese morie di pesci (Satta *et al.* 2017). Recentemente, Kröncke *et al.* (2019) hanno evidenziato la rapidità della risposta biologica alle variazioni di regime climatico sottolineando che gli shift biologici, sia nel fitoplancton che negli organismi bentonici, sono quasi sincroni in diversi ecosistemi marini in aree geografiche molto lontane tra loro (Golfo di Olbia, Pacifico nord-orientale, Artico centrale, Mar Baltico settentrionale e Mare del Nord sud-orientale) e coincidenti con cambiamenti del regime climatico nel 2000 e nel 2010.

In tutte le ricerche marine effettuate dalla Rete, grande attenzione è stata rivolta alla biodiversità, monitorata con un'accurata analisi tassonomica (Cerino *et al.* 2019; Monti- Birkenmeier *et al.* 2019; Pulina *et al.* 2019; Zingone *et al.* 2019). L'integrazione dei tradizionali approcci morfologici con le più recenti e innovative tecniche molecolari ha permesso di acquisire data-set unici, come nel caso del Golfo di Napoli (Zingone *et al.* 2019) dove, in particolare, sono state approfondite le conoscenze di diversi gruppi gruppo dei Foraminiferi (Capotondi *et al.* 2019) e si stanno avviando analisi metagenomiche per risolvere l'identificazione di specie criptiche di grande interesse ecologico (Armeli Minicante *et al.* 2020). La possibilità di avere a disposizione una grande mole di dati, come quella prodotta dalla Rete LTER, ha permesso di proporre nuovi approcci metodologici per lo studio della biodiversità, come ad esempio la proposta di ulteriori indici di classificazione (Picco *et al.* 2019) oltre che fornire indicazioni sulle variabili essenziali della biodiversità da considerare nell'ambito delle strategie per la salvaguardia ambientale (Zilioli *et al.* 2019).

In sintesi, il plancton di ambienti marini e di transizione sembra riflettere la variazione climatica con cambiamenti di fenologia e con una variabilità della produzione che sono, tuttavia, anche legate all'impatto antropico, come l'apporto di nutrienti. I sistemi bentonici mostrano una risposta più marcata, ma anche in questo caso le variazioni sono dovute alla sovrapposizione della variazione climatica e dell'impatto antropico, come ad esempio l'introduzione volontaria di specie alloctone per uso commerciale.

Siti extrazionali

La Rete LTER-Italia comprende anche alcuni siti extrazonali situati nel Mare di Ross in Antartide e in Himalaya (Parco Nazionale del Sagarmatha, Nepal) che consentono di effettuare indagini in ecosistemi ancora poco influenzati dall'attività antropica.

Il mosaico di ecosistemi marini antartici (polinia, aree marginali ai ghiacci ed aree di mare aperto) costituisce un laboratorio ideale per lo studio dei potenziali effetti dei cambiamenti climatici su larga scala. Nel Mare di Ross, l'analisi delle variabili fisico-chimiche, grazie ai rilevamenti dal mooring D fin dal 1994,

ha evidenziato cicli con periodicità di circa 5-7 anni della salinità delle masse d'acqua di fondo, l'inversione del freshening dall'inizio delle osservazioni fino al 2014 e l'aumento dal 2015 della salinità fino a valori comparabili a quelli di inizio anni '90 (Castagno *et al.* 2019). L'analisi pluriannuale (2005-2008) dei processi biogeochimici ha mostrato che i flussi di particolato hanno una notevole variabilità stagionale con valori minimi in inverno e primavera ed elevati in estate e autunno, questi ultimi a volte sfasati rispetto ai picchi di produttività primaria, con ritardi anche di tre mesi (Chiarini *et al.* 2019). I molteplici studi condotti sulle comunità planctoniche a Baia Terra Nova hanno evidenziato che nell'area pelagica gli elevati livelli di produzione biologica sono temporalmente limitati alla primavera e all'inizio dell'estate australe (Mangoni *et al.* 2017, 2018; Misic *et al.* 2017; Saggiomo *et al.* 2002), ma risultano essere fortemente influenzati dalla permanenza della copertura del pack-ice (Mangoni *et al.* 2004). Negli ultimi anni sono stati osservati elevati valori di biomassa fitoplanctonica, non accompagnati da elevata efficienza trofica, che suggeriscono alterazioni rilevanti nella produttività estiva del Mare di Ross.

La catena Himalayana, spesso indicata come il "Terzo Polo", è una delle aree più isolate del globo. La serie storica (>20 anni) di indagini idrologiche e chimiche delle acque lacustri (Laghi Piramide) hanno rivelato un persistente aumento del contenuto ionico, una tendenza che sembra essere strettamente legata all'aumento della temperatura. Lo studio delle carote di sedimenti lacustri ha permesso di ricostruire le variazioni a lungo termine nelle comunità di produttori primari e come le oscillazioni osservate corrispondessero a variazioni regionali nei sistemi climatici avvenute negli ultimi 3500 anni (Lami *et al.* 2010). Questi ambienti sono anche importanti aree di studio per documentare il trasporto a lunga distanza di inquinanti (Guzzella *et al.* 2016) nonché gli effetti sui ghiacciai in relazione al cambiamento climatico in atto (Salerno 2017).

Considerazioni finali

I sistemi terrestri ed acquatici, specialmente quelli marini, hanno meccanismi di funzionamento differenti e questo si manifesta anche nelle, pur non sempre univoche, risposte ai cambiamenti climatici e all'attività antropica (Fig. 2). I sistemi terrestri confermano una sensibilità al regime delle precipitazioni, incluse quelle nevose, mentre i sistemi marini osservati mostrano variazioni più riconducibili ai flussi di nutrienti.

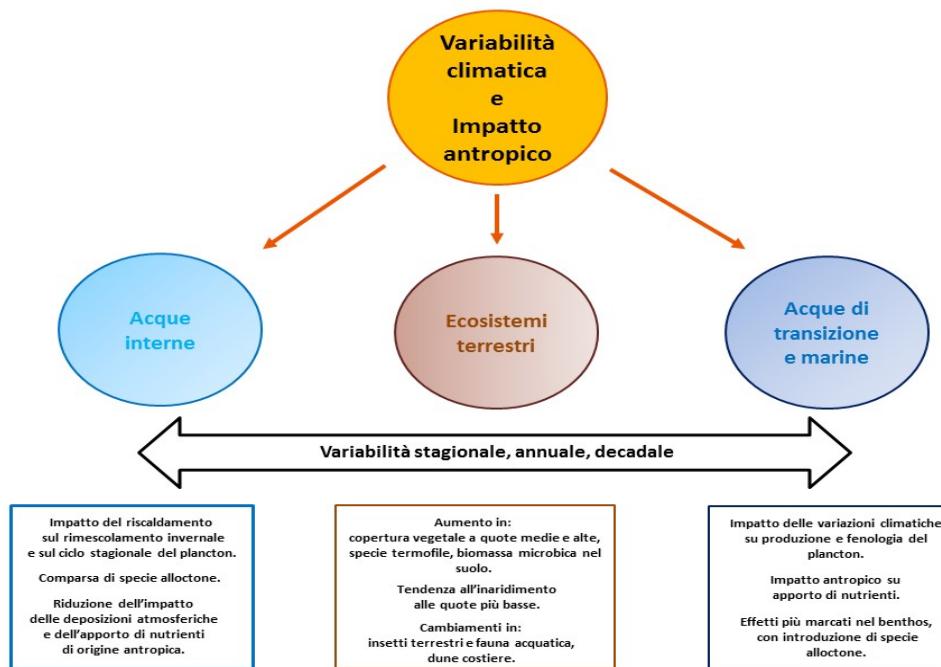


Fig. 2 - Sintesi schematica delle risposte dei vari tipi di ecosistemi alla variabilità climatica e all'impatto antropico

Entrambi i sistemi mostrano risposte al crescente aumento delle temperature, anche se i dati disponibili non permettono di verificare il peso dei differenti meccanismi che agiscono nei due ambienti in relazione al cambiamento climatico (Ribera d'Alcalà 2019).

La sintesi presentata in questo capitolo è un tentativo di favorire un'immediata, iniziale panoramica dei risultati emersi dall'enorme mole di lavoro che viene portata avanti dalla Rete LTER-Italia. I suoi limiti riflettono al tempo stesso la difficoltà di coniugare osservazioni mirate su specifici processi o componenti degli ecosistemi ed una valutazione generale su come il sistema terra si sta modificando in risposta al cambiamento climatico ed all'attività antropica. L'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fornisce da anni una visione d'insieme basandosi su una miriade di informazioni come quelle raccolte in questo volume. La comunità LTER Italiana, che osserva le variazioni nel tempo e le inquadra, non solo rispetto alle variazioni del clima, ma anche rispetto alle variazioni dell'impatto antropico, ha la potenzialità di contribuire a costruire quella visione, soprattutto proiettando e, se necessario, rimodulando il proprio programma di osservazioni in un quadro più integrato. Non ci nascondiamo che in alcuni casi è stato difficile inquadrare dei risultati in una visione generale. Siamo tuttavia convinti che proprio l'imperfetta collocazione di certi risultati in questa raccolta possa aiutare tutta la comunità LTER a riformulare i propri strumenti e il proprio contributo per valorizzare le osservazioni nell'ottica della domanda di fondo delle reti LTER, ovvero se e quanto stia cambiato il sistema Terra e perché.

Ringraziamenti

Si ringraziano Alicia Acosta, Andrea Lami e Angela Stanisci per il loro contributo nella fase di revisione di questo capitolo.

Bibliografia

- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Gandini M., Mondoni A., Cristofanelli P. (2012a). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophilic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30(1): 109-115.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A., Cristofanelli P. (2012b). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213(1): 1-13.
- Acosta A.T.R., Jucker T., Prisco I., Santoro R. (2013). Passive recovery of Mediterranean coastal dunes following limitations to human trampling. In: Martinez M.I., Hesp P., Gallego-Fernandez J.B. (Eds) *Restoration of Coastal Dunes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Cap. 12.
- Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Camatti E., Bergami C., Boldrin A., De Lazzari A., Finotto S., Minelli A., Oggioni A., Pansera M., Sarretta A., Socal G., Pugnetti, A. (2020). A long-term (1965-2015) ecological marine database from the LTER-Italy Northern Adriatic Sea site: plankton and oceanographic observations. *Earth System Science Data*, 12: 215-230.
- Armeli Minicante S., Piredda R., Finotto S., Bernardi Aubry F., Acri F., Pugnetti A., Zingone A. (2020). Spatial diversity of planktonic protists in the Lagoon of Venice (LTER-Italy) based on 18S rDNA. *Advances in Oceanography and Limnology*, 11(1). <https://doi.org/10.4081/aiol.2020.8961>.
- Balestrini R., Delconte C.A., Buffagni A., Fumagalli A., Freppaz M., Buzzetti I., Calvo E. (2019). Dynamic of nitrose and dissolved organic carbon in an alpine forested catchment: atmospheric deposition and soil solution trends. *Nature Conservation*, 34: 41-66.
- Bastianini M., Bernardi Aubry F., Acri F., Braga F., Facca C., Sfriso A., Finotto S. (2014). The Redentore fish die-off in the lagoon of Venice: an integrated view. *Riunione Scientifica Annuale Gruppo di Algologia – Società Botanica Italiana*, p. 35 libro degli abstract.
- Bernard C., Ballot A., Thomazeau S., Maloufi S., Furey A., Mankiewicz-Boczek J., Pawlik-Skowronska B., Capelli C., Salmaso N. (2017). Appendix 2. Cyanobacteria associated with the production of cyanotoxins In: Meriluoto J., Spoof L., Codd G.A. (Eds) *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 501-525.

-
- Bernardi Aubry F., Acri F., Bianchi F., Pugnetti A. (2013). Looking for patterns in the phytoplankton community of the Mediterranean microtidal Venice Lagoon: evidence from ten years of observations. *Scientia Marina*, 77(1): 47-60.
- Boggero A., Ruocco M., Shokri M., Gjoni V., Ansaloni I., Zaupa S., Montagna M. and Rossaro B. (2017). *Chironomus (Chironomus) aprilinus* Meigen, 1818 (Diptera Chironomidae), first record from Italy: cytotaxonomy and ecology. *REDIA*, 100: 11-17.
- Brancale M.I. (2018). Modificazioni di lungo termine nel fitoplancton del lago Trasimeno e connessioni con i cambiamenti climatico-ambientali. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biomolecolari e Ambientali presso l'Università degli Studi di Perugia.
- Bucchignani E., Montesarchio M., Zollo A.L., Mercogliano P. (2016). High-resolution climate simulations with COSMO-CLM over Italy: performance evaluation and climate projections for the 21st century. *Int J Climatol*, 36: 735-756.
- Calabrese V., Carranza M.L., Evangelista A., Marchetti M., Stinca A., Stanisci A. (2018). Long-term changes in the composition, ecology, and structure of *Pinus mugo* scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity*, 10(3): 70.
- Capotondi L., Mancin N., Cesari V., Dinelli E., Ravaioli M., Riminucci F. (2019). Recent agglutinated foraminifera from the North Adriatic Sea: What the agglutinated tests can tell. *Marine Micropaleontology*, 147: 25-42.
- Castagno P., Capozzi V., Di Tullio G., Falco P., Fusco G., Rintoul S., Spezie G., Budillon G. (2019). Rebound of shelf water salinity in the Ross Sea. *Nature Communications*, 10: 5441.
- Cattaneo-Vietti R., Cappanera V., Castellano M., Povero P. (2015). Yield and catch changes in a Mediterranean small tuna trap: a warming change effect? *Marine Ecology*, 36: 155-166.
- Cecere E., Alabiso G., Carlucci R., Petrocelli A., Verlaque M. (2016). Fate of two invasive or potentially invasive alien seaweeds in a central Mediterranean transitional water system: failure and success. *Botanica Marina*, 59(6): 451-462.
- Cecere E., Cormaci M., Furnari G. (1991). The marine algae of Mar Piccolo, Taranto (southern Italy): a re-assessment. *Botanica Marina*, 34: 221-227.
- Cecere E., Saracino O.D., Fanelli M., Petrocelli A. (1992). Presence of a drifting algal bed in the Mar Piccolo basin, Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). *J. Appl. Phycol.* 4: 323-327.
- Cerino F., Fornasaro D., Kralj M., Cabrini M. (2019). Seasonal and interannual variability of phytoplankton at a coastal station in the northern Adriatic Sea (Mediterranean Sea). *Nature Conservation*, 34: 343-372.
- Cerino F., Zingone A. (2006). A survey of cryptomonad diversity and seasonality at a coastal Mediterranean site. *European Journal of Phycology*, 41: 363-378.
- Cerrato C., Rocchia E., Brunetti M., Bionda R., Bassano B., Provenzale A., Bonelli S., Viterbi R. (2019). Butterfly distribution along altitudinal gradients: temporal changes over a short time period. *Nature Conservation*, 34: 91-118.
- Chelli S., Simonetti E., Campetella G., Chiarucci A., Cervellini M., Tardella F.M., Tomasella M., Canullo R. (2019). Plant diversity changes in a Nature Reserve: a probabilistic sampling method for quantitative assessments. *Nature Conservation*, 34: 145-16.
- Chiarini F., Ravaioli M., Capotondi L. (2019). Interannual variability of vertical particle fluxes in the Ross Sea (Antarctica). *Nature Conservation*, 34: 417-440.
- Ciuffardi T., Bordone A., Cerrati G., Schirone A., Raiteri G. (2017). Monitoraggio dei parametri fisici della colonna d'acqua: rapporto tecnico sui dati disponibili dal 2009 presso l'osservatorio ambientale nell'area di tutela marina del parco di Porto Venere. Rapporto tecnico sulle attività 2009-2017. Rapporto Tecnico, RT/2017/27/ENEA, ENEA, Roma.
- Ciutti F., Cappelletti C. (2017). Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.

-
- Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. (2017). *Pinus mugo* Krummholz Dynamics during concomitant change in pastoralism and climate in the Central Apennines. Mountain Research and Development, 37: 75-86.
- Dattolo E., Ruocco M., Brunet C., Lorenti M., Lauritano C., Sanges R., De Luca P., Procaccini G. (2014). Response of the seagrass *Posidonia oceanica* to different light environments: insight from a combined molecular and photo-physiological study. Marine Environmental Research, 101: 225-236.
- Del Vecchio S., Prisco I., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2015). Changes in plant species composition of coastal dune habitats over a 20-year period. AoB PLANTS, 7: plv018.
- Delbono I., Barsanti M., Schirone A., Conte F., Delfanti R. (2016). 210Pb mass accumulation rates in the depositional area of the Magra River (Mediterranean Sea, Italy). Continental Shelf Research, 124: 35-48.
- Della Chiesa S., Bertoldi G., Niedrist G., Obojes N., Endrizzi S., Albertson J.D., Wohlfahrt G., Hörgnagl L., Tappeiner U. (2014). Modelling changes in grassland hydrological cycling along an elevational gradient in the Alps. Ecohydrology, 7(6) 1453-1473.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Confalonieri M., Cristofolini F., Cristofori A., Frati L., Finco A., Gerosa G., Maccherini S., Gottardini E. (2018). Scarce evidence of ozone effect on recent health and productivity of alpine forests: a case study in Trentino, N. Italy. Environmental Science and Pollution Research international, 25 (9): 8217-8232.
- Flaim G., Nishri A., Camin F., Corradini S., Obertegger U. (2019). Shift from nival to pluvial recharge of an aquifer-fed lake increases water temperature. Inland Waters, 9(2): 261-274.
- Franzo A., Celussi M., Bazzaro M., Relitti F., Del Negro P. (2019). Microbial re-working of sedimentary organic matter at a shallow LTER site of the northern Adriatic Sea: a 8-year case study. Nature Conservation, 34: 397-415.
- Frate L., Carranza M.L., Evangelista A., Stinca A., Schaminée J.H.J., Stanisci A. (2018). Climate and land use change impacts on Mediterranean high-mountain vegetation in the Apennines since the 1950s. Plant Ecology & Diversity, 11(1): 85-96.
- Freppaz M., Viglietti D., Balestrini R., Lonati M., Colombo N. (2019). Climatic and pedoclimatic factors driving C and N dynamics in soil and surface water in the alpine tundra (NW-Italian Alps). Nature Conservation, 34: 67-90.
- Gatti G., Bianchi C.N., Parravicini V., Rovere A., Peirano A., Montefalcone M., Massa F., Morri C. (2015). Ecological change, sliding baselines and the importance of historical data: Lessons from combining observational and quantitative data on a temperate reef over 70 years. PLoS ONE, 10(2): e0118581.
- Giangrande A., Fraschetti S. (1996). Effects of short term environmental change on a brackish water polychaete community. Marine Ecology, 17: 321-332.
- Giussani G., De Bernardi R., Ruffoni T. (1990). Three years of experience in biomanipulating a small eutrophic lake: Lago di Candia (Northern Italy). In: Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.-L., van Donk E. (Eds) Biomanipulation-Tool for Water Management. Hydrobiologia, 200/201: 357-366.
- Guzzella L., Salerno F., Freppaz M., Roscioli C., Pisanello F., Poma G. (2016). POP and PAH contamination in the southern slopes of Mt. Everest (Himalaya, Nepal): Long-range atmospheric transport, glacier shrinkage, or local impact of tourism? Science of the Total Environment, 544: 382-390.
- Hilpold A., Seeber J., Fontana V., Niedrist G., Rief A., Steinwandter M., Tasser E., Tappeiner U. (2018). Decline of rare and specialist species across multiple taxonomic groups after grassland intensification and abandonment. Biodiversity and Conservation, 27: 3729-3744.
- Kröncke I., Neumann H., Dippner J.W., Holbrook S., Lamy T., Miller R., Padedda B.M., Pulina S., Reed D.C., Reinikainen M., Satta C.T., Sechi N., Soltwedel T., Suikkanen S., Lugliè A. (2019). Comparison

-
- of biological and ecological long-term trends related to northern hemisphere climate in different marine ecosystems. *Nature Conservation*, 34: 311-341.
- La Porta N., Confalonieri M., Donini M., Aiardi A., Floriani M. (2008). Funghi a sentinella: il monitoraggio dei macromiceti come indicatori della biodiversità forestale nelle Alpi. *Natura Alpina*, 59(2): 19-30.
- Lami A., Turner S., Musazzi S., Gerli S., Guilizzoni P., Rose N.L., Yang H., Wu G., Yang R. (2010). Sedimentary evidence for recent increases in production in Tibetan plateau lakes. *Hydrobiologia*, 648: 175-187.
- Lazzaro L., Essl F., Lugliè A., Padedda B.M., Pyšek P., Brundu G. (2018). Invasive alien plant impacts on human health and well-being. In: Mazza G., Tricarico E. (Eds.) *Invasive Species and Human Health*, CAB International, Boston USA: 16-33.
- Leoni B., Nava V., Patelli M. (2018). Relationships among climate variability, Cladocera phenology and the pelagic food web in deep lakes in different trophic states. *Marine and Freshwater Research*, 69(10): 1534-1543.
- Lopez-Soriano J., Quiñonero-Salgado S., Cappelletti C., Faccenda F., Ciutti F. (2018). Unraveling the complexity of *Corbicula* clams invasion in Lake Garda (Italy). *Advances in Oceanography and Limnology*, 9: 97-104.
- Ludovisi A., Gaino E., Bellezza M., Casadei S. (2013). Impact of climate change on the hydrology of the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): history, forecasting and management. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 16(2): 190-197.
- Lumare D., Lumare L., Scirocco T., Florio M., Lumare F. (2010). Composizione strutturale e dinamica del pescato nel lago di Acquatina. *Thalassia Salentina*, 31: 63-82.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2013). What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. *Landscape and Urban Planning*, 119: 54-63.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2016). The impact of human pressure on landscape patterns and plant species richness in Mediterranean coastal dunes. *Plant Biosystems*, 150(1): 73-82.
- Manca M., Rogora M., Salmaso N. (2014). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology*, 74: 123-132.
- Mangoni O., Modigh M., Conversano F., Carrada G. C., Saggiomo V. (2004). Effects of summer ice coverage on phytoplankton assemblages in the Ross Sea, Antarctica. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 51: 1601-1617.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Escalera L., Saggiomo M. (2018). A review of past and present summer primary production processes in the Ross Sea in relation to changing ecosystems. *Ecological Questions*, 29: 75-85.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Margiotta F., Budillon G., Cotroneo Y., Misic C., Rivaro P., Saggiomo M. (2017). Phytoplankton blooms during austral summer in the Ross Sea, Antarctica: driving factors and trophic implication. *PLoS ONE*, 12(4): e0176033.
- Mariani M.A., Padedda B.M., Kaštovský J., Buscarinu P., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2015). Effects of trophic status on microcystin production and the dominance of cyanobacteria in the phytoplankton assemblage of Mediterranean reservoirs. *Scientific Reports*, 5: 1-16.
- Marrocco V., Sicuro A., Zangaro F., Pinna M. (2018). First record of the protected species *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) in the Aquatina Lagoon (NATURA 2000 site IT9150003, South-East Italian coastline). *Nature Conservation*, 28: 51-59.
- Marzialetti F., Bazzichetto M., Giulio S., Acosta A.T.R., Stanisci A., Malavasi M., Carranza M.L. (2019). Modelling *Acacia saligna* invasion on the Adriatic coastal landscape: An integrative approach using LTER data. *Nature Conservation*, 34: 127-144.

-
- Mazzocchi M.G., Dubroca L., Garcia-Comas C., Di Capua I., Ribera d'Alcalà M. (2012). Stability and resilience in coastal copepod assemblages: The case of the Mediterranean long-term ecological research at Station MC (LTER-MC). *Progress in Oceanography*, 97: 135-151.
- Mazzocchi M.G., Licandro P., Dubroca L., Di Capua I., Saggiomo V. (2011). Zooplankton associations in a Mediterranean long-term time-series. *Journal of Plankton Research*, 33: 1163-1181.
- Messineo V., Bogialli S., Melchiorre S., Sechi N., Lugliè A., Casiddu P., Mariani M.A., Padedda B.M., Di Corcia A., Mazza R., Carloni E., Bruno M. (2009). Cyanotoxins occurrence in Italian freshwaters. *Limnologica*, 39: 95-106.
- Misic C., Covazzi Harriague A., Giglio F., La Ferla R., Rappazzo A.C., Azzaro M. (2017). Relationships between electron transport system (ETS) activity and particulate organic matter features in three areas of the Ross Sea (Antarctica). *Journal of Sea Research*, 129: 42-52.
- Monti-Birkenmeier M., Diociaiuti T., Fonda Umani S. (2019). Long-term changes in abundance and diversity of tintinnids in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). *Nature Conservation*, 34: 127-144.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of the Total Environment*, 627: 373-387.
- Munari C., Mistri M. (2012). Ecological status assessment and response of benthic communities to environmental variability: The Valli di Comacchio (Italy) as a study case. *Marine Environmental Research*, 81: 53-61.
- Munari C., Mistri M. (2014). Spatio-temporal pattern of community development in dredged material used for habitat enhancement: a study case in a brackish lagoon. *Marine Pollution Bulletin*, 89: 340-347.
- Munari C., Bocchi N., Mistri M. (2016). *Grandidierella japonica* (Amphipoda: Aoridae): a non-indigenous species in a Po delta lagoon of the northern Adriatic (Mediterranean Sea). *Marine Biodiversity Records*, 9: 12.
- Niedrist G., Tasser E., Bertoldi G., della Chiesa S., Obojes N., Egarter Vigl L., Tappeiner U. (2016). Down to future: Transplanted mountain meadows react with increasing phytomass or shifting species composition. *Flora*, 224: 172-182.
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M., Alonso J.L.B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Calzado R.F., Ghosn D., Holten J.I., Kanka R., Kazakis G., Kollár J., Larsson P., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Nagy L., Pelino G., Puşçaş M., Rossi G., Stanisci A., Syverhuset A.O., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Unterluggauer P., Villar L., Vittoz P., Grabbherr G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science*, 336: 353-355.
- Peirano A., Cocito S., Banfi V., Cupido R., Damasso V., Farina G., Lombardi C., Mauro R., Morri C., Roncarolo I., Saldana S., Savini D., Sgorbini S., Silvestri C., Stoppelli N., Torricelli L., Bianchi C.N. (2011). Phenology of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: Medium and long-term cycles and climate inferences. *Aquatic Botany*, 94: 77-92.
- Petriccione B., Bricca A. (2019). Thirty years of ecological research at the Gran Sasso d'Italia LTER site: climate change in action. *Nature Conservation*, 34: 9-39.
- Petrocelli A., Cecere E., Verlaque M. (2013). Alien marine macrophytes in transitional water systems: new entries and reappearances in a Mediterranean coastal basin. *BioInvasions Records*, 2(3): 177-184.

-
- Petrocelli A., Portacci G., Cecere E. (2014). The phytoplankton of the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy): a novel of ninety years of disappearances, new arrivals and returns. Proceedings of the Annual Meeting of the Italian Phycology Group, 14-15 November 2014, Padova, Italy, p. 20.
- Petrocelli A., Rubino F., Cecere E. (2019). Successions of phytoplankton species in a Mediterranean transitional water system: the importance of long term observations. *Nature Conservation*, 34: 217-246.
- Pinna M., Marrocco V., Zangaro F., Sicuro A., Giallongo G., Bizhanova N., Utebayeva G., Marini G. and Specchia V. (2018). Il bivalve più grande del Mediterraneo, *Pinna nobilis*, nella Laguna di Acquatina: indagini preliminari e prospettive. *Il Bollettino*, 8-9: 15-18.
- Pitacco V., Mistri M., Munari C. (2018). Long-term temporal variability of macrobenthic community in a shallow coastal lagoon (Valli di Comacchio, northern Adriatic): is community resistant to climate changes? *Marine Environmental Research*, 137: 73-87.
- Porro F., Tomaselli M., Abeli T., Gandini M., Gualmini M., Orsenigo S., Petraglia A., Rossi G., Carbognani M. (2019). Could plant diversity metrics explain climate-driven vegetation changes on mountain summits of the GLORIA network? *Biodiversity and Conservation*, 28(13): 3575-3596.
- Prisco I., Stanisci A., Acosta A.T.R. (2016). Mediterranean dunes on the go: Evidence from a short-term study on coastal herbaceous vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 182: 40-46.
- Pulina S., Lugliè A., Mariani M.A., Sarria M., Sechi N., Padedda B.M. (2019). Multiannual decrement of nutrient concentrations and phytoplankton cell size in a Mediterranean reservoir. *Nature Conservation*, 34: 163-191.
- Ribera d'Alcalà M. (2019). Similarities, differences and mechanisms of climate impact on terrestrial vs. marine ecosystems. *Nature Conservation*, 34: 505-523.
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Lepori F., Mosello R., Patelli M., Salmaso N. (2018b). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia*, 824: 33-50.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018a). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.
- Ruggiero M.V., Sarno D., Barra L., Kooistra W.H.C.F., Montresor M., Zingone A. (2015). Diversity and temporal pattern of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) through the molecular lens. *Harmful Algae*, 42: 15-24.
- Saggiomo V., Catalano G., Mangoni O., Budillon G., Carrada G.C. (2002). Primary production processes in ice-free waters of the Ross Sea (Antarctica) during the austral summer 1996. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49: 1787-1801.
- Salerno F. (2017). Adaptation strategies for water resources: Criteria for research. *Water*, 9(10): 805.
- Salmaso N., Anneville O., Straile D., Viaroli P. (2018). European large perialpine lakes under anthropogenic pressures and climate change: present status, research gaps and future challenges. *Hydrobiologia*, 824: 1-32.
- Salmaso N., Boscaini A., Cerasino L. (2017). High-throughput sequencing reveals high cyanobacterial diversity in a large perialpine lake. In: XXVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia: La ricerca ecologica in un mondo che cambia, Napoli, 12-15 settembre 2017. Napoli: Società Italiana di Ecologia: 11.

-
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: A new emerging paradigm. *Hydrobiologia*, 731: 31-48.
- Salvadori C., Maresi G., Confalonieri M., Minerbi S. (2009). Integrated monitoring of forests in Trentino-South Tyrol: results and perspectives after 18 years. Long-term ecosystem research: Understanding the present to shape the future. International conference Zurich (CH) 7-10/09/2009. Abstracts WSL CH-8903 Birmensdorf.
- Satta C.T., Padedda B.M., Sechi N., Pulina S., Loria A., Lugliè A. (2017). Multiannual *Chattonella subsalsa* Biecheler (Raphidophyceae) blooms in a Mediterranean lagoon (Santa Giusta Lagoon, Sardinia Island, Italy). *Harmful Algae*, 67: 61-73.
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017). Carbon and Nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica* is altered by seawater acidification. *Science of the Total Environment*, 607-608: 954-964.
- Scotti A., Jacobsen D., Tappeiner U., Bottarin R. (2018). Spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrate assemblages during the glacial melt season in an Italian glacier-fed stream. *Hydrobiologia*, 827: 123-139.
- Shams S., Capelli C., Cerasino C., Ballot A., Dietrich D.R., Sivonen K., Salmaso N. (2015). Anatoxin-a producing *Tychonema* (Cyanobacteria) in European waterbodies. *Water Research*, 69: 68-79.
- Sorace A., Savo E., De Santis E., Duiz A., Iavicoli D., Riello S., Battisti C. (2015). Autumn captures from Torre Flavia ringing station (Latium, central Italy) in 2001-2014. *Avocetta*, 39: 73-81.
- Steinwandter M., Kahlen M., Tappeiner U., Seeber J. (2019). First records of *Opetiopalpus sabulosus* Motschulsky, 1840 (Coleoptera, Cleridae) for the European Alps. *Nature Conservation*, 34: 119-125.
- Totti C., Romagnoli T., Accoroni S., Coluccelli A., Pellegrini M., Campanelli A., Grilli F., Marini M. (2019). Phytoplankton communities of the northern Adriatic Sea: interdecadal variability over a 30 years period (1988-2016) and possible relationships with meteo-climatic drivers. *Journal of Marine Systems*, 193: 137-153.
- Tunin-Ley A., Ibañez F., Labat J-P., Zingone A., Lemée R. (2009). Phytoplankton biodiversity and NW Mediterranean Sea warming: changes in the dinoflagellate genus *Ceratium* in the 20th century. *Marine Ecology Progress Series*, 375: 85-99.
- Viaroli P., Azzoni R., Bartoli M., Iacumin P., Longhi D., Mosello R., Rogora M., Rossetti G., Salmaso N., Nizzoli D. (2018). Persistence of meromixis and its effects on redox conditions and trophic status in Lake Idro (Southern Alps, Italy). *Hydrobiologia*, 824: 51-69.
- Volta P., Jeppesen E., Sala P., Galafassi S., Foglini C., Puzzi C., Winfield I.J. (2018). Fish assemblages in deep Italian subalpine lakes: history and present status with an emphasis on non-native species. *Hydrobiologia*, 824: 255-270.
- Zilioli M., Oggioni A., Tagliolato P., Pugnetti A., Carrara P. (2019). Feeding essential biodiversity Variables (EBVs): actual and potential contributions from LTER-Italy. *Nature Conservation*, 34: 477-503.
- Zingone A., D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., LTER-MC team (2019). Time series and beyond: multifaceted plankton research at a marine Mediterranean LTER site. *Nature Conservation*, 34: 273-310.
- Zupo V., Buia M.C., Mazzella L. (1997). A production model for *Posidonia oceanica* based on temperature. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44: 483-492.

La Rete LTER-Italia in dialogo con la società civile

Autori

Alessandra Pugnetti¹, Caterina Bergami², Amelia De Lazzari¹, Alba L'Astorina³

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano, Italia.

Oltre alle attività di comunicazione che vengono svolte a livello di singoli siti, quelle della Rete LTER Italia nel suo complesso si sono costruite e sviluppate principalmente intorno all'iniziativa di comunicazione informale della scienza “Cammini LTER”, che le ricercatrici e ricercatori della Rete LTER-Italia svolgono annualmente dal 2015 (Bergami *et al.* 2018; L'Astorina *et al.* 2018; Pugnetti *et al.* 2019, Pugnetti, 2020; L'Astorina *et al.* in press).

I Cammini LTER sono percorsi, della durata di più giorni, che usano modalità lente (a piedi, in bicicletta o in canoa) per collegare due o più siti della Rete, attraversando luoghi e paesaggi diversi. Sono aperti al pubblico che può condividere esperienze con i ricercatori: collaborare alle attività di ricerca nei siti della Rete, osservare piante e animali, studiare la biodiversità.

Dal 2015 al 2019 sono stati realizzati tredici Cammini (Bergami *et al.* 2018; Pugnetti 2020, L'Astorina *et al.* in press), otto a piedi, tre in bicicletta, uno in canoa e uno “stanziale” (Tabella 1), che hanno coinvolto decine di ricercatrici e ricercatori LTER-Italia e hanno attraversato tutta la penisola, toccando diciassette siti della Rete. Il Cammino “Tra laghi e foreste: un cammino transfrontaliero dall'Italia alla Svizzera” prima (settembre 2018) e il Cammino “L'uomo e l'ambiente: escursione transfrontaliera tra la Valle Ötztal e la Val Mazia” poi (settembre 2019), hanno contribuito all'apertura internazionale dei Cammini LTER, prevista dall'iniziativa internazionale TRAIL (TRAvelling through ecosystems and bIodiversity: Long-term ecological research for citizens), che è stata promossa da LTER-Italia e adottata della rete globale International LTER (Bergami *et al.* 2018).

L'idea dei Cammini LTER è nata ed è maturata durante incontri e discussioni informali tra colleghi della Rete, con la motivazione iniziale di sensibilizzare il pubblico sui temi ecologici e di raccontare l'ecologia nella sua accezione più autentica di scienza che studia le relazioni tra gli esseri umani, gli altri organismi viventi e l'ambiente, facendo conoscere i luoghi, le attività e i risultati della ricerca LTER e condividendo la passione e l'impegno che animano i ricercatori. Nel corso del tempo è cresciuta anche la consapevolezza che la conoscenza dell'ecologia porti in sé la possibilità di creare un legame intimo con la natura e il territorio, generando quelle relazioni affettive, oltre che cognitive (Harding 2008; Barbiero 2011, 2014), fondamentali e necessarie per averne cura in modo costante ed efficace. La proposta dei Cammini LTER nasce, infatti, sul solco di una tradizione antica per la quale “camminare è

Come citare questo capitolo: Pugnetti A., Bergami C., De Lazzari A. *et al.* (2021). La Rete LTER-Italia in dialogo con la società civile, p. 57-61. DOI: 10.5281/zenodo.5575831. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

un modo privilegiato di accedere alla conoscenza dei luoghi e di sé stessi” (Solnit 2000) e consente di rafforzare il legame profondo e vitale con gli altri esseri viventi e con l’ambiente (Maturana & Varela 1998; Varela *et al.* 1991). Questo aspetto è particolarmente rilevante per la rete LTER-Italia, dove gli ecosistemi e la biodiversità sono considerati non solo oggetti di studio ma anche valori, per condividere i quali è necessaria la collaborazione tra tutti quelli che abitano, gestiscono e studiano un territorio, al fine di sviluppare e consolidare relazioni solide e consapevoli.

Durante i Cammini si sono svolte molte tipologie di comunicazione (Bergami *et al.* 2018). Attività tradizionali (*e.g.* comunicati stampa, conferenze pubbliche, tweet e post sui social network, racconti tramite blog) hanno accompagnato tutti i Cammini, con l’obiettivo di mettere in risalto il contributo delle varie istituzioni e mostrare il ruolo della ricerca LTER nei territori attraversati. A queste si sono aggiunte forme più partecipative quali le attività di *Citizen Science* (Criscuolo *et al.* 2018a e b) e i BioBlitz (Petriccione 2018), in cui i Cammini sono diventati occasioni di scambio e di costruzione di nuova conoscenza, e i *Sea Futuring Tours* (L’Astorina *et al.* 2018b), che hanno permesso di entrare in relazione con gli attori locali in un confronto con le diverse prospettive e idee di futuro su uno stesso territorio.

La varietà di attività di comunicazione sperimentate durante i Cammini LTER rispecchia l’eterogeneità di esperienze e interessi delle ricercatrici e dei ricercatori della rete LTER rispetto all’ecologia, rendendoli una sorta di laboratorio in cui sono nate riflessioni e visioni critiche sulle pratiche di comunicazione e sul ruolo degli scienziati nel modello attuale di produzione e diffusione della scienza, e su nuove opportunità per sviluppare maggiore empatia, collaborazione e responsabilità nelle relazioni fra ecologia e società (L’Astorina *et al.* 2018a; L’Astorina *et al.* in press). Quando si comunica, infatti, non si trasmettono solo contenuti ma anche le proprie idee di scienza e di società. Comunicare serve sicuramente a far conoscere le attività di ricerca e a far apprezzare il loro ruolo per la società: in questo caso, usare contesti informali come quelli dei Cammini serve a sperimentare nuovi linguaggi che rendano la scienza più accessibile. Oltre a questo, comunicare nei Cammini LTER ha assunto il significato di mettersi in ascolto, di sé e degli altri, facendo diventare più concreta l’attivazione di sinergie tra la Rete e i diversi attori presenti sul territorio, per collegare conoscenze esperte e locali. Infine, attraverso le attività in cammino molte ricercatrici e ricercatori hanno recuperato o rafforzato la componente emotiva e affettiva nei confronti sia del proprio lavoro sia dell’ambiente naturale.

I Cammini LTER sono descritti in un volume monografico, scaricabile liberamente online, a essi dedicato: Bergami, C., L’Astorina, A., Pugnetti, A. (a cura di). 2018. I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell’ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN (online) 978888080304-1, ISBN (cartaceo) 978888080312-6, DOI 10.32018/978888080304-1

Bibliografia

- Barbiero G. (2011). Biophilia and Gaia: Two Hypotheses for an Affective Ecology. *Journal of Biourbanism* 26 (1), 1-27.
- Barbiero G. (2014). Affective Ecology for Sustainability. *Visions for sustainability* 1, 20-30.
- Bergami C., L’Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell’ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN (online) 978888080304-1, ISBN (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1.
- Criscuolo L., Carrara P., Oggioni A., Pugnetti A., Antoninetti M. (2018a). *Can VGI and mobile apps support Long Term Ecological Research? A test in remote areas of the Alps*. In: Bordogna G., Carrara P. (eds) *Mobile Information Systems Leveraging Volunteered Geographic Information for Earth Observation. Earth Systems Data and Models*, Vol. 4. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-70878-2_3.
- Criscuolo A., Oggioni A., Campanaro A. (2018). *La Citizen Science nei Cammini LTER*. In: Bergami C., L’Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell’ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1: 128-32.

-
- Harding S. (2008). *Animate Earth*. White River Junction, VT: Chelsea Green.
- Jamieson L. (2011). Intimacy as a Concept: Explaining Social Change in the Context of Globalisation or Another Form of Ethnocentrism? *Sociological Research Online* 16 (4): 15.
- L'Astorina A., Bergami C., D'Alelio D., Dattolo E., Pugnetti A. (2018a). What is at stake for scientists when communicating ecology? Insight from the informal communication initiative “Cammini LTER”. *Visions for sustainability*, 10: 19-37.
- L'Astorina A., Pelusi A., Petrocelli A., Portacci G., Rubino F. (2018b). *I Sea Futuring Tours nei Cammini LTER*. In: Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1: 137-142.
- L'Astorina A., Bergami C., De Lazzari A., Falchetti E. (eds.) (2021). Special Issue “Scientists moving between narratives towards an ecological vision”. *Visions for Sustainability* (in press).
- Le Breton D. (2000). *Eloge de la marche*. Editions Métailé. ISBN 286424-351-2.
- Maturana H.R., Varela F.J. (1998) [1987]. *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*. Revised Edition. Boston and London: Shambhala Publications, 269 pp. ISBN: 0877736421.
- Petruccione B. (2018). *I BioBlitz nei Cammini LTER*. In: Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1: 133-136.
- Pugnetti A., De Lazzari A., Bergami C., L'Astorina A. (2019). Il dialogo dei ricercatori con la società civile. Esperienze e riflessioni dai Cammini della Rete di Ricerca Ecologica a Lungo Termine LTER-Italia. In: Atti del XXVIII Congresso ANMS I Musei Scientifici nell'anno Europeo del Patrimonio. Museologia scientifica. Memorie 20: 127-134. ISBN 978-88-908819-3-0.
- Pugnetti A. (2020). Voices from the water: experience, knowledge, and emotions in long-term ecological research (LTER Italy). *Advances in Oceanography and Limnology*, 11, 9508. DOI: 10.4081/aiol.2020.9508.
- Solnit R. (2000). *Wanderlust: A History of Walking*. New York, Penguin Books.
- Varela F.J., Thompson E., Rosch E. (1991). *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. MIT Press. Cambridge.

Tab. 1 - I 13 Cammini LTER svoltisi fra il 2015 e il 2019: tipologia di cammino, durata, lunghezza, siti LTER toccati, temi principali ed enti organizzatori.

Anno	Nome del Cammino	Tipologia	Periodo e durata (giorni)	Lunghezza (km)	Siti LTER toccati	Temi principali	Enti organizzatori
2015	Mesothalassia: ciclo-staffetta ecologica dalle dune del Molise al Golfo di Napoli	In bicicletta	28/6/15-8/7/15 (11)	600	Foce Trigno – Marina di Petacciato, LTER MareChiara, LTER Lacco Ameno	Diversità dei microorganismi acquatici, plancton, ecosistemi acquatici d'acqua dolce, marini e di transizione	Stazione Zoologica Napoli, Università del Molise
	Sugli Appennini Centrali dal Velino al Gran Sasso, l'avventura della biodiversità	A piedi	29/7/15-01/08/15 (4)	70 (40 a piedi)	Appennino centrale: Velino-Duchessa, Appennino centrale: Gran Sasso	Appennini, biodiversità di alta quota, cambiamenti climatici	Ex CFS (Ufficio biodiversità L'Aquila)
	Rosa...azzurro... verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa al Lago Maggiore	A piedi	23/8/15-28/8/15 (6)	164 (52 a piedi)	Istituto Scientifico "A. Mosso", Lago Maggiore, Lago Paione Inferiore	Geomorfologia, ecologia, pedologia alpina, botanica, limnologia	CNR-IREA, CNR-ISE (ora IRSA), Unito Natrisk DISAFA
2016	Terramare – Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna	In canoa, a nuoto, in bicicletta	21/6/16 – 28/6/16 (7)	161	Golfo di Trieste, Laguna di Venezia	Ecosistemi marini costieri e lagunari, comunità e reti trofiche planctoniche, gestione delle aree costiere e sostenibilità	CNR-ISMAR, OGS
	Terramare – Il racconto del cambiamento tra foreste, laghi e mare	In bicicletta	30/6/16 – 06/7/16 (7)	483 (343 in bici)	Bosco Fontana, Lago di Garda, Lago di Tovel, Laguna di Venezia	Stabilità e dinamicità degli ecosistemi, ecosistemi acquatici, biodiversità e funzioni ecosistemiche, cambiamento climatico	Stazione Zoologica Napoli, CREA-ABP, CNR-ISMAR, Fondazione E. Mach
	Terramare – Il racconto del viaggio del legno dalle foreste alla laguna	A piedi	01/7/16 – 06/7/16 (6)	256 (50 a piedi)	Valbona, Laguna di Venezia	Servizi ecosistemici del bosco, l'uomo, la montagna e la foresta	Unito Natrisk DISAFA, Parco Paneveggio Pale S. Martino
	Il racconto della biodiversità dell'Appennino	A piedi	19/7/16 – 24/7/16 (5)	50	Appennino Centrale: Velino-Duchessa, e Gran Sasso, Appennino centro-Meridionale: Majella - Matese	Appennini, biodiversità di alta quota, cambiamenti climatici	Ex CFS (Ufficio biodiversità L'Aquila), Università Molise, Enti Parchi Gran Sasso e Monti della Laga e della Majella

Anno	Nome del Cammino	Tipologia	Periodo e durata (giorni)	Lunghezza (km)	Siti LTER toccati	Temi principali	Enti organizzatori
2017	Biodiversità in azione sull'Appennino	A piedi	20/7/16 – 23/7/16 (4)	20	Appennino Centrale: Gran Sasso e Majella - Matese	Appennini, biodiversità di alta quota, cambiamenti climatici	Arma dei Carabinieri, Università Molise, Enti Parchi Gran Sasso e Monti della Laga e della Majella
	Antropica - Ecosistemi, risorse naturali e impatto dell'uomo	In bicicletta	30/9/17 – 07/10/17 (8)	464	Golfo di Napoli, Mar Piccolo di Taranto	Impatto antropico sugli ecosistemi, rapporto tra biodiversità e funzione negli ecosistemi, perdita di habitat e biodiversità legata ai cambiamenti ambientali e alle invasioni biologiche, rapporto tra uomo e ambiente	Stazione Zoologica Napoli, CNR-ISMAR, CNR-IAMC (ora IRS), CNR-IREA
2018	Camminiamo la Biodiversità - Sugli Appennini alla ricerca dell'ecologia	A piedi	20/7/18 – 22/7/18 (3)	30	Appennino Centrale: Velino-Duchessa	Appennini, biodiversità di alta quota, cambiamenti climatici	Arma dei Carabinieri (Reparto Biodiversità Castel di Sangro)
	Tra Laghi e Foreste: un cammino transfrontaliero dall'Italia alla Svizzera	A piedi	2/9/18 – 5/9/18 (4)	40	Lago Paione Inferiore, LTER Visp (LTER-Svizzera)	Impatti a lungo termine delle attività dell'uomo sugli ecosistemi montani	CNR-ISE (ora IRS), Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL)
2019	In cammino nel tempo dell'ecologia	Stanziale	12/9/2019 - 16/9/19 (5)	0	Nessuno	Modalità di dialogo tra scienza, arte e società, transdisciplinarità	CNR-IREA, CNR-ISMAR, Carabinieri Biodiversità, ECCOM
	L'uomo e l'ambiente: escursione transfrontaliera tra la Valle Ötztal e la Val Mazia	A piedi	23/9/19 – 27/9/19 (5)	42	Val Mazia, Obergurgl (LTER-Austria)	Geomorfologia, ecologia, pedologia alpina, botanica	EURAC Research

Macrositi e Siti della Rete LTER-Italia

IT01-T ECOSISTEMI D'ALTA QUOTA

Autori

Angela Stanisci¹, Maurizio Cutini², Bruno Petriccione³, Graziano Rossi⁴, Chiara Calderaro¹, Maria Laura Carranza¹, Valter De Cecco⁵, Ludovico Frate¹, Carmen Giancola¹, Luciano Di Martino⁶, Michele Di Musciano⁵, Roberto Tognetti⁷, Jean-Paul Theurillat⁸, Alessandro Bricca², Andrea De Toma², Anna Rita Frattaroli⁵, Marco Iocchi², Marco Malavasi⁹, Flavio Marzialetti¹, Andrea Scolastri², Marcello Tomaselli¹⁰, Simone Orsenigo⁴, Francesco Porro⁴, Maurizia Gandini⁴, Michele Carbognani¹⁰, Alessandro Petraglia¹⁰, Matteo Gualmini¹⁰, Thomas Abeli²

Affiliazione

¹ Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche (Isernia).

² Università degli studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale G. Marconi 446, Roma.

³ Reparto Carabinieri Biodiversità, Castel di Sangro, L'Aquila.

⁴ Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via S. Epifanio 14, 27100 Pavia, Italia.

⁵ Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

⁶ Majella Seed Bank, Parco Nazionale della Majella, Località Colle Madonna, Lama dei Peligni (Chieti).

⁷ Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Campobasso.

⁸ Centre Alpin de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, Champex-Lac, Switzerland .

⁹ University of Life Sciences (CULS), Faculty of Environmental Sciences, Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Czech Prague (Czech Republic).

¹⁰ Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/a, 43124 Parma, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/70b5c2bd-b0c3-4132-8988-f527893bfa42>

Tipologia di ecosistema: terrestre

Referente Macrosito: Angela Stanisci

Siti di ricerca:

Appennino Centro-Meridionale:

Majella-Matese, **IT01-001-T**

Appennino Centrale:

Velino-Duchessa, **IT01-002-T**

Appennino Centrale:

Gran Sasso, **IT01-003-T**

Appennino Settentrionale, **IT01-004-T**



Paesaggio appenninico d'alta quota

Come citare questo capitolo: Stanisci A., Cutini M., Petriccione B. *et al.* (2021). IT01-T Ecosistemi d'alta quota, p. 65-99. DOI: 10.5281/zenodo.5584729. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

È costituito da ecosistemi terrestri di alta quota della catena montuosa degli Appennini, che si presentano come “isole” orografiche nel Mediterraneo centrale collocate lungo la dorsale appenninica.

In particolare, comprende aree permanenti di monitoraggio ecologico a lungo termine distribuite nei tre settori geografici dell’Appennino:

1. Appennino settentrionale: le aree permanenti di monitoraggio sono collocate lungo un gradiente altitudinale che va dal limite del bosco alla vegetazione alpina (1800-2120 m), inserite nella rete mondiale del progetto GLORIA (GLObal Research Initiative in Alpine ecosystems); altre aree permanenti sono dedicate al monitoraggio della copertura nevosa e delle popolazioni locali di specie a rischio.
2. Appennino centrale: le aree di ricerca più antiche sono ubicate sul Gran Sasso d’Italia e sul M.Velino installate rispettivamente nel 1986 e nel 1993, in ambiente di tundra e praterie primarie di alta quota. Dal 2001 poi si sta svolgendo il monitoraggio ecologico del piano alpino del massiccio della Majella, secondo il protocollo metodologico del progetto mondiale GLORIA, le aree permanenti sono collocate secondo un gradiente altitudinale che va dal limite altitudinale superiore della mughe alle praterie primarie di alta quota (2400-2730 m). Inoltre, nel sito della Majella si stanno studiando l’anatomia del legno e la dendrocronologia del faggio e del pino mugo. Dal 2005 anche sul gruppo montuoso Velino-Duchessa vi sono delle aree di monitoraggio lungo 2 transetti altitudinali disposti rispettivamente lungo le pendici sud-occidentali di M.te Morrone (1800-2141 m, Montagna della Duchessa, Lazio) e dell’allineamento M.te Sevice-M.te Velino (1800-2487 m, Massiccio del Velino, Abruzzo).
3. Appennino meridionale: dal 2007 vi sono due aree di ricerca incluse nella rete del progetto GLORIA sui crinali dei massicci montuosi del Matese (1900-2050 m).

Le tematiche di ricerca riguardano l’analisi dei trend di temperatura e precipitazioni ed i loro effetti ecologici, la diversità e l’abbondanza di specie di flora vascolare e di avifauna, i cambiamenti nella struttura e nella composizione degli habitat di interesse comunitario, cambiamenti di uso del suolo, la biologia riproduttiva e l’ecologia della germinazione di specie di piante vascolari a rischio di estinzione, l’ecoinformatica attraverso l’utilizzo di database vegetazionali, i cambiamenti globali, la durata della copertura nevosa, la decomposizione organica a livello del suolo, l’accrescimento radiale e l’anatomia del legno del pino mugo e del faggio.

Abstract

The macro-site includes the following research sites along the Apennine mountain range:

LTER_EU_IT_022 – Central and Southern Apennine: Majella-Matese
LTER_EU_IT_025 – Central Apennine: Velino-Duchessa
LTER_EU_IT_024 – Central Apennine: Gran Sasso
LTER_EU_IT_023 – Northern Apennine

It consists of “orographic islands” with high elevation vegetation in central Mediterranean basin, along the Apennines mountain range. It includes permanent plots where long term ecological monitoring is carried out. They are distributed in the three geographical sectors of Apennines:

Northern Apennines: the permanent plots are placed between the timberline zone and the alpine belt (**1800-2120 m**); they are included into the worldwide network of GLORIA project (GLObal Research Initiative in Alpine ecosystems). Other permanent plots are devoted to the monitoring of snow cover and of the populations of vascular plants at extinction risk.

Central Apennines: the oldest permanent plots are located at Gran Sasso d’Italia (since 1986) and at Mt.Velino (since 1993), in alpine tundra and primary grasslands. Since 2001 the ecological

monitoring of the alpine belt in Majella national Park started, according to the standardized methodological protocol of the worldwide network GLORIA; the plots are placed along an elevation gradient between dwarf shrublands and tundra vegetation (2400-2730 m). Moreover, the wood anatomy and dendrochronology of beech and mountain pine are being studied. Since 2005, in M.ts Velino and Duchessa other permanent plots are monitored along two separate elevation transects on the south-western slopes of M.te Morrone (1100-2141 m a.s.l., Montagna della Duchessa, Lazio) and M.te Sevice-M.te Velino (1100-2487 m a.s.l., Velino massif, Abruzzo), including grasslands, open beech forest, timberline and high elevation vegetation.

Southern Apennines: since 2007 other permanent plots are monitored in Matese mountains (1800-2000 m a.s.l.), included into the worldwide network GLORIA, and characterised by ridges grasslands.

The research topics concern: temperature and precipitation trends and their ecological effects, vascular plant and birds diversity and abundance, structure and composition changes of EC habitats, land use changes, population biology and germination ecology of vascular plants at extinction risk, ecoinformatics through the use of vegetation database, global change, duration of snow cover, litter decomposition, tree-ring growth and wood anatomy of mountain pine and beech.

Appennino centro-meridionale: Majella-Matese

Autori

Angela Stanisci¹, Chiara Calderaro¹, Maria Laura Carranza¹, Valter De Cecco², Ludovico Frate¹, Carmen Giancola³, Luciano Di Martino², Michele Di Musciano⁴, Roberto Tognetti⁵

Affiliazione

¹ Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche (Isernia).

² Majella Seed Bank, Parco Nazionale della Majella, Località Colle Madonna, Lama dei Peligni (Chieti).

³ Giardino della Flora Appenninica di Capracotta (Isernia).

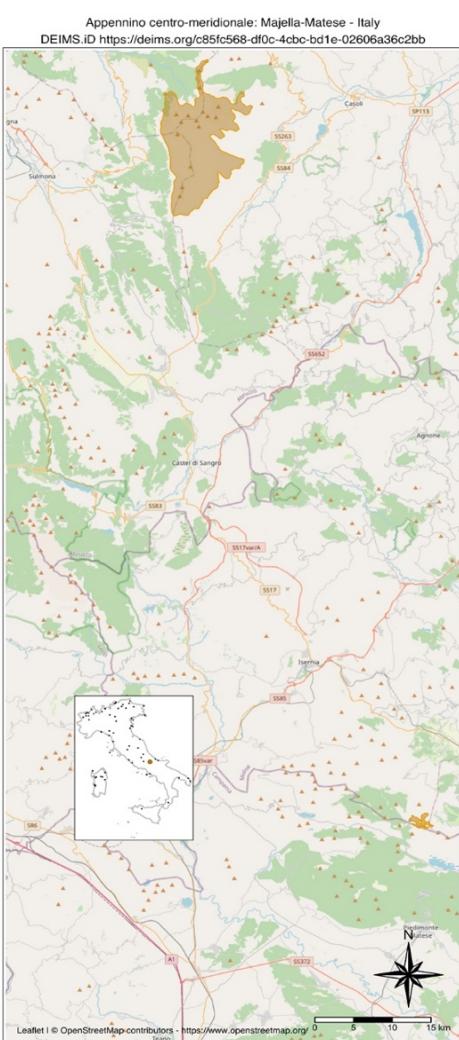
⁴ Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

⁵ Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Campobasso.

Sigla: IT01-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/c85fc568-df0c-4cbc-bd1e-02606a36c2bb>

Responsabile del sito: Angela Stanisci



Descrizione del sito e delle sue finalità:

Le aree dove viene svolto il monitoraggio ecologico a lungo termine sono situate nella parte sommitale del massiccio della Majella, che raggiunge con M. Amaro la sua massima elevazione (2794 m s.l.m.), e dei Monti del Matese, la cui vetta più alta è M. Miletto (2040 m s.l.m.).

I siti di ricerca del massiccio della Majella sono inclusi nel territorio del Parco Nazionale della Majella, del S.I.C. IT7140203 (Majella) e della ZPS ITIT7140129, mentre i siti di ricerca dei Monti del Matese sono invece inclusi nel Parco Nazionale del Matese e nel S.I.C./Z.P.S. IT7222287 con denominazione “La Gallinola-Monte Miletto-Monti del Matese”.



Fig. 1 - Parco Nazionale della Maiella (Foto Giovanni Pelino)

discontinua dei ghiaioni e delle rupi (*Linario-Festucion dimorphae*, *Saxifragion australis*) (Blasi *et al.* 2003; Biondi *et al.* 2009).

Per quanto riguarda i Monti del Matese, per effetto delle secolari ed intensive pratiche silvo-pastorali le formazioni arbustive subalpine sono state eliminate e la faggeta risulta, dunque, a diretto contatto, nel suo limite altitudinale superiore, con prati-pascolo continui (*Phleo ambiguum-Bromion erecti*) o con la vegetazione di rupi e ghiaioni (*Festucion dimorphae*, *Saxifragion australis*). Le vette più elevate, tra i 1800 e i 2000 metri, sono ricoperte da praterie primarie discontinue (*Festucion violaceae*, *Seslerion apenninae*) (Giancola *et al.* 2008).

Il monitoraggio ecologico a lungo termine viene svolto in 64 aree permanenti collocate nel piano alpino del massiccio della Majella e nel piano altomontano dei Monti del Matese.

Le principali attività di monitoraggio periodico riguardano: la diversità e l'abbondanza di specie di piante vascolari, la temperatura a livello del suolo, la decomposizione della lettiera e la dinamica del carbonio del suolo, lo studio dendrocronologico e dendroanatomico delle mughete e faggete.

Il monitoraggio dei dati termometrici e della diversità delle piante vascolari viene svolto nell'ambito delle attività del progetto a scala mondiale GLORIA (GLObal Research Initiative in Alpine ecosystems – <https://www.gloria.ac.at>). Le temperature al suolo vengono registrate automaticamente ogni ora dal 2001 tramite data-loggers e periodicamente i dati vengono analizzati e pubblicati. Il censimento e la valutazione della copertura e abbondanza delle specie di piante vascolari presenti nelle aree permanenti avviene invece ogni 4-7 anni, nello stesso periodo per tutti i siti altomontani europei della rete GLORIA, per consentire di analizzare i dati in modo congiunto e fornire delle informazioni aggiornate e complessive sugli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani europei (Pauli *et al.* 2012).

Sul massiccio della Majella, tra i 2400 e i 2750 m s.l.m., sono presenti molteplici esempi di morfologie glaciali e persistono condizioni climatiche di tipo periglaciale, con temperatura media annua dell'aria di + 3°C. Il suolo è coperto da neve da metà settembre a metà giugno. Il paesaggio fisico in alta quota è modellato da morfologie glaciali e dai depositi ad esse associate e dalle morfologie carsiche superficiali. A seconda delle diverse geoforme, il piano alpino è composto da un mosaico vegetazionale formato da praterie primarie (*Seslerion apenninae*, *Arabidion coeruleae*, *Violo magellensis-Cerastion thomasi*), praterie compatte di dolina (*Salicion herbaceae*, *Ranunculo-Nardion*) o dalla vegetazione frammentata e

Gli studi sulla decomposizione della materia organica e sulla dinamica del carbonio del suolo vengono svolti nell'ambito della rete mondiale di ricercatori associati al consorzio TeaComposition (<https://teacomposition.org/>). Anche in questo caso il prelievo di campioni di materia organica in decomposizione e di suolo vengono prelevati periodicamente e in modo congiunto per consentire analisi comparative tra diversi gruppi montuosi del pianeta (Djukic *et al.* 2018).

Studi dendrocronologici su pino mugo, unici sulla catena Appenninica, sono stati condotti a partire dal 2008. A questi sono stati associati studi di dendroclimatologia, utilizzando i dati meteorologici forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico di Pescara (Palombo *et al.* 2014). Contemporaneamente è stata condotta un'attenta analisi storica dei cambiamenti di uso del suolo, mediante ricerche storiche ed elaborazione di carte sulla dinamica vegetazionale del pino mugo (Palombo *et al.* 2013). Studi di anatomia del legno sono stati condotti sulla formazione del legno di compressione nel pino mugo, specie fortemente influenzata dalla quantità di neve a terra e dal numero di giorni con precipitazioni nevose.

In aggiunta sono state analizzate le dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecotono subalpino in risposta a fattori di disturbo (quali siccità, pascolo, tagli) e agli effetti dei cambiamenti climatici in ambiente forestale Mediterraneo nel Parco Nazionale della Majella. Questo ecosistema di transizione che domina le alte quote del massiccio presenta in questa parte d'Appennino Centrale il limite latitudinale del suo areale di distribuzione. Il cambiamento climatico e di uso del suolo (quest'ultimo derivato dall'abbandono dei sistemi silvo-agro-pastorali) influenza le dinamiche spazio-temporali tra il bosco di faggio e la vegetazione prostrata con pino mugo (Calderaro *et al.* 2014).

Le dinamiche di vegetazione in queste zone ecotonali possono avere un effetto negativo sulla distribuzione spaziale e sulla sopravvivenza delle specie erbacee rare o endemiche, influenzando così l'aspetto, la struttura e la produttività dell'ecotono subalpino del Parco Nazionale della Majella.

Sono inoltre in corso analisi dendroanatomiche su due transetti altitudinali di faggio attraverso le quali sarà possibile individuare e capire le relazioni tra gli accrescimenti annuali e le caratteristiche anatomiche del legno, in particolar modo le caratteristiche idrauliche e strutturali del legno, così come l'influenza delle condizioni climatiche sulla crescita e la funzionalità delle piante (Calderaro 2019).

In queste aree vengono svolte anche altre ricerche che forniscono un contributo all'aumento delle conoscenze sui cambiamenti ecologici a lungo termine, tra queste l'analisi dei cambiamenti degli aspetti strutturali e funzionali degli ecosistemi di alta quota attraverso l'uso dei dati vegetazionali presenti nel database VIOLA (Stanisci *et al.* 2016a; Evangelista *et al.* 2016a). VIOLA è un archivio informatizzato di 1800 rilievi fitosociologici effettuati in Appennino centrale negli ultimi 50 anni, ed è collegato ad altri database internazionali e nazionali come GIVD (Global Index of Vegetation-Plot Database, <http://www.givd.info>ID/EU-IT-019>), l'European Vegetation Archive (EVA, www.euroveg.org) e l'Italian vegetation database (VegItaly, www.vegitaly.it). Questo approccio di studio ecologico viene chiamato ecoinformatica, e consente di analizzare una grande mole di dati ecologici riferiti ad epoche diverse e di valutare gli effetti del cambiamento di uso del suolo e dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani dagli anni '50 ad oggi (Frate *et al.* 2018).

Inoltre in questi ultimi anni si è dedicata un'ulteriore attenzione allo studio delle strategie di dispersione delle specie di piante vascolari d'alta quota (Di Musciano *et al.* 2018) e alle caratteristiche morfologico-funzionali che determinano le capacità di acquisizione e conservazione delle risorse nelle piante di alta quota, al fine di comprendere quali siano le strategie di adattamento delle comunità vegetali delle vette al cambiamento climatico.

Altro argomento trattato è quello dell'ecologia della germinazione per le specie d'alta quota (Di Cecco *et al.* 2017; Di Martino *et al.* 2014; Frattaroli *et al.* 2013). Ogni specie ha requisiti specifici per la germinazione e questi sono spesso sconosciuti per le specie endemiche. La definizione dei protocolli di germinazione, in particolare per le specie caratterizzate da piccole popolazioni e per le quali mancano dati, potrebbe essere un passo importante per il miglioramento delle strategie di conservazione. A questo scopo, 7 specie vegetali presenti nell'allegato II della direttiva Habitat, tra cui 2 d'alta quota (*Androsace mathildae* e *Adonis distorta*) sono oggetto del progetto LIFE Floranet, che ha l'obiettivo di

produrre dei protocolli di germinazione, riprodurre *ex situ* le piante ed effettuare azioni di re-stocking in natura, oltre a conservare *ex situ* sia i semi che le piante riprodotte.

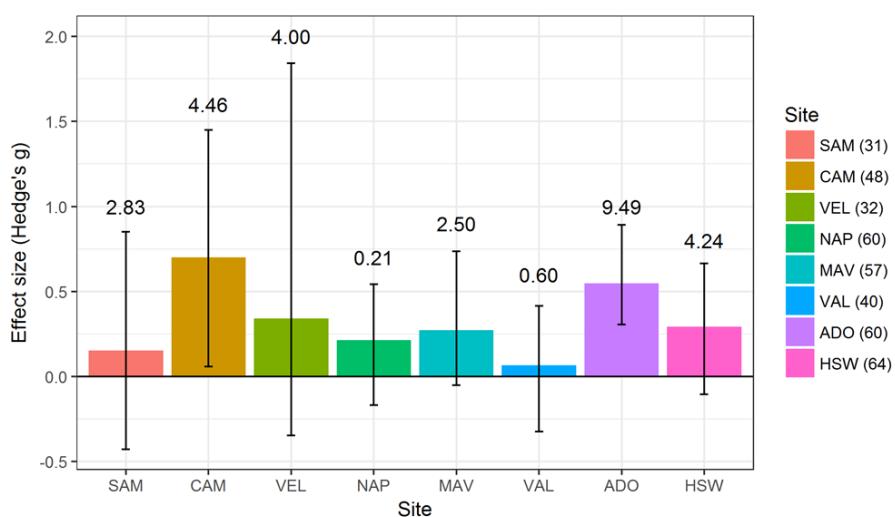
Risultati

Le analisi dei dati della temperatura hanno evidenziato un aumento significativo della temperatura media annuale di 1,7°C negli ultimi 50 anni (Evangelista *et al.* 2016b). Inoltre nell'ultimo secolo sono stati registrati un aumento della temperatura media di 2,87°C in primavera e di 4,38°C in inverno, ed un aumento della temperatura media delle minime in estate di 3,17°C (Dai *et al.* 2017).

Le temperature registrate a livello del suolo hanno rilevato un aumento pari a 0,76°C in 7 anni (Gottfried *et al.* 2012). Inoltre si è riscontrato che le esposizioni orientali e meridionali oltre ad essere quelle più calde ospitano un più alto numero di specie di flora vascolare (Winkler *et al.* 2016).

Dai dati raccolti su flora e vegetazione sono emerse delle variazioni significative nella composizione e nella struttura degli ecosistemi di alta quota. In particolare è stato registrato un fenomeno chiamato «termofilizzazione», riscontrato anche in altre aree montuose del pianeta (Gottfried *et al.* 2012). Esso consiste nell'aumento dell'abbondanza di specie che preferiscono temperature più miti (termofile) nelle vette e nello spostamento verso quote più elevate delle piante tipiche delle praterie che si sviluppano nella fascia del limite superiore del bosco. A causa del progressivo aumento delle temperature, queste specie riescono a spingersi e a crescere a quote più elevate, entrando in competizione diretta con la vegetazione delle vette. Queste specie termofile hanno una distribuzione centrata nei piani bioclimatici montano e subalpino (a quote inferiori del piano alpino). Sul massiccio della Majella gli habitat di alta quota che hanno subito una maggiore “termofilizzazione” sono le praterie discontinue degli altopiani sopra i 2500 m (habitat di interesse comunitario con codice 8120) e le mughe (habitat di interesse comunitario con codice 4070) (Frate *et al.* 2018; Calabrese *et al.* 2018).

Inoltre si è registrato in questi ecosistemi un aumento significativo di specie con alta capacità di propagazione vegetativa, come le erbacee cespitosse (alcune graminacee), le piccole legnose (camefite suffruticose), e le specie erbacee con una fioritura ritardata (emicriptofite rosulate), che sembrano favorite dall'aumento delle temperature e dell'allungamento della stagione vegetativa (Stanisci *et al.* 2016b). È stato poi osservato un aumento delle specie più esigenti per la disponibilità di nutrienti, anche questo favorito da un miglioramento nel processo di turnover dei nutrienti nel suolo grazie all'allungamento della stagione favorevole (Evangelista *et al.* 2016b).



*Fig. 2 - EFFETTO GREENING: incremento della copertura della vegetazione in alta quota in alcuni siti ILTER altomontani dell'Appennino e delle Alpi, misurato con il metodo median effect sizes (Hedge's g), le barre mostrano l'intervallo di confidenza al 95% e i numeri si riferiscono al cambiamento medio in percentuale. Le sigle si riferiscono a: SAM – Appennino meridionale, Matese; CAM-Appennino centrale, Majella; VEL – Appennino centrale, Velino; NAP-Appennino tosco-emiliano; MAV-Alpi sud-occidentali, Monte Avic; VAL – Alpi Vallesi-Entremont, Svizzera; ADO – Alpi orientali, Dolomiti; HSW – Alpi orientali, Hochschwab. I numeri tra parentesi corrispondono al numero di aree permanenti dove viene svolto il monitoraggio ecologico per ciascun sito (da Rogora *et al.* 2018)*

Come è stato riscontrato in altre montagne europee, si sta in generale verificando un processo di greening in alta quota, che consiste nell'aumento della copertura vegetazionale degli ambienti sommitali (Rogora *et al.* 2018), che è stato associato al riscaldamento climatico.

Dalle analisi del cambiamento di copertura del suolo, nell'area di contatto tra faggeta e arbusteto a pino mugo, nell'ecotonico subalpino del Parco Nazionale della Majella, è stata dimostrata un'espansione della mugheira rispettivamente verso quote superiori, con l'invasione degli ecosistemi sopra al limite della vegetazione arborea, soprattutto dove il terreno è poco profondo e roccioso, sia verso quote inferiori con l'occupazione di superfici idonee allo sviluppo del faggio (Dai *et al.* 2017). Questi movimenti sono dovuti sia al progressivo abbandono delle pratiche agro-silvo pastorali che ad un aumento delle temperature. Allo stesso tempo il faggio si espande verso quote superiori sfruttando le zone d'ombra offerte dalla mugheira e la sua diffusione è principalmente influenzata dalle alte temperature. Dalle analisi dendroclimatologiche emerge infatti che le temperature primaverili ed estive e le precipitazioni estive hanno influito sulla crescita radiale di entrambe le specie. In dettaglio, le temperature primaverili ed estive hanno influito negativamente sugli accrescimenti anulari del faggio, fatta eccezione per il sito di faggio posto alla quota maggiore (2127 m s.l.m.); dove le temperature primaverili influenzano positivamente la crescita, mentre le temperature estive hanno negativamente influenzato la crescita del pino mugo.

La struttura e la funzione di queste foreste secondarie riflettono i cambiamenti successionali indotti da una complessa combinazione di disturbi naturali ed antropici (Calderaro *et al.* 2014).

L'abbandono delle attività antropiche ed un progressivo aumento delle temperature probabilmente trasformeranno questo paesaggio nuovamente. L'insieme di questi fattori insieme alla gestione forestale dell'area protetta, possono innescare processi dinamici nella vegetazione finalizzati al recupero della naturalità delle formazioni vegetali.

Prospettive future

Tutte le ricerche in corso sono state condotte grazie al supporto logistico e tecnico-scientifico del personale dell'ente Parco Nazionale della Majella e al supporto economico-finanziario e scientifico dei coordinatori della rete europea di monitoraggio ecologico del progetto GLORIA. Questa rete di enti che collaborano tra loro consente di rendere sostenibile la continuità di queste ricerche nel breve e medio termine, sia sul piano delle risorse umane che finanziarie.

Inoltre vi è un'ampia risonanza dei risultati che via via si raggiungono, in quanto questi vengono pubblicati in sinergia con altri ricercatori europei su riviste scientifiche di alto livello e diffusione.

Ciò nonostante, resta fondamentale poter contare sul supporto istituzionale anche a livello nazionale e fare un ulteriore sforzo di divulgazione e condivisione sul tema degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi altomontani italiani, che forniscono fondamentali servizi ecosistemici al genere umano.

Abstract

Since 2001, in Majella National Park the ecological monitoring is carried out according to the standardized methodological protocol of the worldwide network GLORIA, along an elevation gradient between dwarf shrublands and tundra vegetation. Moreover, the wood anatomy and dendrochronology of beech and mountain pine are being studied. We observed an increase of mean temperature of +1,7°C in the last 50 years, and +2,87°C in winter and +4,38°C in spring.

Results showed significant changes in species composition and structure of high elevation ecosystems, mainly due to a thermophilization process. The alpine grasslands and the mountain pine bushes are experiencing a greening effect which consists of the expansion of warm-adapted species. Moreover, the mountain pine bushes are expanding towards the upper beech forest limit and the alpine belt.

Our long term ecological research has been possible thanks to funds provided by foreign countries and partially by EC funds. A national financial contribution would ensure the continuity of ecological data provision useful for assessing the adaptation and mitigation actions to face global warming effects.

Appennino centrale: Velino-Duchessa

Autori

Maurizio Cutini¹, Jean-Paul Theurillat², Bruno Petriccione³, Alessandro Bricca¹, Michele Di Musciano⁴, Andrea De Toma¹, Anna Rita Frattaroli⁴, Marco Iocchi¹, Marco Malavasi⁵, Flavio Marzialetti⁶, Andrea Scolastri¹

Affiliazione

¹ Università degli studi Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale G.Marconi 446, Roma.

² Centre Alpin de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, Champex-Lac, Switzerland.

³ Reparto Carabinieri Biodiversità, Castel di Sangro, L'Aquila.

⁴ Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, sanità pubblica, scienze della vita e dell'ambiente, Via Vetoio, L'Aquila.

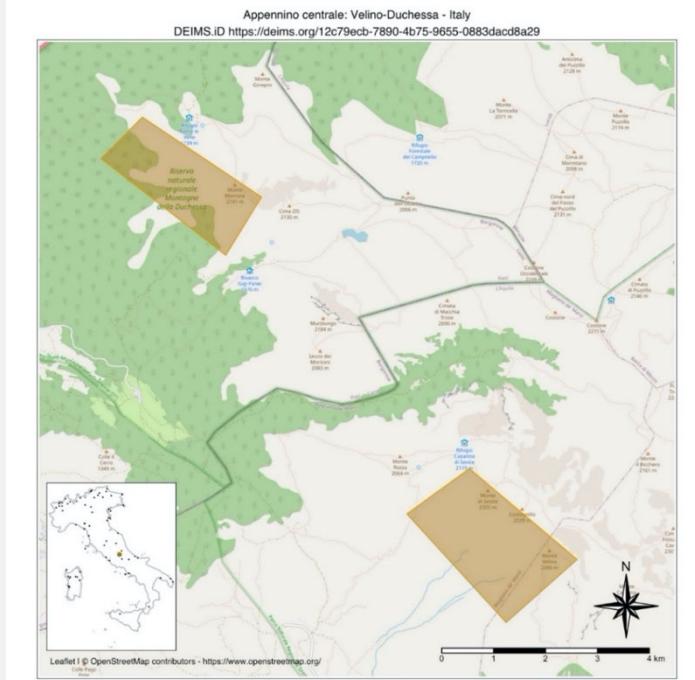
⁵ University of Life Sciences (CULS), Faculty of Environmental Sciences, Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Czech Prague (Czech Republic).

⁶ Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Pesche, Isernia.

Sigla. 1101-002-1

DEIMS.ID: <https://deims.org/12c9ecb-7890-4b55-9655-0885dacd8a29>

Responsabile sito: Maurizio Cutini



Descrizione del sito e delle sue finalità:

Il sito è costituito dalle aree sommitali poste in corrispondenza del Monte Velino (2487 m s.l.m.) e del Monte Morrone (2147 m s.l.m.), rilievi carbonatici meso-cenozoici che ricadono rispettivamente all'interno dei Comuni di Magliano dei Marsi e Massa d'Albe (L'Aquila, Abruzzo) e Borgorose (Rieti, Lazio) nell'Appennino laziale-abruzzese. Dal punto di vista vegetazionale si configurano come aree rappresentative della zonazione altitudinale dei sistemi carbonatici appenninici, presentando ampie superfici caratterizzate dalla vegetazione della tundra alpina a *Silene exscapa*, dalle praterie primarie discontinue a *Sesleria juncifolia*, da quelle continue a *Festuca rubra* subsp. *microphylla*, dalle praterie xerofitiche secondarie a *Bromopsis erecta* subsp. *erecta*, dai cespuglieti prostrati a *Juniperus communis* e *Arctostaphylos uva-ursi* (Avena & Blasi 1980; Petriccione 1993, 1994). Alle alte quote il mosaico vegetazionale è caratterizzato dalla continua alternanza di comunità casmofitiche e glareicole, arricchito dalla presenza di endemiti presenti in popolazioni significative di notevole valore conservazionistico, come la rara *Adonis distorta*. La componente forestale è dominata da foreste a *Fagus sylvatica* con, a quote inferiori, fasi preforestali a *Corylus avellana*, *Ostrya carpinifolia* e *Quercus* sp. pl..



Fig. 3 - Area sommitale del Massiccio del Velino. Cima del M.te Morrone (2147 m s.l.m.) con il caratteristico paesaggio di alta quota con il limite della foresta a faggio, arbusteti a ginepro nano e mosaico tra praterie primarie e secondari (Foto: Maurizio Cutini)

Il sito include diverse aree permanenti la cui installazione risale a periodi diversi. Nel 1993 sono state installate due aree permanenti (Velino A), nell'ambito della Rete di monitoraggio della Riserva Naturale Orientata Monte Velino, gestita dall'allora Corpo Forestale dello Stato, oggi Comando Carabinieri Tutela Biodiversità e Parchi, Reparto Biodiversità di Castel di Sangro (AQ) (Petriccione 2005), mentre, tra il 2005 e il 2009, sono state installate ulteriori 55 aree (Duchessa e Velino B) che rientrano nell'ambito di un più ampio progetto

di ricerca finanziato dal MIUR con l'obiettivo principale di studiare la variazione della diversità floristica lungo un significativo gradiente altitudinale in condizioni differenti di pattern vegetazionali (*Elevation gradient of vascular plant distribution in the Central Apennines: diversity patterns and potential impact of global change*) (Theurillat *et al.* 2007). Il progetto ha previsto il monitoraggio a medio e lungo termine della diversità floristica anche fuori dai limiti del sito LTER con ulteriori 112 altre aree

permanenti. Grazie a questa rete di aree permanenti, organizzate all'interno di due transetti contigui in ambito appenninico, i settori sommitali sono rientrati all'interno della rete LTER Italia (Fig. 5).

Il programma di ricerca a lungo termine prevede una raccolta dei dati basata su differenti cicli di monitoraggio. Nelle aree permanenti "Velino A" a partire dal 1993 vengono eseguiti rilevamenti della vegetazione con frequenza pluriennale (annuale dal 2008, su 300 m² per ogni area), mentre in quelle "Duchessa" e "Velino B", il monitoraggio ricorre ogni cinque anni (4 m² per ogni area).

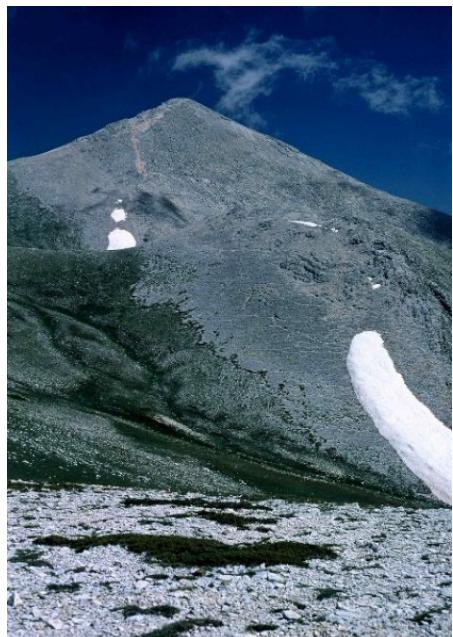


Fig. 4 - La piramide terminale che culmina con la cima del M.te Velino (2487 m s.l.m.), tra le cime più alte dell'Appennino centrale, caratterizzata da un tipico paesaggio di alta quota contraddistinto da tundra alpina, praterie primarie continue e discontinue e dalla vegetazione dei brecciai (Foto: Bruno Petriccione)

Le indagini prevedono inoltre anche il monitoraggio dei caratteri climatici. Nell'estate del 2005 sono state installate quattro stazioni climatiche a intervalli regolari di 250 metri di altitudine (1208, 1468, 1714

e 1972 m s.l.m.) nel transetto altitudinale “Duchessa”, e cinque stazioni allo stesso intervallo altimetrico (1207, 1482, 1728, 1978 e 2238 m s.l.m.) nel transetto altitudinale “Velino B”, nelle quali avviene il monitoraggio continuo della temperatura dell'aria e del suolo durante tutto l'anno, e delle precipitazioni meteoriche durante il periodo vegetativo Maggio-Settembre. Dal 2014, inoltre, il microclima delle due principali comunità biotiche di alta quota di

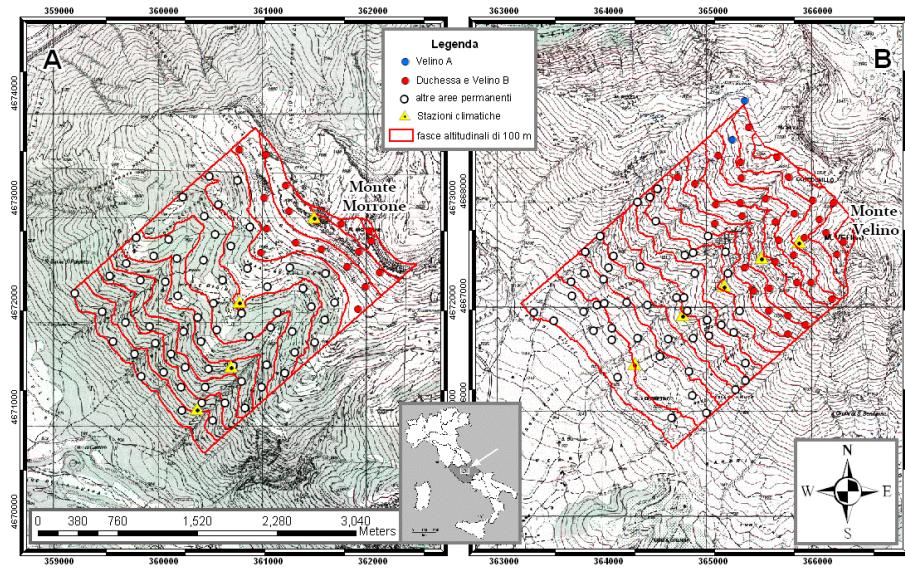


Fig. 5 - Localizzazione delle aree permanenti e delle stazioni climatiche installate nei transetti altitudinali “Duchessa” (A) e “Velino” (B). Le aree permanenti collocate al di sopra dei 1800 m s.l.m. rientrano all'interno della rete LTER e sono rappresentate da cerchi blu (Velino A) e cerchi rossi (Duchessa e Velino B)

“Velino A” è studiato direttamente e con continuità, attraverso appositi sensori installati nel suolo che rilevano e memorizzano la misura della temperatura con frequenza oraria, secondo la metodologia internazionale GLORIA (Pauli *et al.* 2004). Nel 2018, sensori del tipo IButton sono stati istallati in 17 aree permanenti di “Velino B” per registrare la temperatura del suolo, sempre con frequenza oraria.

Per quanto riguarda la componente biologica, negli ultimi anni sono state avviate indagini di ecologia funzionale a scala di comunità, relative ai contesti di prateria e forestali, studi relativi alla componente ipogea e analisi diacroniche a scala di paesaggio, che hanno quali scopi generali la conoscenza dei meccanismi funzionali e di trasformazione degli ecosistemi montani alle alte quote.

Risultati



Risultati preliminari del monitoraggio climatico mostrano variazioni significative delle precipitazioni lungo il gradiente altitudinale, con l'esistenza di 1-2 mesi di aridità (e/o subaridità) durante il trimestre estivo anche per le stazioni climatiche delle quote più elevate. Tale evidenza supporta l'ipotesi che l'area appartenga alla regione Mediterranea, differentemente dalle classificazioni bioclimatiche correntemente in uso per l'Appennino centrale (Cutini *et al.* dati inediti). Tale ipotesi è ulteriormente confortata anche dalle percentuali significative del corotipo Mediterraneo s.l., dato emerso analizzando la consistenza floristica e i relativi spettri corologici misurati lungo il gradiente altitudinale e considerando i rilevamenti della vegetazione realizzati nei due transetti (Theurillat *et al.* dati inediti) (Fig. 7).

Fig. 6 - Stazione climatica posta a 2238 m s.l.m. sul M.te Velino (Foto: Maurizio Cutini)

In particolare, dai primi 25 anni di osservazioni sulla vegetazione effettuate nelle aree permanenti di "Velino A", emerge una chiara tendenza all'adattamento all'aridità delle comunità vegetali d'alta quota, nelle quali è in corso un processo di graduale degenerazione, con forte diminuzione delle specie adattate ai climi più freddi (es. *Trifolium thalii*) e l'aumento di quelle più termofile (es. *Trifolium pratense* subsp. *semipurpureum*).

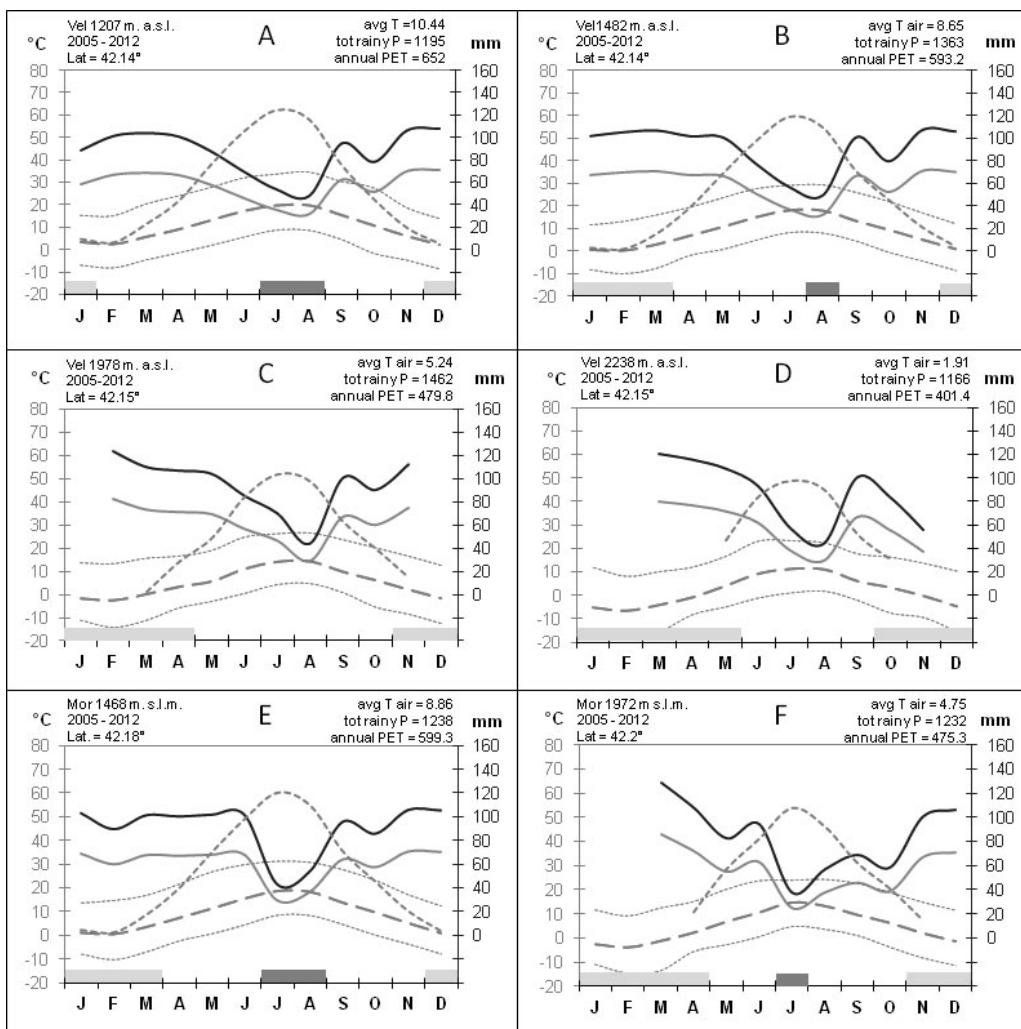


Fig. 7 - Diagrammi ombrotermici di alcune delle stazioni climatiche (A, B, C, D Velino; E, F Duchessa), in cui si notano gli andamenti mensili della temperatura dell'aria (media, massima e minima), le precipitazioni liquide (per $P = 2T$ e $P = 3T$) e l'evapotraspirazione (trattini stretti). In ascisse la banda in grigio-chiaro indica il periodo in cui la temperatura dell'aria è $< 5^{\circ}\text{C}$ (condizione di non-crescita delle piante), mentre la banda in grigio-scuro il periodo di pre-aridità ($2T < P < 3T$)

Mentre nelle comunità vegetali resistenti e stress-tolleranti della tundra alpina lo stadio dinamico di fluttuazione appare costante nel tempo (Petriccione & Claroni 1996), il profondo turnover di specie osservato nelle comunità mesofitiche a *Festuca rubra* subsp. *microphylla*, fino a valori prossimi al 40-50% rispetto al numero totale di specie osservate in 25 anni, è dovuto all'aumento quantitativo delle specie vegetali più termofile, stress-tolleranti e xerofitiche ed alla parallela diminuzione di quelle più mesofitiche, competitive e microterme. Questo processo di degenerazione delle biocenosi è verosimilmente dovuto al generale riscaldamento in atto in tutte le aree montane di alta quota che, insieme all'aumento della variabilità climatica inter-annuale e degli eventi estremi ed alla sempre più frequente assenza di copertura nevosa, determinano un aumento dello stress ecologico. I primi dati

rilevati sul microclima delle stazioni di ricerca di “Velino A” confermano queste ipotesi, con frequenti inverni privi di continuità nel tempo nella copertura nevosa delle praterie mesofitiche (Fig. 8).

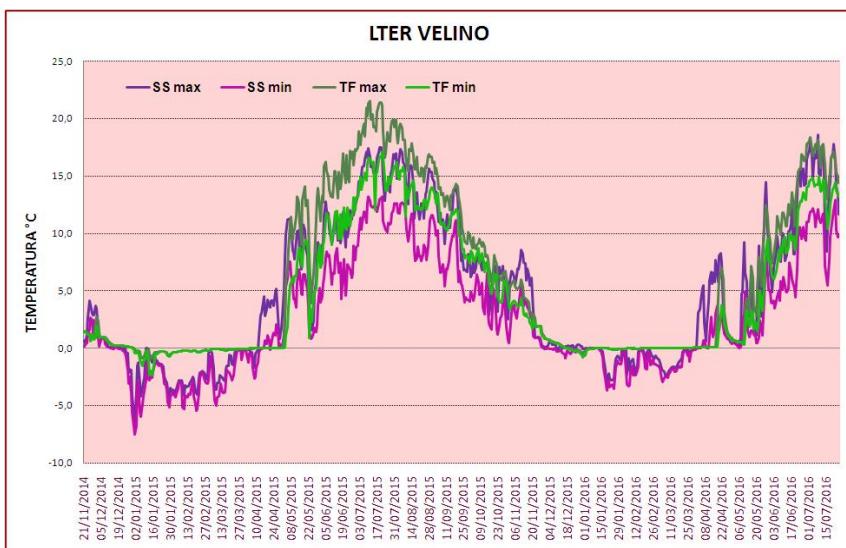


Fig. 8 - Cambiamenti stagionali ed annuali nella temperatura del suolo (profondità -10 cm) nella stazione di ricerca “Velino A” (SS: tundra alpina a *Silene exscapa*; TF: prateria continua a *Festuca rubra* subsp. *microphylla*), nel periodo novembre 2014 – luglio 2016

diversificazione di strategie ipogee, necessitando pertanto di ulteriori indagini per una comprensione dei meccanismi funzionali dell’ecosistema altomontano (Bricca 2018; Bricca *et al.* 2019).

Per quanto riguarda le comunità forestali, l’abbandono delle aree montane e la gestione selvicolturale ha determinato il carattere strutturale attuale delle faggete, modellando i caratteri floristici e i tratti funzionali della componente erbacea che ne rappresenta un buon indicatore. Le fustai difatti conservano una ricchezza più elevata rispetto ai cedui, ospitando un maggior numero di entità diagnostiche dell’habitat di faggeta (codice 9210* della Direttiva Habitat), elemento che ne rende necessaria una gestione e conservazione adeguate (Scolastri *et al.* 2014; Scolastri *et al.* 2017a, b). Le trasformazioni osservate a scala di paesaggio nell’ultimo trentennio hanno evidenziato per questo distretto evidenti segnali di riforestazione naturale in atto. Lo sviluppo centrifugo verso l’esterno della foresta e la formazione di nuovi nuclei stanno modificando fortemente il mosaico ecotonale alle alte quote, sottolineando la necessità di analizzare a differenti scale di osservazione le trasformazioni in atto (Malavasi *et al.* 2018). Tra queste possiamo annoverare le modificazioni e la ‘riattivazione’ del limite del bosco, le variazioni floristiche e strutturali indotte nelle comunità dell’ecotono subalpino foresta-arbusteto-prateria, la perdita/trasformazione degli habitat e gli effetti del pascolamento (o dell’abbandono) sui caratteri floristici e strutturali delle comunità. A conferma delle diverse evidenze che stanno emergendo dai differenti studi in corso nel sito LTER, l’ambiente montano risponde con rapide trasformazioni anche ai cambiamenti climatici globali, come emerso e documentato in letteratura per le montagne europee, risultato perfettamente in linea con le altrettante rapide trasformazioni della copertura vegetale nelle fasce montane e subalpine evidenziate anche per la catena appenninica. Tali variazioni possono essere interpretate entro il generale effetto dei cambiamenti climatici in ambito Mediterraneo, con variazioni diversificate in ambito locale in modo più o meno consistente (Rogora *et al.* 2018).

Infine, il sito LTER è stato anche teatro di speciali iniziative di Citizen science, svoltesi nell’ambito dei “Cammini di LTER Italia” (Bergami *et al.* 2018), organizzati sul Velino dal Comando Carabinieri Tutela Biodiversità e Parchi, con i suoi Reparti Biodiversità di L’Aquila e di Castel di Sangro. Per tre anni, il sito è stato raggiunto o attraversato dai Cammini LTER “Sugli Appennini Centrali dal Velino al Gran Sasso, l’avventura della biodiversità” (2015), “Il racconto della biodiversità dell’Appennino” (2016)

Ulteriori dati sulle strategie funzionali delle specie erbacee di alta quota, mostrano l’esistenza di piante soggette a forte stress, con strategie simili per la riproduzione sessuale (semi di piccole dimensioni) e per la crescita (bassa statura). Differenti considerazione, invece, va fatta per i caratteri funzionali radicali. Aumentando la quota, infatti, le specie tendono ad aumentare la quantità di acqua immagazzinata nei loro organi ipogei. La coesistenza di specie in comunità soggette a forti stress ambientali, come avviene ad elevate altitudini, è presumibilmente dovuta alla

e “Camminiamo la biodiversità, sugli Appennini alla ricerca dell’ecologia” (2018). In queste occasioni, vi si è svolto un BioBlitz, durante il quale vere e proprie squadre di esperti, famiglie ed altri hanno lavorato e si sono divertiti insieme andando alla ricerca e identificando quante più specie possibile di piante, uccelli, mammiferi, rettili, insetti, funghi ed altri organismi. Il territorio esplorato dai partecipanti, nell’arco di dodici ore continuative, è stato in gran parte quello della stazione LTER, documentando complessivamente la presenza di numerosissime specie, con la partecipazione di molti esperti e di circa 60 persone.

Prospettive future

Le attività svolte sono state realizzate all’interno della collaborazione tra il Laboratorio di Ecologia Vegetale dell’Università di Roma Tre, il Centre de Phytogéographie de Champex (Svizzera) e il Reparto Carabinieri Biodiversità di Castel di Sangro (AQ). Inoltre fondamentale è risultato l’apporto di diversi collaboratori del Lab. di Ecologia Vegetale (tesisti e dottorandi) che si sono succeduti nel tempo e il supporto logistico del personale gestore della Riserva Naturale Regionale Montagne della Duchessa (Rieti), grazie ai quali è stato possibile la raccolta dei dati climatici e vegetazionali in questi anni.

Grazie a protocolli standardizzati, alla definizione congiunta di obiettivi e alla condivisione dei dati raccolti, negli ultimi anni alcune ricerche sono state effettuate in collaborazione con altri siti della Rete, elemento che ha fornito importanti risultati, pubblicati recentemente su riviste internazionali. Gran parte dei dati raccolti fin d’ora all’interno del sito sono in corso di analisi e di pubblicazione. Tra i principali temi di ricerca sviluppati ed in corso di implementazione, si segnalano la caratterizzazione bioclimatica a scala locale e i cambiamenti del clima in atto in Appennino centrale, le variazioni della vegetazione lungo gradienti spaziali e temporali, la caratterizzazione funzionale della vegetazione di alta quota.

Abstract

Mountain ecosystems are sensitive and reliable indicator of global climate changes as emerged for the European mountains. Many rapid changes in vegetation cover occurred also in the Apennine chain, can be interpreted within the general effect of climate changes in the Mediterranean area with local variations in a more or less consistent way.

The site Velino-Duchessa consists of two summit areas of the Lazio-Abruzzo Apennines, where monitoring studies are carried out on climate, soil and vegetation. In general the consistent rural exodus in the Central Apennines, which started after World War II and persisted over time, triggered the process of natural vegetation re-growth in the last decades. The abandonment of grazing activities promoted shrub encroachment and woodland advancement also at higher altitude. These evidences emphasize the need to analyze in detail the mountain landscape changes and vegetation transformations at the local scale.

From a climatic point of view the amount of precipitation detected shows significant variations along the elevation gradient, with 1-2 months of aridity and/or subaridity periods during the summer even at higher altitudes. This result supports the hypothesis that the Central Apennines belongs to the mediterranean bioclimatic region, differently from the current interpretation. Preliminary results on the functional traits of high altitude species, shows the stress effects that determines similar strategies for sexual reproduction (small seeds) and for growth (short stature). A different consideration can be made for belowground functional traits, that highlight the tendency to increase the amount of water stored in the hypogea organs. Complete the picture of the different activities undertaken on the site, all the Citizen science initiatives as the naturalistic information and dissemination actions. In the last years, in fact, the local population have participated in the collection of naturalistic data, highlighting the importance of public participation in research activities and the need to advertise the results of monitoring outside the academic contexts.

Appennino centrale: Gran Sasso d'Italia

Autori

Bruno Petriccione

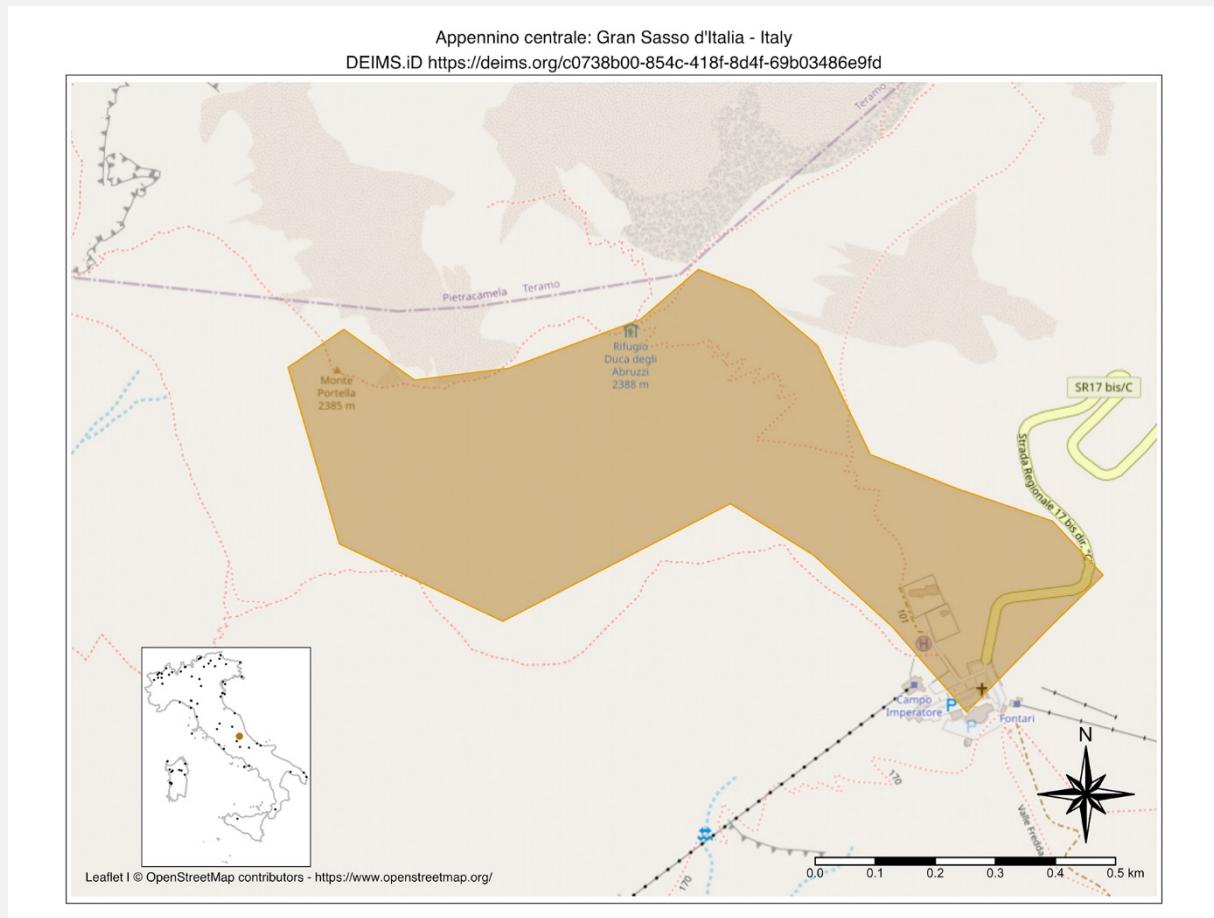
Affiliazione

Reparto Carabinieri Biodiversità di Castel di Sangro (AQ).

Sigla: IT-01-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/c0738b00-854c-418f-8d4f-69b03486e9fd>

Responsabile sito: Bruno Petriccione



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito LTER n. EU IT 01-003-T “Appennino Centrale: Gran Sasso d’Italia”, attivo dal 1985, è esteso 0.5 km² circa, con un’altitudine compresa tra 2130 e 2385 m s.l.m. (con coordinate 42°26’N di latitudine e 13°33’E di longitudine). Il massiccio del Gran Sasso d’Italia si trova negli Appennini Centrali, che raggiungono la loro massima elevazione proprio con la vetta del Gran Sasso (2914 m s.l.m.). Il sito di ricerca, uno dei più elevati in Italia, è protetto sia a livello nazionale (come Parco Nazionale), sia a livello europeo (in quanto parte della Rete Natura 2000 dell’Unione Europea), da oltre 20 anni. L’uso del suolo è lo stesso da 50-100 anni: le sole attività di un certo rilievo sono basate sugli sport invernali, l’alpinismo e, più recentemente, il turismo naturalistico, tutte attività con impatto molto basso sulle comunità vegetali.

Il clima è Mediterraneo-montano (Petriccione 2005), con una temperatura media annua di 3.7°C, precipitazioni medie annue di 1170 mm, picchi di precipitazione in primavera ed autunno, assenza di periodi di aridità estivi, ma periodi prolungati ed estremi di gelo per 5-6 mesi all’anno. La copertura nevosa dura più di 6 mesi all’anno, ma localmente, ove la neve è spazzata via dal vento ed i pendii sono particolarmente acclivi, intensi fenomeni crionivali caratterizzano il suolo per quasi tutto l’anno. La media delle temperature massime mensili non è molto alta (17.4°C), mentre quella delle minime mensili è molto bassa (-8.9°C).

I primi rilevamenti effettuati sulla stazione nel 1986 si devono ad ampi studi sulle praterie basifile di alta quota a *Sesleria tenuifolia* degli Appennini Centrali avviati dal Dipartimento di Biologia Vegetale dell’Università di Roma “La Sapienza”. Successivamente, la stazione è stata riattivata nell’ambito del Sistema di monitoraggio ambientale del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga, istituito dal Dipartimento di Scienze Ambientali dell’Università dell’Aquila nel 1993. Dal 1999, poi, il Corpo Forestale dello Stato ha ripreso i rilevamenti, potenziandoli, nell’ambito della costituenda Rete LTER Italia. Dal 2017 tutte le attività sono condotte dal Comando Tutela Biodiversità e Parchi dell’Arma dei Carabinieri, attraverso il personale specializzato dei Carabinieri Forestale, il cui referente è il Tenente Colonnello (ecologo) Bruno Petriccione.

Il rilevamento fitosociologico della vegetazione è effettuato dal 1986, con frequenza pluriennale, e dal 2008 con frequenza annuale. Il monitoraggio delle comunità ornitiche, inoltre, è effettuato dal 2006, con frequenza settimanale. Oltre a disporre di puntuali dati microclimatici, registrati nella stagione vegetativa del 1990 (Bruculeri *et al.* 1994), sono disponibili dati climatici giornalieri di precipitazione e temperatura dell’aria a partire dal 1942, registrati in una stazione standard localizzata proprio presso il sito. A partire dal 2013, il microclima delle due principali comunità biotiche del sito è studiato direttamente e con continuità, attraverso appositi sensori installati nel suolo che rilevano e memorizzano la misura della temperatura con frequenza oraria, secondo la metodologia internazionale GLORIA (Pauli *et al.* 2004). Inoltre, il sito dispone di puntuali dati nivometrici, registrati a partire dal 1988 nell’ambito del Programma NEVEMONT del Corpo Forestale dello Stato (e dal 2017 dell’Arma dei Carabinieri).

Il sito di ricerca, che comprende comunità biotiche primarie di alta quota poste oltre il limite naturale degli alberi, nelle fasce altitudinali Alpina e Mediterranea alto-montana (Petriccione & Persia 1995), è basato su due *cluster plot* per il rilevamento della vegetazione (comprendenti ognuno tre aree permanenti di 100 m² ciascuna), entrambi posizionati sul versante SE del Monte Portella, caratterizzati da due distinte comunità biotiche, costituite per la maggior parte da specie vegetali perenni con accentuati adattamenti all’aridità e al freddo, particolarmente resistenti ma con bassi valori di resilienza. I rilevamenti sull’avifauna sono effettuati su tutta l’area, ma in particolare in quella posta tra l’Osservatorio astronomico e il primo dei due cluster plot. Le due comunità sono le seguenti (Petriccione 1994): (1) praterie di altitudine xerofitiche primarie (*Pediculari elegantis-Seslerietum tenuifoliae*, corrispondente all’habitat “6170 – Alpine and subalpine calcareous grasslands”, protetto dalla Direttiva Habitat dell’Unione Europea n. 92/43/CEE), con copertura vegetale e nevosa discontinua, su pendii ripidi con accentuata scalinatura dovuta ad intensi fenomeni crionivali frequenti tutto l’anno, suolo

superficiale e con pH basico; (2) praterie di altitudine mesofitiche primarie (*Luzulo italicae-Festucetum macratherae*, corrispondente all'habitat prioritario “6230* – Species-rich Nardus grasslands, on siliceous substrates in mountain areas and submountain areas in Continental Europe”, protetto dalla Direttiva Habitat dell'Unione Europea n. 92/43/CEE), su pendii sub-pianeggianti, con copertura vegetale continua e permanenza del manto nevoso per 6-8 mesi/anno, suolo profondo ed umificato con pH acido.

Risultati

La tendenza al riscaldamento climatico a livello globale è confermata ed esaltata dai dati relativi alla stazione LTER del Gran Sasso (Petriccione & Bricca 2019): la temperatura media annua è aumentata di 1.7°C negli ultimi 65 anni, corrispondente ad un aumento medio per decade di +0.26°C. Tale valore è più che doppio rispetto allo stesso valore a livello globale (+0.7°C negli ultimi 60 anni e +0.1°C per decade, IPCC 2014), e molto vicino quello previsto di +2.0°C per l'anno 2100 (IPCC 2014).

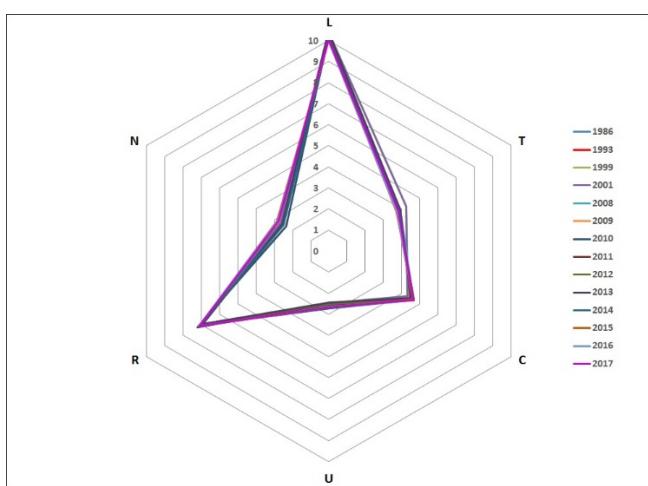


Fig. 9 - Cambiamenti nell'ecogramma durante il periodo 1986-2017 per le praterie xerofitiche del *Pediculari-Seslerietum* presso il sito Gran Sasso d'Italia LTER (L: disponibilità di luce, T: Comportamento termofilo, C: gradiente continentale, U: umidità del suolo, R: gradiente pH, N: disponibilità di azoto)

composizione di specie vegetali delle biocenosi, rispetto al numero totale di specie osservate durante gli anni. Mentre il numero totale di specie vegetali è aumentato in tutte le comunità, in quelle mesofitiche è completamente scomparso il 20% di quelle più sensibili. Questi risultati confermano quelli preliminari forniti da Petriccione (2012) per i primi 18-25 anni di osservazioni allo stesso sito LTER.

I significativi cambiamenti delle caratteristiche morfo-funzionali delle specie, osservati in entrambe le comunità, sono interpretabili come effetto della diminuzione della copertura nevosa e dell'aumento della temperatura e dello stress da aridità. Quelli osservati nelle life strategies (sensu Grime 2006), con un aumento significativo della strategia ruderale, sono caratteristici di comunità con frequenti eventi di

Questo eccezionale riscaldamento verificato nelle aree alpine, insieme alla riduzione delle precipitazioni totali e di quelle nevose, all'aumento della variabilità climatica interannuale e degli eventi estremi ed alla sempre più frequente assenza di copertura nevosa, sono le cause che in combinazione tra loro determinano un aumento dello stress ecologico, e quindi il profondo turnover di specie osservato negli ultimi 30 anni in tutte le biocenosi studiate, anche se più marcato nelle comunità mesofitiche. Sono stati chiaramente verificati un aumento quantitativo delle specie vegetali più termofile, stress-tolleranti e xerofitiche ed una parallela diminuzione di quelle più mesofitiche, competitive e microterme. In sintesi, è stato osservato un cambiamento del 50-80% nella

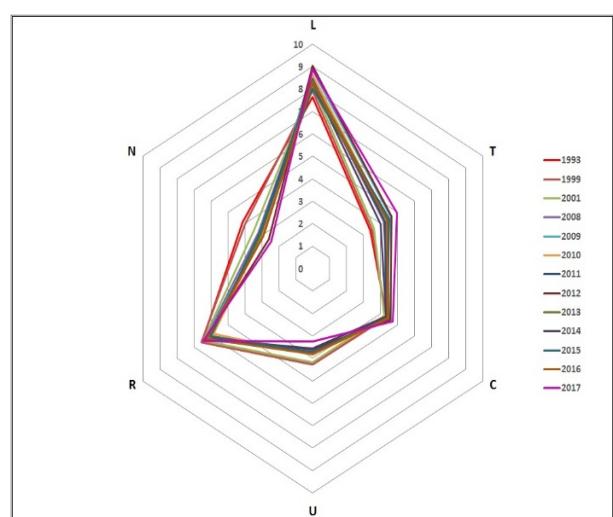


Fig. 10 - Cambiamenti nell'ecogramma durante il periodo 1993-2017 per le praterie mesofile *Luzulo-Festucetum* presso il sito Gran Sasso d'Italia LTER (L: disponibilità di luce, T: Comportamento termofilo, C: gradiente continentale, U: umidità del suolo, R: gradiente pH, N: disponibilità di azoto)

disturbo, che portano nel tempo a rapidi cambiamenti ed a uno stato di degenerazione. L'analisi degli ecogrammi (sensu Pignatti 2005), che consente di analizzare la variazione combinata e nel tempo dei principali parametri di nicchia ecologica di ogni comunità, conferma la correlazione tra le tendenze all'aumento della temperatura e dell'aridità ed i cambiamenti osservati nella sensibile comunità mesofitica. I risultati ottenuti consentono di escludere ogni eventuale effetto sulla vegetazione del cambiamento nell'uso del suolo o dell'accumulo di azoto nel suolo. L'analisi degli indicatori biologici dimostra che il fattore chiave dei cambiamenti ecologici avvenuti ed in corso nelle biocenosi alpine studiate è l'aridità, connessa con l'azione combinata dell'aumento della temperatura, della diminuzione delle precipitazioni e dell'assenza di copertura e di precipitazioni nevose. Le due comunità studiate reagiscono in modo diverso a questi fattori abiotici: (1) le praterie xerofitiche (*Pediculari-Seslerietum*), con elevata resistenza e ben adattate a condizioni di aridità, gelo e drastiche escursioni termiche, mostrano cambiamenti nel tempo molto lenti o addirittura assenti; (2) le praterie mesofitiche, con bassa resistenza e non adattate a condizioni di aridità e gelo, mostrano invece cambiamenti rapidi e di grande entità, con forti aumenti dei valori di copertura delle specie vegetali con strategia ruderale e stress-tollerante, ed una parallela diminuzione delle specie precedentemente dominanti, sostituite dall'invasione e dall'espansione di quelle più opportuniste. Lo stadio di fluttuazione tipico di queste comunità vegetali alpine primarie sembra tendere verso uno stadio dinamico di degenerazione, con un'importante disgregazione della comunità dovuta al deterioramento delle connessioni ecologiche presenti al suo interno: come nelle Alpi Centrali, questo processo può portare ad un vuoto ecologico o ad uno stato di squilibrio nelle biocenosi (Cannone, Pignatti 2014), con conseguente potenziale estinzione delle specie più sensibili, almeno a livello locale. In conclusione, i risultati ottenuti consentono di affermare che: (a) le comunità vegetali stanno cambiando nel tempo in modo statisticamente significativo, dirigendovi verso uno stato di squilibrio; (b) le specie stanno rispondendo in modo diverso, alterando così le connessioni ecologiche preesistenti nelle comunità; (c) esiste una correlazione statisticamente significativa tra i cambiamenti delle caratteristiche delle comunità e i cambiamenti dei regimi termici e climatici previsti ed osservati. Ulteriori osservazioni nei prossimi decenni sono comunque necessarie, per confermare le ipotesi di relazione causa-effetto tra i cambiamenti climatici ed i cambiamenti nelle comunità vegetali e per escludere con certezza eventuali sconosciute fluttuazioni naturali.

Le ricerche in corso sulle tendenze in atto nella vegetazione (composizione e struttura) e nelle variazioni di temperatura ad alta quota forniranno nel tempo dati preziosi ed aggiornati su quanto sta accadendo negli ecosistemi di montagna, fornendo così solide basi scientifiche per orientare le politiche locali di protezione delle specie e degli habitat minacciati.

Il sito LTER è stato anche teatro di speciali iniziative di *citizen science*, svoltesi nell'ambito dei "Cammini di LTER Italia" (Bergami *et al.* 2018), in collaborazione con l'Università degli Studi del Molise e con l'Ente del Parco Nazionale del Gran Sasso e Monti della Laga. Per tre anni di seguito, il sito è stato raggiunto o attraversato dai Cammini LTER "Sugli Appennini Centrali dal Velino al Gran Sasso, l'avventura della biodiversità" (2015), "Il racconto della biodiversità dell'Appennino" (2016) e "Biodiversità in azione sull'Appennino". In queste occasioni, vi si è svolto un *BioBlitz*, durante il quale vere e proprie squadre di esperti, famiglie, studenti, insegnanti ed altri hanno lavorato e si sono divertiti insieme andando alla ricerca e identificando quante più specie possibile di piante, uccelli, mammiferi, rettili, insetti, funghi ed altri organismi. Il territorio esplorato dai partecipanti, nell'arco di dodici ore continuative, è stato in gran parte quello della stazione LTER, documentando complessivamente la presenza di oltre 500 specie, con la partecipazione di 10 esperti e di circa 100 persone.

Prospettive future

L'accumulo nel tempo delle informazioni chiave sulla composizione e la struttura delle comunità vegetali di alta quota oggetto delle ricerche, insieme a quelle relative al relativo microclima, che già oggi, a trent'anni dal suo avvio, costituisce un patrimonio di conoscenza di valore inestimabile, diverrà sempre più prezioso man mano che la serie storica aumenterà ancora di dimensione, consentendo di comprendere sempre meglio quanto sta accadendo agli ecosistemi di alta quota degli Appennini. Tale

accresciuta comprensione sarà una base preziosa per guidare le misure di conservazione degli habitat e delle specie minacciati dai cambiamenti climatici, oggi tutelati a livello nazionale dai Parchi e dalle Riserve e a livello sovranazionale dalla Direttiva habitat dell'Unione Europea.

Abstract

Since 1986, vegetation monitoring of alpine plant communities has been performed at the Gran Sasso d'Italia LTER site in the Central Apennines, through phytosociological relevés and abundance and coverage estimation of the vascular flora at fine scale. The monitoring activities for abiotic parameters regard air and soil temperatures, rainfall, analysis of historical series of climate data, snowfall and snow cover persistence.

A comparative analysis of changes in species composition, life forms, life strategies and morpho-functional types allowed recognition of dynamical processes (fluctuation and degeneration) and an increase in stress- and drought-tolerant and ruderal species, probably linked to a general process of climate change.

A trend of variation forced by increasing drought was recorded in high-mountain plant communities, normally within a dynamic fluctuation process. There has been a 50-80% change in species composition with respect to the total number of species observed over the years. Whereas the total number of species has increased in all communities, in high-mountain mesic grassland, 20% of sensitive species have completely disappeared. Early signs of a degeneration process were already discernible after seven years: such signs are more evident in snow-dependent communities, with a quantitative increase in more thermophilic and drought-tolerant species and a parallel decrease in more mesic, cryophilic and competitive species. In particular, the following phenomena have been recorded in high-mountain mesic grassland, in agreement with predicted or observed phenomena in other Alpine or Arctic areas: (a) coverage increase (or appearance) of ruderal and stress- and drought-tolerant species; (b) coverage decrease (or disappearance) of cryophilic, mesic and competitive species.

These short-term changes could lead, in the medium- or long-term, to a disgregation process affecting the high elevation plant communities of the Apennines (including the local extinction of most of the cold-adapted species), due to their very low resilience. The phenomena described may be linked to the observed climate change which occurred during the last century (in particular in the last 50 years) in the Apennines, consisting mainly, in the mountains, of a strong reduction in the duration of snow-cover and an increase in mean and minimum annual temperatures.

Appennino settentrionale

Autori

Graziano Rossi¹, Marcello Tomaselli², Simone Orsenigo¹, Francesco Porro¹, Maurizia Gandini¹, Michele Carbognani², Alessandro Petraglia², Matteo Gualmini², Thomas Abeli³

Affiliazione

¹ Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via S. Epifanio 14, Pavia 27100, Italia.

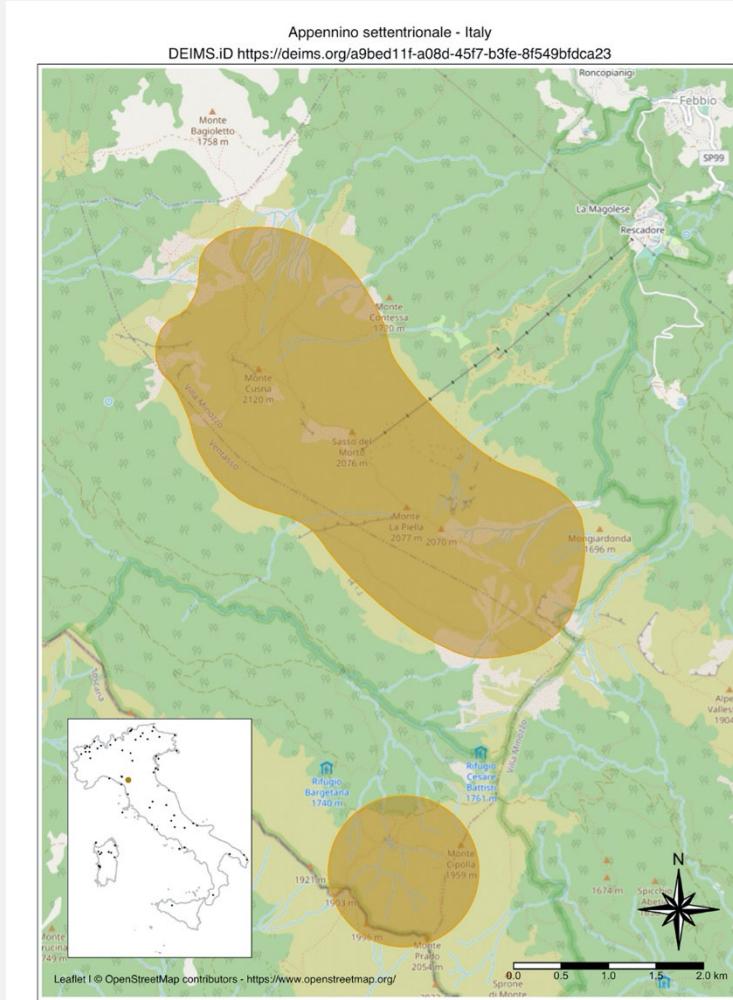
² Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/a, 43124 Parma, Italia.

³ Università di Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale Guglielmo Marconi 446, 00146 Roma, Italia.

Sigla: IT01-004-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/a9bed11f-a08d-45f7-b3fe-8f549bfdca23>

Responsabili sito: Graziano Rossi, Alessandro Petraglia



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito “LTER_EU_IT_023” è composto dall’insieme di diverse aree di studio disposte su sette cime degli Appennini settentrionali, compresi tra il Monte Lesima a nord-ovest (in Lombardia) ed il Corno delle Scale a sud-est (in Emilia-Romagna). Le cime (in ordine di quota crescente: Cima di Foce a Giovo, Cima di Pian Cavallaro, Alpe di Mommio, Monte Casarola, Monte la Piella, Monte Prado, Monte Cusna) sorgono nella regione più elevata degli Appennini settentrionali e sono caratterizzate da vegetazione di alta quota. Più precisamente, esse si collocano nel distretto appenninico Tosco-Emiliano, all’interno delle aree protette del Parco Regionale Alto Appennino Modenese e del Parco Nazionale dell’Appennino Tosco-Emiliano.

In questo sito sono incluse alcune cime la cui altezza eccede i 2000 m s.l.m., tra cui il Monte Cusna, il più alto con i suoi 2120m, e il Monte Prado, alto 2054 m. Tutti i siti di studio sono posizionati oltre il limite del bosco, che localmente corrisponde al limite superiore delle foreste di faggio, compreso circa tra i 1700 e i 1800 m s.l.m.. La vegetazione del sito è quindi quella tipica delle fasce subalpine ed alpine di questa regione.

La vegetazione della fascia subalpina è caratterizzata dalla presenza di vaccinieti (brughiere a mirtilli), composti principalmente da *Vaccinium myrtillus* e *Vaccinium gaultherioides* (*Vaccinium-Hipericetum richeri*, Pirola & Corbetta 1971). Salendo di quota, ed entrando nella fascia alpina, i vaccinieti vengono progressivamente sostituiti da praterie alpine dominate da *Brachypodium genuense* e *Nardus stricta* (Tomaselli 1994; Ferrari and Piccoli 1997) e dalle comunità dei substrati poco evoluti (Rossi 1994), ricche di specie tipicamente alpine.

La vegetazione all’interno dell’area di studio risulta essere molto interessante da un punto di vista fitogeografico: a causa degli eventi climatici legati ai cicli glaciali del Pleistocene, e per la posizione geografica a cavallo tra l’Italia continentale e quella peninsulare, l’area risulta essere molto ricca di specie, tra cui spiccano varie entità d’interesse, in quanto popolazioni isolate o poste al loro margine di distribuzione meridionale (quasi 500 specie sono state censite in questa regione) (Tomaselli 1970; Alessandrini *et al.* 2003; Gentili *et al.* 2006). Per questa ragione quest’area può essere considerata, in virtù della sua marginalità e ricchezza specifica, un “hotspot” per la conservazione della biodiversità nell’Europa meridionale (Thuiller *et al.* 2005).

All’interno del sito sono stati disposti nel corso del tempo, a partire dalla fine degli anni ’90 del secolo scorso, un totale 90 plot permanenti per il monitoraggio a lungo termine della vegetazione, di singole specie vegetali d’interesse e per la raccolta di dati abiotici. Questi plot possono essere suddivisi in due gruppi, sulla base del momento in cui furono istituiti e degli scopi per cui furono inizialmente pianificati.

Il primo gruppo, composto da 26 plot georeferenziati dislocati tra il Monte Cusna, il Monte la Piella e il Monte Prado, fu instaurato nel 1999 per il monitoraggio della copertura nevosa nell’area e dello stato di conservazione/efficienza riproduttiva di alcune specie target (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus*, *Silene suecica*). A livello di dati pregressi, nelle stazioni del M. Prado e M. Cusna si dispone anche della cartografia del ritiro della neve al suolo (scala 1:5000) del 1978 e 1988.

In questi stessi plot a partire dal 2001 si iniziarono a raccogliere anche dati riguardanti la temperatura del suolo, misurata a intervalli regolari orari tramite l’utilizzo di data-logger seppelliti a pochi centimetri di profondità. Successivamente, dal 2013, iniziò anche una campagna di raccolta dati sul potenziale osmotico del terreno, misurata durante il periodo estivo. I plot fissi in quest’area di studio vengono censiti annualmente, per la raccolta dati sulla vegetazione presente e per scaricare i dati climatici raccolti dai data-logger.

I rimanenti 64 plot permanenti per la raccolta di dati floristici e termo-climatici furono posizionati nel 2001 nei siti di ricerca di Cima di Foce a Giovo, Cima di Pian Cavallaro, Alpe di Mommio e Monte Casarola. Questi quattro siti di ricerca costituiscono aree permanenti appartenenti non solo alla Rete

LTER, ma anche alla rete europea e mondiale del progetto di raccolta dati a lungo termine GLORIA (Global Observation Research Initiative in Alpine environments); i plot fissi qui presenti sono stati disposti seguendo le direttive esplicitate nelle linee guida di quest'ultimo progetto (Pauli *et al.* 2015; www.gloria.ac.at/methods): i plot sono stati posizionati lungo un gradiente altitudinale, partendo dalla zona del limite del bosco (1700m s.l.m. sulla cima di Foce al Giovo) fino alla zona di ecotono subalpina/alpina (2000m s.l.m. sulla cima del Monte Casarola). Su ognuna delle quattro cime sono presenti 16 plot fissi, disposti in quattro gruppi da quattro plot di $1\text{m}^2 \times 1\text{m}^2$ orientati a seconda dei punti cardinali. Per ogni plot sono stati raccolti dei dati floristico-quantitativi in tre diverse sessioni di raccolta dati, svoltesi rispettivamente nel 2001, nel 2008 e nel 2015. Nello specifico, oltre alla ricchezza in taxa, sono state registrate le coperture percentuali di ogni singola specie all'interno di ogni plot.

Inoltre, su ogni versante delle quattro cime, sempre a partire dal 2001, vengono raccolti dati sulla temperatura a livello del suolo, tramite l'utilizzo di data-logger seppelliti sotto pochi centimetri di terreno. Come per i data-logger utilizzati all'interno del primo gruppo di plot descritto, anche quest'ultimi registrano la temperatura a intervalli orari. A partire dal 2002, i dati climatici così raccolti vengono scaricati e controllati a intervalli di 2-3 anni. Infine, durante l'estate 2017, si è svolto un esperimento per studiare e quantificare i processi di decomposizione della materia organica nei suoli di alta montagna; sono quindi state seppellite sulle quattro cime inserite nel progetto GLORIA delle bustine di tè per un'intera stagione vegetativa a circa 10cm di profondità. Le bustine di tè, una volta trascorso il tempo necessario, sono successivamente disseppellite e trasportate in laboratorio per le analisi necessarie a stimare il tasso di decomposizione della materia organica contenuta.

La raccolta dati svolta nel sito LTER dell'Appennino Settentrionale a partire dal 1999 e la conseguente attività di ricerca sono state svolte principalmente da ricercatori dell'Università di Parma e dell'Università di Pavia, a cui recentemente si è aggiunta anche quella di Roma tre. Oltre a queste due Università, hanno comunque partecipato altri enti, coinvolti direttamente nella raccolta dati oppure per supporto logistico, quali L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale (ARPA), il Parco Regionale Alto Appennino Modenese, il Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano, e l'ISAC-CNR di Bologna (con particolare riferimento alla stazione metereologica insita sul Monte Cimone "O. Vittori").

Risultati

Nel corso dei 20 anni di monitoraggio all'interno del sito LTER – Appennino settentrionale, sono stati effettuati 3 rilevamenti della vegetazione a diverse scale di dettaglio sulle quattro cime incluse

all'interno della rete GLORIA, e sono state raccolte, a intervalli annuali, dettagliate informazioni sullo stato di salute e sulla dinamica di popolazione di sei specie d'interesse.

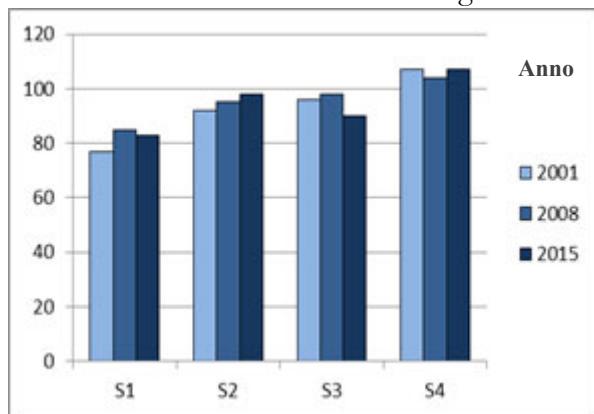


Fig. 11 - Ricchezza specifica delle quattro cime componenti il sito di monitoraggio GLORIA (Porro *et al.* 2019)

I dati raccolti seguendo il protocollo stabilito dal progetto GLORIA dall'Università di Parma e dall'Università di Pavia sono stati inclusi in tre pubblicazioni riguardanti l'andamento della vegetazione negli ambienti alpino a scala

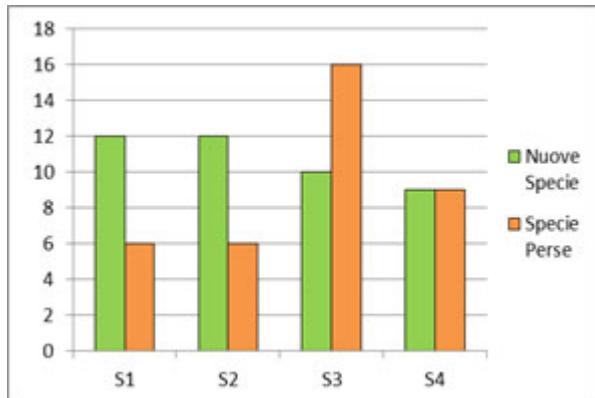


Fig. 12 - Numero di nuove specie censite e numero di specie non più ritrovate sulle 4 cime del sito di monitoraggio GLORIA nel 2015 rispetto al 2001 (Porro *et al.* 2019)

internazionale (Pauli *et al.* 2012), nazionale (Rogora *et al.* 2018) e locale (Porro *et al.* 2019; Tesi di Dottorato di ricerca di F. Porro). Il lavoro svolto all'interno di questo sito LTER ha infatti permesso di quantificare i cambiamenti a livello di ricchezza specifica in specie vegetali, le variazioni in termini di abbondanza delle specie presenti (espressa in termini di copertura % delle singole specie all'interno dei plot) e la perdita di biodiversità vegetale. I risultati ottenuti per questo sito, una volta integrati con quelli provenienti da altre aree di studio della rete LTER e GLORIA si sono rivelati particolarmente utili per quantificare ed interpretare i cambiamenti della Flora e della Vegetazione attualmente in atto negli ambienti alpini, la cui biodiversità è oggi gravemente minacciata sia dall'impatto antropico che dalle conseguenze del riscaldamento globale. Gli scenari futuri sulla biodiversità degli ambienti naturali previsti per il 21esimo secolo indicano infatti che l'ambiente alpino è destinato a ridursi in estensione e, conseguentemente, molte specie tipiche di questi luoghi andranno incontro ad estinzioni locali (Thuiller *et al.* 2005), mentre nuove specie, spesso termofile e generaliste, colonizzeranno queste stesse aree, precedentemente a loro inadatte. Nello specifico, per il sito LTER_EU_IT_023 si è già osservato un aumento nella ricchezza specifica all'interno dell'area monitorata per il progetto GLORIA (passata da 154 sp. nel 2001 a 159 nel 2015 a livello di intera area di studio; vedi Fig. 11 per le variazioni di ricchezza specifica nelle quattro cime), dovuto in particolare ad una migrazione di nuove specie provenienti da quote inferiori disproporzionata e concentrata nelle 2 cime più basse "S1" ed "S2", più facili da colonizzare. In contemporanea all'ingresso di nuove specie nell'area di studio si è osservata anche la scomparsa di specie a livello locale, come riportato in Fig. 12. Anche per le specie scomparse si può osservare un gradiente legato alla quota: in questo caso, le sparizioni si sono concentrate maggiormente nelle cime più alte e più fredde "S3" ed "S4".

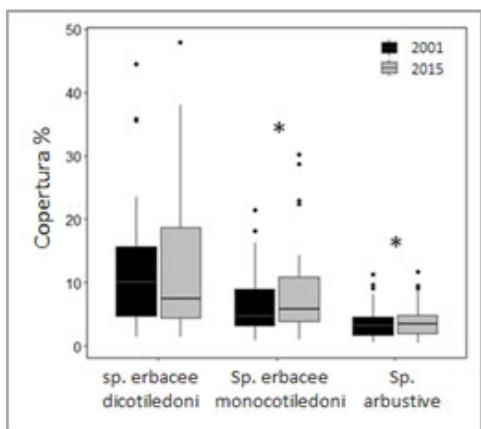


Fig. 13 - I boxplot riportano la copertura relativa di tutte le specie delle tre principali forme biologiche presenti nell'area di studio per il 2001 e 2015. Variazioni significative nella copertura sono evidenziate da asterischi (Porro *et al.* 2019)

copertura media delle singole specie (Porro *et al.* 2019; Rogora *et al.* 2018) e una diminuzione della biodiversità dell'area dovuta principalmente all'aumento di specie, in particolare erbacee monocotiledoni ed arbustive, divenute progressivamente e significativamente più abbondanti e dominanti all'interno delle comunità vegetali studiate (vedi Fig. 13).

Data l'assenza di impatti antropici diretti significativi all'interno dell'area di studio, i cambiamenti

osservati dovrebbero essere effettivamente dovuti all'innalzamento delle temperature (Fig. 14) e al cambiamento dei regimi delle precipitazioni e di durata della copertura nevosa. Nel caso i trend osservati continuassero nel futuro prossimo, potrebbero concretamente portare ad una progressiva omogeneizzazione della flora (dovuta all'estinzione di specie tipicamente alpine e all'aumento di specie comuni e dominanti) e alla sostituzione della vegetazione alpina di quest'area da parte di nuove comunità comprendenti specie provenienti da quote inferiori.

Per far fronte a questo scenario, l'osservazione e lo studio focalizzato su singole specie target hanno permesso in primo luogo di

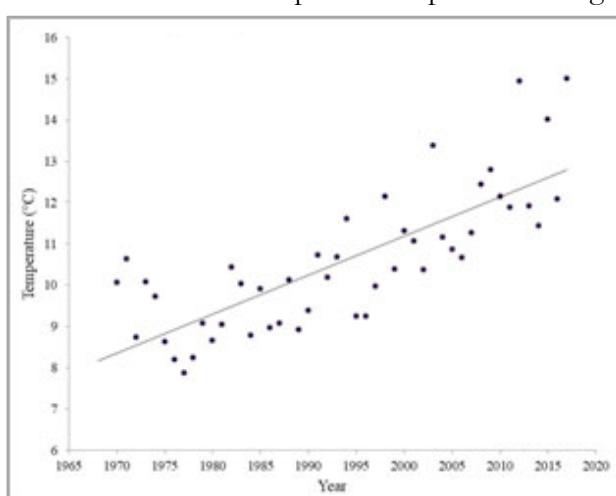


Fig. 14 - Temperatura media estiva dell'aria registrata al Monte Cimone, dal 1967 al 2017 dalla stazione meteorologica dell'ISAC-CNR di Bologna (Porro *et al.* 2019)

approfondire la loro ecologia e fenologia, al fine di comprendere le potenziali risposte delle loro popolazioni naturali in uno scenario di riscaldamento globale e, secondariamente, testare l'efficacia di possibili azioni quali l'utilizzo di tecniche di traslocazione per combattere la perdita di biodiversità e l'estinzione locale.

Dopo 10 anni dall'inizio del monitoraggio delle popolazioni delle 6 specie target (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus* e *Silene suecica*, quest'ultima già indicata come *Lychnis alpina*) fu realizzato un primo studio (Abeli *et al.* 2009) per testare la validità dei criteri IUCN atti a valutare il rischio di estinzione a livello regionale (cioè locale) di specie caratterizzate da popolazioni periferiche ed isolate dall'areale classico di distribuzione. I dati sulla dimensione delle popolazioni e del potenziale riproduttivo di *S. suecica*, *C. foetida* e *S. incanus* furono utilizzati come caso di studio e i risultati ottenuti portarono a proporre nuovi criteri per l'assegnazione di una specie in esame ad una determinata categoria di rischio.

I lavori successivi a questo primo studio si concentrarono principalmente sulla risposta delle popolazioni alle fluttuazioni della temperatura e della durata della copertura nevosa nel corso degli anni, oltre che a fenomeni climatici estremi quali le "Heatwaves". Da quanto emerso in Abeli *et al.* (2012b) la produzione di scapi fiorali annuale di *A. alpinus* and *V. cusnae* è negativamente influenzata da periodi di caldo intenso, come visibile in Fig. 15. Per quanto riguarda *C. foetida*, *S. incanus* e *S. suecica* sono invece state osservate risposte non uniformi ai trend climatici, il che conferma la teoria di una possibile e rapida variazione delle comunità vegetali alpine in risposta al cambiamento climatico (Abeli *et al.* 2012a). In particolare, *S. suecica* è risultata la specie che ha registrato il maggior declino nel corso del tempo di produzione annuale di scapi fiorali. Dopo 16 anni di monitoraggio, tutti i dati raccolti sulle popolazioni di queste sei specie furono inclusi in una review del 2015 incentrata sulla descrizione dei pattern evolutivi della flora tipica delle montagne sud-europee e mediterranee durante il quaternario e sul ruolo di queste aree come micro-rifugi per queste specie (Gentili *et al.* 2015). Infine i dati raccolti sulle popolazioni di *C. foetida* furono utilizzati per verificare, tramite l'uso di modelli predittivi, la possibilità e l'efficacia sia sul breve che sul medio-lungo termine, di attività di ricolonizzazione assistita (Ferrarini *et al.* 2016).

Prospettive future

Attualmente, è in corso uno studio sull'ecologia di germinazione dei semi di varie specie tipiche dell'area di studio (Tesi di Dottorato di ricerca di F. Porro, Università di Pavia). Durante l'Agosto 2017 si svolse una campagna di raccolta di semi di diverse specie vegetali d'interesse nei pressi del sito LTER. I semi di 18 specie, selezionate in base alla loro dinamica di popolazione registrata dalle attività di monitoraggio portate avanti dal 2001, sono stati raccolti e sottoposti, a partire dall'autunno 2017 – primavera 2018, a diversi test di germinazione a differenti condizioni di temperatura e umidità, e a test di invecchiamento artificiale. Questi esperimenti sono stati svolti all'interno del laboratorio di ecologia di germinazione dei semi dell'Università di Pavia, abbinato alla Banca del Germoplasma Vegetale della medesima università. I test effettuati, oltre ad essere necessari per definire l'ecologia di germinazione di ciascuna specie (fornendo informazioni utili per eventuali attività di conservazione *ex situ* e di reintroduzione), hanno l'obiettivo di indagare, sperimentalmente in ambiente controllato, sull'impatto del riscaldamento globale sulla germinazione dei semi e sui primi stadi di vita delle specie in esame, nonché su quanto questo impatto possa influire sulle loro dinamiche di popolazione future. I risultati di questa ricerca sono attesi per il 2021.

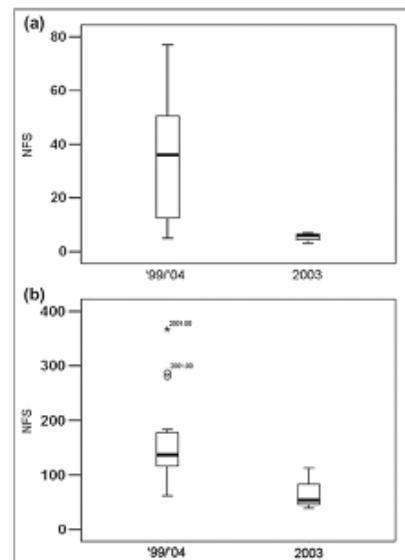


Fig. 15 - Numero di scapi fiorali di *Alopecurus alpinus* (a) e *Vicia cusnae* (b) contatti in anni caratterizzati da fenomeni di caldo intenso (03) e non (99/04) (Abeli *et al.* 2012b)

Per quanto riguarda le attività future pianificate all'interno del sito, un quarto monitoraggio della vegetazione sulle quattro vette GLORIA è previsto per il 2022, mentre i 26 plot istituiti per il monitoraggio delle sei specie d'interesse, continueranno ad essere visitati a cadenza annuale, finché possibile. Una seconda sintesi sullo stato delle popolazioni delle specie in esame è prevista nella seconda metà del 2019, a 20 anni esatti di distanza dall'inizio dell'attività di monitoraggio nel sito.

Abstract

The “LTER_EU_IT_023” site consists of several study areas located over the timberline on seven summits of the Northern Apennines (Italy), including two of the highest summits of the region, Mount Cusna and Mount Prado, both exceeding 2000m a.s.l..

The vegetation of the subalpine belt of this region is mainly constituted by dwarf shrub heaths dominated by *Vaccinium myrtillus* and *V. gaultherioides*, that, at higher altitudes, are progressively replaced by alpine grasslands dominated by *Brachypodium gennense* and *Nardus stricta*. True alpine vegetation like acidophytic and mesophytic alpine grasslands, and scree communities, grows only sparsely at the highest summit ridges.

Since this region is situated at the borderline between its vegetation is characterized by several species of phytogeographical interest, either because placed at the limit of their natural distribution, or because consist of isolated populations. Moreover, almost continental Italy and peninsular Italy, and it represents the southernmost limit of the Boreal vegetation in Italy, 500 plant taxa have been found in this region, that for these reasons, can be considered a key hotspot for plant biodiversity conservation in southern Europe.

In total, since 1999, 90 permanent plots for monitoring the alpine vegetation and the population dynamics of six alpine plant species of interest (*Carex foetida*, *Vicia cusnae*, *Alopecurus alpinus*, *Leucanthemopsis alpina*, *Senecio incanus*, *Silene suecica*) were established within the site above the timberline.

Qualitative and quantitative data about species richness, species abundance, or number of flowering and non-flowering individual of the species of interest, were collected regularly along with abiotic data, such as soil temperature and humidity, by two teams of researchers of the University of Pavia and the University of Parma, with the help recently provided by the University of Roma Tre. The data collected over the 20 years of monitoring activities contributed to the realization of 12 original scientific papers and a Ph.D. thesis, focused on investigating the impacts of climate change on the alpine vegetation of the area, and on the conservation activities to undertake for the most threatened species.

Bibliografia citata

- Abeli T., Gentili R., Rossi G., Bedini G. & Foggi B. (2009). Can the IUCN criteria be effectively applied to peripheral isolated plant populations? *Biodiversity and conservation*, 18(14), 3877.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Gandin M., Mondoni A. Cristofanelli P. (2012b). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophytic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30(1), 109-115.
- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A., & Cristofanelli P. (2012a). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213(1), 1-13.
- Alessandrini A., Foggi B., Rossi G., Tomaselli M. (2003). La flora di altitudine dell'Appennino Tosco-Emiliano. Regione Emilia-Romagna, Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo, pp. 329. Bologna.
- Avena G.C., Blasi C. (1980). Carta della vegetazione del Massiccio del Monte Velino. Appennino Abruzzese. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, pp. 18.
- Bergami C, L'astorina A, Pugnetti A (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. CNR Edizioni.
<http://www.lteritalia.it/pubblicaz./10.32018/978888080304-1>.
- Biondi E., Blasi C., Burrascano S., Casavecchia S., Copiz R., Del Vico E., Galderzi D., Gigante D., Lasen C, (...), Zivkovic L. (2009). Italian Interpretation Manual of the 92/ 43/EEC Directive Habitats. <http://vnr.unipg.it/habitat/index.jsp>.
- Blasi C., Di Pietro R., Fortini P., Catonica C. (2003). The main plant community types of the alpine belt of the Apennine chain. *Plant Biosystems* 137: 83-110.
- Bricca A. (2018). Spatio-temporal functional variation of the sub-Mediterranean mountain grasslands. Doctoral School in Molecular, Cellular and Environmental Biology XXXI Cycle. University of RomaTre.
- Bricca A., Conti L., Tardella F.M., Catorci A., Iocchi M., Theurillat J.-P., Cutini M. (2019). Community assembly processes along a sub-Mediterranean elevation gradient: analyzing the interdependence of trait community weighted mean and functional diversity. *Plant Ecology* 220: 1139-1151.
- Bruculeri R., Petriccione B. (1994). Adattamenti e microclima delle comunità vegetali d'alta quota degli Appennini (Italia). *Rev. Valdotaine Hist. Nat. suppl.* 48: 131-141.
- Calabrese V., Carranza M.L., Evangelista A., Marchetti M., Stinca A., Stanisci A. (2018). Long-Term Changes in the Composition, Ecology, and Structure of *Pinus mugo* scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity* 10. DOI: 10.3390/d10030070.
- Calderaro C. (2019). Impact of climate change and disturbances on mountain forest ecosystems: the case study in Majella National Park, Central Apennine. PhD Thesis. University of Molise-University of Tuscia.
- Calderaro C., Palombo C., Fracasso R., Tognetti R., Marchetti M. (2014). Dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecotonfo della treeline in risposta ai cambiamenti climatici e di uso del suolo sul massiccio della Majella. Proceedings of the second international congress of silviculture. Florence, November 26th - 29th. <http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-din>.
- Cannone N., Pignatti S. (2014). Ecological responses of plant species and communities to climate warming: upward shift or range filling processes? *Clim. Change* 123: 201-214. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1065-8>.
- Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. (2017). *Pinus mugo* Krummholz Dynamics during Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mt. Res. Dev.* 2017, 37, 75-86.

-
- Di Cecco V., Di Musciano M., Gratani L., Catoni R., Di Martino L. and Frattaroli A.R. (2017). Seed germination and conservation of two endemic species from Central Apennines (Italy). *Plant Sociology* 54: 53-59.
- Di Martino S. Del Vecchio V., Di Cecco M., Di Santo A. Stanisci & A.R. Frattaroli (2014). The role of GA3 in the germination process of high-mountain endemic and threatened species: *Leontopodium nivale*, *Pinguicula fiorii* and *Soldanella minima* subsp. *samnitica* (central Apennines, Italy). *Plant Biosystems* 148 (6): 1231-1238. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.980359>.
- Di Musciano M., Carranza M.L., Frate L., Di Cecco V., Di Martino L., Frattaroli A.R., Stanisci A. (2018). Distribution of Plant Species and Dispersal Traits along Environmental Gradients in Central Mediterranean Summits. *Diversity*, 10. DOI:10.3390/d10030058.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen K., TeaComposition consortium (2018). Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629: 1369-1394.
- Evangelista A., Frate L., Carranza M.L., Attorre F., Pelino G., Stanisci A. (2016b). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB PLANTS* 8: plw004; DOI: 10.1093/aobpla/plw004.
- Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L., Stanisci A. (2016). VIOLA – The vegetation database of the central Apennines: Structure, current status and usefulness for monitoring Annex I EU habitats (92/43/EEC). *PLANT SOCIOLOGY*, vol. 53, p. 47-58, ISSN: 2280-1855. DOI: 10.7338/pls2016532/04.
- Ferrari C. & Piccoli F. (1997). The ericaceous dwarf shrublands above the Northern Apennine timberline (Italy). *Phytocoenologia*, 27 (1): 53-76.
- Ferrarini A., Selvaggi A., Abeli T., Alatalo J.M., Orsenigo S., Gentili R. & Rossi G. (2016). Planning for assisted colonization of plants in a warming world. *Scientific Reports*, 6.
- Frate L., Carranza M.L., Evangelista A., Stinca A., Schaminée J.H.J., Stanisci A. (2018). Climate and land use change impacts on Mediterranean high-mountain vegetation in the Apennines since the 1950s. *Plant Ecology & Diversity*, 11:1, 85-96, DOI: 10.1080/17550874.2018.1473521.
- Frattaroli A.R., Di Martino L., Di Cecco V., Catoni R., Varone L., Di Santo M. and Gratani L. (2013). Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines in Italy: relationship between seed size and germination capability. *Lazaroa* 34: 43-53.
- Gentili R., Bacchetta G., Fenu G., Cogoni D., Abeli T., Rossi G., Salvatore M.C., Baroni C., Citterio S. (2015). From cold to warm-stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation? *Biodiversity*, 16(4), 247-261.
- Gentili R., Rossi G., Dominione V. & Leonardi A. (2006). Valutazione dello status di conservazione di popolazioni isolate situate al limite dell'areale: il caso di *Juncus jacquinii* L. in Appennino Tosco-Emiliano (Italia). *Archivio Geobotanico*, 9, 57-68.
- Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia* 44 (2).
- Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barančok P., Alonso J. L. B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado M.R., Kazakis G., Krajčí J., Larsson P., Mallaun M., Merzouki A., Michelsen O., Moiseev D., Moiseev P., Molau U., Nagy L., Nakhutsrishvili G., Pedersen B., Pelino G., Puscas M., Rossi G., Stanisci A., Theurillat J.P., Tomaselli M., Villar L., Vittoz P., Vogiatzakis I., Grabherr G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2 (1): 111-115.
- Grime J.P. (2006). Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties. John Wiley & Sons, Toronto.

-
- IPCC (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge Univ. Press, UK. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Malavasi M., Carranza M.L., Moravec D., Cutini M. (2018). Reforestation dynamic after land abandonment: a trajectory analysis in Mediterranean mountain landscapes. *Regional Environmental Change* 18: 2459-2469.
- Palombo C., Battipaglia G., Cherubini P., Chirici G., Garfi V., Lasserre L., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R. (2014). Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra ssp *mugo*). *J Veg Sci* 25, 571-583. <https://doi.org/10.1111/jvs12101>.
- Palombo C., Chirici G., Marchetti M., Tognetti R. (2013). Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosystems* 147, 1-1 <https://doi.org/11.080/112635042013772081>.
- Pauli H., Gottfried M., Hohenwallner D. (2004). The GLORIA field manual. Multi-Summit approach. European Commission, DG Research, EUR 21213, Office for Official Publications of the European Communities, European Commission, Luxembourg, pp. 85.
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M., Alonso J. L. B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Calzado R. F., Ghosn D., Holten J. I., Kanka R., Kazakis G., Kollár J., Larsson P., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Nagy L., Pelino G., Puşcaş M., Rossi G., Stanisci A., Syverhuset A.O., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Unterluggauer P., Villar L., Vittoz P., Grabherr G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- Pauli H., Gottfried M., Lamprecht A., Niessner S., Rumpf S., Winkler M., Steinbauer K., Grabherr G. (2015). The GLORIA field manual-standard Multi-Summit approach, supplementary methods and extra approaches. GLORIA-Coordination, Austrian Academy of Sciences & University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. Global Observation Research Initiative.
- Petriccione B. (1993). Flora e vegetazione del massiccio del Monte Velino (Appennino Centrale) (con carta della vegetazione in scala 1:10.000). Collana Verde (Min. Risorse Agricole, Alimentari e Forestali) 92, pp. 267.
- Petriccione B. (1994). Ecologia e fitogeografia delle praterie di altitudine a Sesleria tenuifolia degli Appennini (Italia). *Rev. Valdotaine Hist. Nat. suppl.* 48: 287-296.
- Petriccione B. (1994). Flora and vegetation mapping of Velino massif (Abruzzo - I): a data source for a scientific management of a Natural Reserve. *Fitosociologia* 26: 189-199.
- Petriccione B. (2005). Short-term changes in key plant communities of Central Apennines (Italy). *Acta Botanica Gallica* 152: 545-561. <https://doi.org/10.1080/12538078.2005.10515513>.
- Petriccione B. (2012). Appennino Centrale: Gran Sasso d'Italia. In: Bertoni R (ed.). La Rete Italiana per la ricerca Ecologica a Lungo Termine (LTER-Italia): situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività. 2006-2011. ARACNE Editrice Roma 41-43. <http://www.ise.cnr.it/crypta/ebooks/La/20rete/20italiana/20LTER.pdf>.
- Petriccione B., Bricca A. (2019). Thirty years of ecological research at the Gran Sasso d'Italia LTER site: climate change in action. In: Mazzocchi MG., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation* 34: 9-39. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30218>
- Petriccione B., Claroni N. 1996. The dynamical tendencies in the vegetation of Velino massif (Abruzzo, Italy). *Doc. Phytosoc.* 16: 365-373.
- Petriccione B., Persia G. (1995). Prodromo delle praterie di altitudine su calcare degli Appennini (classe Festuco-Seslerietea). *Atti Conv. Lincei* 115: 361-389.
- Pignatti S. (2005). Valori di bioindicazione delle piante vascolari della flora d'Italia. *Braun-Blanquetia* 39: 3-97. <http://www.scienzadellavegetazione.it/sisv/libreria/braun-blanquetia/BRBL39.pdf>.

Pirola A. & Corbetta F. (1971). I vaccinieti dell'alta Valle del Dardagna (Appennino Emiliano). Not. Fitosoc., 6: 1-10.

Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.

Rossi G. (1994). Carta della vegetazione del Monte Prado (Parco Regionale dell'alto Appennino Reggiano, Regione Emilia-Romagna) – Note illustrative. Bot. Lab. Crittog. Univ. Pavia, ser, 7(10), 3-24.

Scolastri A., Bricca A., Cancellieri L., Cutini M. (2017b). Understory functional response to different management in the Mediterranean beech forest (Central Apennine, Italy). *Forest Ecology and Managements* 400: 665-676.

Scolastri A., Cancellieri L., Iocchi M., Cutini M. (2017a). Old Coppice vs High Forest: the impact of beech forest management on plant species diversity. *Journal of Plant Ecology* 10 (2): 271-280.

Scolastri A., Iocchi M., Cancellieri L., Cutini M. (2014). Patterns of floristic variation on a montane beech forest in the central Apennines (central Italy). *Plant Sociology* 51(2): 69-82.

Stanisci A., Frate L., Morra Di Cella U., Pelino G., Petey M., Siniscalco C., Carranza M.L. (2016b). Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystems*. 150 (2): 227-235.

Stanisci A., Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L. (2016a). VIOLA - Database of High Mountain Vegetation of Central Apennines. *Phytocoenologia* 46 (2): 231-232.

Theurillat J.-P., Iocchi M., Cutini M., De Marco G. (2007). Vascular plant richness along an elevation gradient at Monte Velino (Central Apennines, Italy). *Biogeographia* 28: 149-166.

Thuiller W., Lavorel S., Araújo M.B., Sykes M.T. & Prentice I.C. (2005). Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 8245.

Tomaselli M. (1994). The vegetation of summit rock faces, talus slopes and grasslands in the northern Apennines (N Italy). *Fitosociologia*, 26, 35-50.

Tomaselli R. (1970). Note illustrative della carta della vegetazione Naturale potenziale d'Italia. Minist. Agric. For., Roma: Collana Verde 27.

Winkler M., Lamprecht A., Steinbauer K., Hülber K., Theurillat J.-P., Breiner F., Choler P., Ertl S., GutiérrezGirón A., Rossi G., Vittoz P., Akhalkatsi M., Bay C., Benito Alonso J.-L., Bergström T., Carranza M.L., Corcket E., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Fosaa A.M., Gavilán,R.G., Ghosh D., Gigauri K., Huber D., Kanka R., Kazakis G., Klipp M., Kollar J., Kudernatsch T., Larsson P., Mallaun M., Michelsen O., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Morra di Cella U., Nagy L., Petey M., Puşcaş M., Rixen C., Stanisci A., Suen M., Syverhuset A.O., Tomaselli M., Unterluggauer P., Ursu T., Villar L., Gottfried M. and Pauli H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *J. Biogeogr.*, 43: 2261–2273. DOI: 10.1111/jbi.12835.

Sitografia

PROGETTO GLORIA https://www.gloria.ac.at/methods/multi_summits

PROGETTO MEDIALPS <https://www.oeaw.ac.at/igf/information/news/article/the-project-medialps/>

PROGETTO NEXTDATA DATA LTER MOUNTAIN

<http://www.nextdataproject.it/?q=en/content/wp-17-mountain-ecosystems-and-biodiversity>

RETE LTER ITALIA <http://www.lteritalia.it>

ENVIX-LAB UNIVERSITA' DEL MOLISE <http://envixlab.unimol.it/>

PARCO NAZIONALE DELLA MAJELLA <https://www.parcomajella.it/>

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

Abeli T., Gentili R., Rossi G., Bedini G. & Foggi B. (2009). Can the IUCN criteria be effectively applied to peripheral isolated plant populations? *Biodiversity and conservation*, 18(14), 3877.

Abeli T., Rossi G., Gentili R., Gandini M., Mondoni A. & Cristofanelli P. (2012b). Effect of the extreme summer heat waves on isolated populations of two orophilic plants in the north Apennines (Italy). *Nordic Journal of Botany*, 30(1), 109-115.

Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A. & Cristofanelli P. (2012a). Response of alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 213(1), 1-13.

Calabrese V., Carranza M.L., Evangelista A., Marchetti M., Stinca A., Stanisci A. (2018). Long-Term Changes in the Composition, Ecology, and Structure of *Pinus mugo* scrubs in the Apennines (Italy). *Diversity* 10. DOI: 10.3390/d10030070.

Chelli S., Marignani M., Barni E., Petraglia A., Puglielli G., Wellstein C., Acosta A.T.R., Bolpagni R., Bragazza L., Campetella G., Chiarucci A., Conti L., Nascimbene J., Orsenigo S., Pierce S., Ricotta C., Tardella F.M., Abeli T., Aronne G., Bacaro G., Bagella S., Benesperi R., Bernareggi G., Bonanomi G., Bricca A., Brusa G., Buffa G., Burrascano S., Caccianiga M., Calabrese V., Canullo R., Carbognani M., Carboni M., Carranza M.L., Catorci A., Ciccarelli D., Citterio S., Cutini M., Dalle Fratte M., De Micco V., Del Vecchio S., Di Martino L., Di Musciano M., Fantinato E., Filigheddu R., Frattaroli A.R., Gentili R., Gerdol R., Giarrizzo E., Giordani P., Gratani L., Incerti L., Lussu M., Mazzoleni S., Mondoni A., Montagnani C., Montagnoli A., Paura B., Petruzzellis F., Pisanu S., Rossi G., Sgarbi E., Simonetti E., Siniscalco C., Slaviero A., Stanisci A., Stinca A., Tomaselli M. & Cerabolini B.E.L. (2019). Plant-environment interactions through a functional traits perspective: a review of Italian studies, *Plant Biosystems*. DOI: 10.1080/11263504.2018.1559250.

Ciaschetti G., Pirone G., Giancola C., Frattaroli A.R. & Stanisci A. (2015). Prodrome of the Italian vegetation: A new alliance for the high-mountain chamaephytic communities of central and southern Apennines, *Plant Biosystems* DOI: 10.1080/11263504.2015.1076084.

Dai L., Palombo C., Van Gils H., Rossiter D.G., Tognetti R., Luo G. (2017). *Pinus mugo* Krummholz Dynamics during Concomitant Change in Pastoralism and Climate in the Central Apennines. *Mt. Res. Dev.* 2017, 37, 75-86.

Di Cecco V., Di Musciano M., Gratani L., Catoni R., Di Martino L. and A.R. Frattaroli (2017). Seed germination and conservation of two endemic species from Central Apennines (Italy). *Plant Sociology* 54: 53-59.

Di Martino, S. Del Vecchio, V. Di Cecco, M. Di Santo, A. Stanisci, & A.R. Frattaroli (2014). The role of GA3 in the germination process of high-mountain endemic and threatened species:

-
- Leontopodium nivale, Pinguicula fiorii and Soldanella minima subsp. *samnitica* (central Apennines, Italy). *Plant Biosystems* 148 (6): 1231-1238. <http://dx.doi.org/10.1080/11263504.2014.980359>
- Di Musciano M., Carranza M.L., Frate L., Di Cecco V., Di Martino L., Frattaroli A.R., Stanisci A. (2018). Distribution of Plant Species and Dispersal Traits along Environmental Gradients in Central Mediterranean Summits. *Diversity*, 10. DOI: 10.3390/d10030058.
- Di Pietro R., Pelino G., Stanisci A., Blasi C. (2008). Phytosociological Features of *Adonis distorta* and *Trifolium noricum* subsp. *praetutianum*, two endemics of the Apennines (Peninsular Italy). *Acta Botanica Croatica* 67(2), pp. 175-200.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen K., TeaComposition consortium (2018). Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629: 1369-1394.
- Engler R., Randin C.F., Thuiller W., Dullinger S., Zimmermann N.E., Araùjo M.B., Pearman P.B., Le Lay G., Piedallu C., Albert C.H., Choler P., Coldea G., Lamo X., Dirnböck T., Gégout J.-C., Gomez-Garcia D., Grytnes J.A., Heegard E., Hoistad F., Nogués-Bravo D., Normand S., Puscas M., Sebastià M.T., Stanisci A., Theurillat J.-P., Trivedi M.R., Vittoz P., Guisan A. (2011). 21st century climate change threatens mountain flora unequally across Europe. *Global Change Biology* 17 (7): 2330-2341.
- Evangelista A., Frate L., Carranza M.L., Attorre F., Pelino G., Stanisci A. (2016a). Changes in composition, ecology and structure of high-mountain vegetation: a re-visitation study over 42 years. *AoB PLANTS* 8: plw004. DOI: 10.1093/aobpla/plw004.
- Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L., Stanisci A. (2016b). VIOLA – The vegetation database of the central Apennines: Structure, current status and usefulness for monitoring Annex I EU habitats (92/43/EEC). *PLANT SOCIOLOGY*, vol. 53, p. 47-58, ISSN: 2280-1855. DOI: 10.7338/pls2016532/04.
- Ferrarini A., Selvaggi A., Abeli T., Alatalo J.M., Orsenigo S., Gentili R. & Rossi G. (2016). Planning for assisted colonization of plants in a warming world. *Scientific Reports*, 6.
- Frate L., Carranza M.L., Evangelista A., Stinca A., Schaminée J.H.J., Stanisci A. (2018). Climate and land use change impacts on Mediterranean high-mountain vegetation in the Apennines since the 1950s. *Plant Ecology & Diversity*, 11:1, 85-96. DOI: 10.1080/17550874.2018.1473521.
- Frattaroli A.R., Di Martino L., Di Cecco V., Catoni R., Varone L., Di Santo M. and Gratani L. (2013). Seed germination capability of four endemic species in the Central Apennines in Italy: relationship between seed size and germination capability. *Lazaroa* 34: 43-53.
- Gentili R., Bacchetta G., Fenu G., Cogoni D., Abeli T., Rossi G. & Citterio S. (2015). From cold to warm-stage refugia for boreo-alpine plants in southern European and Mediterranean mountains: the last chance to survive or an opportunity for speciation? *Biodiversity*, 16(4), 247-261.
- Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia* 44 (2).
- Gottfried M., Pauli H., Futschik A., Akhalkatsi M., Barančok P., Alonso J.L.B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado M.R., Kazakis G., Krajčí J., Larsson P., Mallaun M., Merzouki A., Michelsen O., Moiseev D., Moiseev P., Molau U., Nagy L., Nakhutsrishvili G., Pedersen B., Pelino G., Puscas M., Rossi G., Stanisci A., Theurillat J.P., Tomaselli M., Villar L., Vittoz P., Vogiatzakis I., Grabherr G. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change* 2 (1): 111-115.
- Malavasi M., Carranza M.L., Moravec D., Cutini M. (2018). Reforestation dynamic after land abandonment: a trajectory analysis in Mediterranean mountain landscapes. *Regional Environmental Change* 18: 2459-2469.

-
- Palombo C., Battipaglia G., Cherubini P., Chirici G., Garfi V., Lasserre L., Lombardi F., Marchetti M., Tognetti R. (2014). Warming-related growth responses at the southern limit distribution of mountain pine (*Pinus mugo* Turra ssp. *mugo*). *J Veg Sci* 25, 571-583. <https://doi.org/10.1111/jvs12101>.
- Palombo C., Chirici G., Marchetti M., Tognetti R. (2013). Is land abandonment affecting forest dynamics at high elevation in Mediterranean mountains more than climate change? *Plant Biosystems* 147, 1-1 <https://doi.org/11.080/112635042013772081>
- Pauli H., Gottfried M., Dullinger S., Abdaladze O., Akhalkatsi M., Alonso J.L.B., Coldea G., Dick J., Erschbamer B., Calzado R.F., Ghosn D., Holten J.I., Kanka R., Kazakis G., Kollár J., Larsson P., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Nagy L., Pelino G., Puşcaş M., Rossi G., Stanisci A., Syverhuset A. O., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Unterluggauer P., Villar L., Vittoz P., Grabberr G. (2012). Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits. *Science* 336: 353-355.
- Petriccione B., Bricca A. (2019). Thirty years of ecological research at the Gran Sasso d'Italia LTER site: climate change in action. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation* 34: 9-39. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30218>.
- Porro F., Tomaselli M., Abeli T., Gandini M., Gualmini M., Orsenigo S., Petraglia A., Rossi G., Carbognani M. (2019). Could plant diversity metrics explain climate-driven vegetation changes on mountain summits of the GLORIA network? *Biodiversity and Conservation*, 28(13), 3575-3596.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment*, 624: 1429-1442.
- Scolastri A., Bricca A., Cancellieri L., Cutini M. (2017a). Understory functional response to different management in the Mediterranean beech forest (Central Apennine, Italy). *Forest Ecology and Managements* 400: 665-676.
- Scolastri A., Cancellieri L., Iocchi M., Cutini M. (2017b). Old Coppice vs High Forest: the impact of beech forest management on plant species diversity. *Journal of Plant Ecology* 10 (2): 271-280.
- Scolastri A., Iocchi M., Cancellieri L., Cutini M. (2014). Patterns of floristic variation on a montane beech forest in the central Apennines (central Italy). *Plant Sociology* 51(2): 69-82.
- Stanisci A., Bricca A., Calabrese V., Cutini M., Pauli H., Steinbauer K., Carranza M.L. (2020). Functional composition and diversity of leaf traits in subalpine versus alpine vegetation in the Apennines. *AoB Plants*, 12 (2): 1-11. DOI: 10.1093/aobpla/plaa004.
- Stanisci A., Frate L., Morra Di Cella U., Pelino G., Petey M., Siniscalco C., Carranza M.L. (2016). Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosystems*. 150 (2): 227-235.
- Stanisci A., Evangelista A., Frate L., Stinca A., Carranza M.L. (2016). VIOLA – Database of High Mountain Vegetation of Central Apennines. *Phytocoenologia* 46 (2): 231-232.
- Stanisci A., Carranza M.L., Pelino G., Chiarucci A. (2010). Assessing the diversity pattern of cryophilous plant species in high elevation habitats. *Plant Ecology* 212: 595-600.
- Stoll S., Frenzel M., Burkhard B., Adamescu M., Augustaitis A., Baßler C., Bonet F.J., Carranza M.L., Cazacu C., Cosor G.L., Díaz-Delgado R., Grandin U., Haase P., Hämäläinen H., Loke R., Müller J.,

Stanisci A., Staszewski T., Müller F. (2014). Assessment of ecosystem integrity and service gradients across Europe using the LTER Europe network. *Ecol. Model.* (2014), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.06.019>.

Winkler M., Lamprecht A., Steinbauer K., Hülber K., Theurillat J.-P., Breiner F., Choler P., Ertl S., GutiérrezGirón A., Rossi G., Vittoz P., Akhalkatsi M., Bay C., Benito Alonso J.-L., Bergström T., Carranza M.L., Corcket E., Dick J., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Fosaa A.M., Gavilán R.G., Ghosh D., Gigauri K., Huber D., Kanka R., Kazakis G., Klipp M., Kollar J., Kudernatsch T., Larsson P., Mallaun M., Michelsen O., Moiseev P., Moiseev D., Molau U., Molero Mesa J., Morra di Cella U., Nagy L., Petey M., Puşcaş M., Rixen C., Stanisci A., Suen M., Syverhuset A.O., Tomaselli M., Unterluggauer P., Ursu T., Villar L., Gottfried M. and Pauli H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *J. Biogeogr.*, 43: 2261-2273. DOI: 10.1111/jbi.12835.

Riviste non ISI

Calderaro C., Palombo C., Fracasso R., Tognetti R., Marchetti M. (2014). Dinamiche di vegetazione di pino mugo e faggio nell'ecoton della treeline in risposta ai cambiamenti climatici e di uso del suolo sul massiccio della Majella. Proceedings of the second international congress of silviculture. Florence, November 26th – 29th. <http://dx.doi.org/10.4129/2cis-cc-din>.

Giancola C., Di Marzio P., Stanisci A. (2008). Gli habitat nelle aree d'alta quota in Molise. *Fitosociologia*. Vol. 44 (2).

Libri e capitoli di libri

Calderaro C. (2019). Impact of climate change and disturbances on mountain forest ecosystems: the case study in Majella National Park, Central Apennine. PhD Thesis. University of Molise-University of Tuscia.

Corso G., Giancola C., Carranza M.L., Stanisci A. (2009). Storia, cultura e biodiversità del paesaggio vegetale d'alta quota del Matese. In: Marino D., Cannata G. (Ed) *La risorsa Matese. Le conoscenze dell'Università degli Studi del Molise*. Università degli Studi del Molise Campobasso. pp. 88-94. ISBN: 978-88-901055-7-9.

Di Martino L., Stanisci A., Vitale D., de Chiro M. (Eds) (2018). Turismo, Biodiversità, "Heritage: dall'integrazione delle risorse alla progettazione territoriale" Edizioni Parco Nazionale della Majella.

Gerdol R., Tomaselli M., Stanisci A. (2008). La vegetazione delle montagne italiane. Edizioni CAI. 2008.

Giancola C., Corso G., Carranza M.L., Stanisci A. (2009). Perdita di biodiversità del paesaggio vegetale d'alta quota. In: Marino D., Cannata G. (Ed). *La risorsa Matese. Le conoscenze dell'Università degli Studi del Molise*. Università degli Studi del Molise Campobasso. pp. 95-96. ISBN: 978-88-901055-7-9.

Paura B., Fortini P., Presti G., Stanisci A., Di Marzio P., Blasi C. (2010). Le serie di vegetazione della regione Molise. In: Blasi C. (Ed). *La Vegetazione d'Italia*. Palombi & Partner s.r.l. Roma.

Petriccione B. (2012). Appennino Centrale: Gran Sasso d'Italia. In: Bertoni R. (ed.). *La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica a Lungo Termine (LTER-Italia): situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011)*. ARACNE Editrice, Roma: 41-43.

Stanisci A. (2012). Appennini: ecosistemi di alta quota. In: Bertoni R. (ed.), *La Rete Italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)*. Aracne Editrice, Roma. ISBN: 978-88-548-4661-6.

Stanisci A., Cutini M., Petriccione B., Rossi G., Theurillat J.-P., Tomaselli M. (2009). The LTER site "Apennines high elevation ecosystems". In: Dobbertin M.K., Long-term ecosystem research: understanding the present to shape the future. International Conference Zurich, Switzerland September 7-10, 2009 Abstracts, p. 99.

Report

Attorre F., Stanisci A., Theurillat J.-P. (2009). Impatti sulla flora d'alta quota. In: Attorre F. *et al.*, Verso la Strategia Nazionale per la Biodiversità. Tavolo tecnico Cambiamenti Climatici e Biodiversità. Studio della Mitigazione e Proposte per l'adattamento. Progetto MATTM, DPN – WWF Italia onlus, Roma. <http://www.minambiente.it>.

Stanisci A., Giancola C., Pelino G. (2008). Effetti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità. In: Marchetti M., Marino D., Cannata G. (Ed) Relazione sullo stato dell'ambiente della regione Molise. Università degli Studi del Molise Campobasso, pp. 95-96. ISBN: 978-88-901055-1-7.

Matteucci G., Carrara P., Rogora M., Freppaz M., Stanisci A., Rossetti G. (2015). Harmonisation and standards for existing and newly collected Data and MetaData on LTER sites in Italian Mountain ecosystems. Progetto Rilevanza Strategica Nazionale NextData Data LTER Mountain.

Lamprecht A., Bardy-Durchhalter M., Niederheiser R., Pauli H., Rutzinger M., Steinbauer K., Wilfing K., Erschbamer B., Fernández Calzado R., Di Cecco V., Gattringer A., Kazakis G., Mallaun M., Molero Mesa J., Moser D., Remoundou H., Stanisci A., Theurillat J.-P., Vittoz P., Wessely J. & Winkler M. (2019). MediAlps – Disentangling anthropogenic drivers of climate change impacts on alpine plant species: Alps vs. Mediterranean mountains (MediAlps). Final Report Research Program “Earth System Sciences (ESS)” Austrian Academy of Sciences.

Lavori divulgativi

Evangelista A., Carranza M.L., Fate L., Pelino G., Stanisci A. (2013). Cosa è successo nell'alta montagna appenninica a seguito del riscaldamento climatico? Natura e Montagna 2: 53-60. ISSN: 0028-0658.

Godone D., Stanisci A., Corti B., Cocco S., Freppaz M. (2013). The employment of MODIS time series and soil temperature to monitor snow cover in the Majella National Park (Italian Central Apennines). International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc – 2013, pp. 6.

Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci A., Cesarini C., (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l'esempio della rete LTER-Italia. In: Avveduto S., Paciello M., Arrigoni T., Mangia C., Martinelli L. (eds), Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve. IRPPS Monografie, Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali, Roma, pp. 336 CNR-IRPPS e-Publishing: <http://www.irpps.cnr.it/e-pub/ojs/>.

IT02-T FORESTE DELLE ALPI

Autori

Giancarlo Papitto¹, Claudia Cindolo¹, Enrico Calvo², Stefano Minerbi³, Mauro Confalonieri⁴, Cristina Salvadori⁵, Elena Gottardini⁶, Nicola La Porta⁶, Renzo Motta⁷, Fabio Meloni⁷

Affiliazione

¹ Arma dei Carabinieri (CUFA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci n. 5, 00187 Roma, Italia.

² ERSAF – Ente Regionale per i Servizi all’Agricoltura e alle Foreste. Regione Lombardia.

³ Forest Departement of South Tyrol. Bozen, Italy.

⁴ Provincia autonoma di Trento – Servizio Foreste e fauna, Trento.

⁵ Fondazione E. Mach – Centro Trasferimento Tecnologico, S. Michele a/Adige (TN).

⁶ Fondazione E. Mach – Centro Ricerca e Innovazione, S. Michele a/Adige (TN).

⁷ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco, To.

DEIMS.ID: <https://deims.org/ede67a31-079a-4db5-b3a2-83b22054c661>

Referente Macrosito: Ten. Col. Giancarlo Papitto, App. sc. Claudia Cindolo

Tipologia di ecosistema: terrestre, foreste alpine.

Siti di ricerca:

Val Masino, IT02-001-T

Renon BOL1, IT02-002-T

Passo Lavazè TRE1, IT02-003-T

Tarvisio FRI2, IT02-004-T

Valbona, IT02-005-T



Citare questo capitolo come segue: Papitto G., Cindolo C., Calvo E. *et al.* (2021). IT02-T Foreste delle Alpi, p. 101-141. DOI: 10.5281/zenodo.5584731. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il Macrosito comprende cinque Siti di cui quattro rappresentati da aree incluse nella Rete di Monitoraggio forestale permanente del Programma CONECOFOR (CONTrollo ECOSistemi FOREstali), coordinato dal 2017 dal Comando Unità Tutela Forestale, Ambientale e Agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri (CUFAA) – Ufficio Studi e Progetti e da una stazione di ricerca all'interno della Foresta Demaniale di Paneveggio (“Riserva Forestale della Valbona” nel Parco Naturale Paneveggio – Pale di S. Martino, Trento). I cinque siti sono diffusi dalla Lombardia al Friuli V. Giulia e sono principalmente caratterizzati da foreste primarie e secondarie a *Picea abies*, tra 800 e 1800 m. s.l.m.. Nel caso di Paneveggio, alle quote più elevate, si trovano popolamenti misti di abete rosso, larice e cembro.

Il Programma CONECOFOR è incluso nella Rete europea ICP Forests di monitoraggio delle foreste, istituita nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero a lunga distanza (CLRTAP) del 1979. Le stazioni di Val Masino (IT02-001-T), Passo Lavazè (IT02-003-T) e Tarvisio (IT02-004-T) sono aree permanenti della Rete Nazionale CONECOFOR dal 1995; quella di Renon (IT02-002-T) è un'area permanente della Rete della Provincia di Bolzano dal 1995, incorporata nella Rete Nazionale CONECOFOR dal 2000. Ad eccezione del Sito di Tarvisio (FRI2, IT02-004-T), ciascuna area è gestita in modo autonomo dagli Enti riportati nelle descrizioni dei siti di ricerca.

Le aree permanenti CONECOFOR, come da protocollo ICP Forest, sono costituite da un quadrato recintato di 50 m di lato, all'interno del quale si possono trovare campionatori per la raccolta delle deposizioni atmosferiche di inquinanti, centraline meteorologiche automatiche, campionatori per la raccolta delle soluzioni circolanti nei suoli. Vi si svolgono, inoltre, l'analisi dei nutrienti fogliari, il rilevamento dell'accrescimento degli alberi, la valutazione delle chiome e della biodiversità vegetale. Tutte le ricerche hanno serie storiche piuttosto lunghe che hanno permesso di sviluppare studi e ricerche aventi come oggetto di indagine gli effetti delle attività antropiche sulle foreste, la biodiversità forestale, i cambiamenti climatici e le maggiori minacce che l'ambiente forestale si trova oggi costretto ad affrontare.

Purtroppo, il monitoraggio forestale ha un costo piuttosto elevato che, negli anni di crisi, non si è riusciti a fronteggiare con i soli fondi nazionali. Per questo motivo, si è dovuta operare una selezione all'interno delle aree di monitoraggio che ha portato, allo stato attuale, alcune di esse in condizioni di “sospensione delle ricerche”, in cui sono garantite esclusivamente alcune attività di base e la manutenzione delle aree. Grazie al progetto LIFE “Smart4Action” (dal 2014 al 2018), coordinato dal CUFAA Carabinieri con la partecipazione di CNR, CREA, UNIFI, UNICAM e *Terradata env.*, è stato dimostrato che è possibile ottimizzare il sistema di monitoraggio forestale riducendo i costi del 40% senza intaccare la qualità delle ricerche e dei dati raccolti (<http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare/progetti-life>). Nell'ambito del progetto sono stati sviluppati:

- un webGIS on line (<http://smart4action.ise.cnr.it>) che consente di visualizzare su mappa i punti e tutte le aree di monitoraggio e gli andamenti dei parametri studiati;
- due *App* per *Smartphone* disponibili su *Google Play* e *iTunes* (**Smart4Action Citizen Involvement**” e “**Smart4Action Reporting**”), per la consultazione rapida dei dati e la segnalazione di danni forestali eventualmente rilevati in campo;

Solo il mantenimento di una rete di monitoraggio a lungo termine attiva e funzionante potrà consentire di comprendere realmente le evoluzioni e i processi che interessano i preziosi ecosistemi forestali.

La foresta di Paneveggio è stata sede di ricerche di ecologia forestale da lunghissimo tempo; qui è disponibile il primo piano di Assestamento forestale redatto nel 1847. La riserva della Valbona è uno dei 6 siti italiani inseriti nel 2004 nell'European Network for long-term Forest Ecosystem and Landscape Research. Per questo sito sono disponibili: dati climatici (rilevamento in continuo), biomassa legnosa (prelievo periodico), attività selvicolturale (nella Riserva), impatto degli ungulati selvatici sulla rinnovazione forestale (225 punti di campionamento permanenti nel Parco Naturale Paneveggio-Pale di S. Martino), censimenti faunistici (ungulati e tetraonidi). Inoltre, vi si svolgono inventari periodici (10 anni) di

incremento, natalità, mortalità, variazioni strutturali in 7 aree permanenti di 1 ha con mappe e carote incrementali dei singoli alberi (oltre 3000).

Le collaborazioni in atto avvengono con: Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo e Forestale della Regione Lombardia (ERSAF) (stazione di Val Masino), Provincia Autonoma di Bolzano (stazione di Renon), Provincia Autonoma di Trento (stazione di Passo Lavazè e Valbona), Parco Naturale di Paneveggio-Pale di s. Martino, CNR, CREA, Università di Camerino, Terradata environmetrics, Università di Firenze, Università di Pavia,

Università di Trieste, Università di Bologna, Università di Parma, Fondazione "E. Mach" S. Michele all'Adige, Università di Padova, Università della Basilicata, Centre for Bio-Archaeology and Ecology, Institut de Botanique, Università di Montpellier, France (produzione di seme in larice e pino cembro e sul ruolo dei disturbi naturali nelle foreste del piano subalpino).

Abstract

The LTER site IT02-000-T – Forests of the Alps includes four permanent monitoring plots belonging to CONECOFOR Programme (National Programme for Intensive Monitoring of Forest Ecosystems), located on the Italian Alps, covered by primary or secondary *Picea abies* dominated forests, ranging from 800 to 1800 m a.s.l. and one research station inside the Paneveggio-Pale di S. Martino Provincial Park mainly formed by pure Norway spruce stands. In the upper part of this forest Norway spruce is mixed with Swiss stone pine and larch.

The CONECOFOR Program is included in the European ICP Forest Forests Monitoring Network, established under the 1979 Convention on Long Distance Transboundary Pollution (CLRTAP). The Val Masino, Passo Lavazè and Tarvisio stations are permanent areas of the National Network CONECOFOR since 1995; Renon is a permanent area of the Network of the Province of Bolzano since 1995, incorporated into the CONECOFOR National Network since 2000. Each area is independently managed by the Bodies listed in the descriptions of the sites.

The permanent CONECOFOR sites, following the ICP Forest protocol, consist of a fenced square of 50m on each side. Inside, samplers for the collection of atmospheric pollutant depositions, automatic meteorological stations, samplers for collecting circulating solutions in soils can be found. Furthermore, foliar nutrient analysis, tree growth assessment, crown evaluation and vegetation diversity are carried out. All the researches have rather long historical series that have allowed to develop studies and researches having as object of investigation the status of forestry biodiversity, the climatic changes and the greater threats that the forest environment is forced to face. Unfortunately, forest monitoring has a rather high cost which, in the years of crisis, has not been able to cope with national funds alone. For this reason, it was necessary to make a selection within the monitoring areas which led, at present, to some of them in conditions of "suspension of research", in which only certain basic activities and maintenance of the areas.

The Paneveggio forest has been home to forest ecology research for a very long time. The Valbona reserve is one of 6 Italian sites included in 2004 in the European Network for long-term Forest Ecosystem and Landscape Research. For this site are available: climatic data (continuous survey), woody biomass (periodic sampling), silvicultural activity (in the Reserve), impact of wild ungulates on forest renewal (225 permanent sampling points in the Paneveggio-Pale di S. Natural Park Martino), fauna censuses (ungulates and tetraonids). Furthermore, periodic inventories (10 years) of increase, birth rate, mortality, structural changes in 7 permanent areas of 1 ha are carried out with maps and incremental cores of the single trees (over 3000).

Val Masino LOM1

Autore

Enrico Calvo¹

Affiliazione

¹ ERSAF – Ente Regionale per i Servizi all’Agricoltura e alle Foreste. Regione Lombardia

Sigla: IT02-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/68a5673c-9172-48cc-88e5-b9408b203309>

Responsabile sito: Enrico Calvo, Italo Buzzetti¹

Area geografica

Bagni di Masino, Val Masino (Sondrio)

Lat.: 046° 14' 16" N

Long.: 009° 33' 16" E

Alt.: 1190 m s.l.m.

Esposizione: 20° WNW

T media/annua: 8°C

P medie/annue: 1300 mm

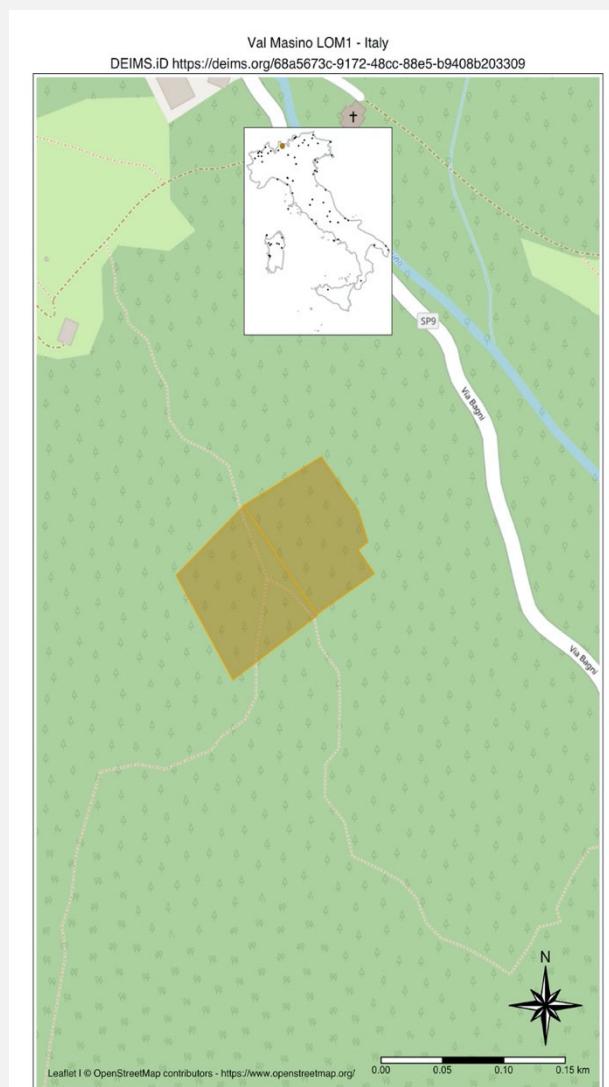
Substrato: graniti

Suolo: *Humic cambisols*

Associazione vegetale: *Veronica urticifoliae – Piceetum* (ELLEMBERG & KLOTZLI 1972)

EUNIS: G3.1 Fir and Spruce woodland

Status di protezione: zona SIC: IT2040019 e ZPS:
IT2040601



Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 1 - Area boschiva in Val Masino

L'area permanente LOM1 Val Masino è caratterizzata da una pecceta montana ad alto fusto posta all'interno della Foresta Regionale Demaniale "Bagni di Masino", nel Comune di Val Masino (SO). Insieme ad altre due aree lombarde non incluse nella Rete LTER Italia, fa parte del Programma CONECOFOR dal 1995 e rientra nelle Reti Europee di monitoraggio forestale ICP Forests e ICP IM dell'Unione Europea. È stata inclusa nel sito LTER Italia, Foreste delle Alpi dal 2006. Vi si svolgono prevalentemente attività di monitoraggio forestale che sono state finanziate direttamente fino al 2014 dall'UE, dal CFS, da Regione Lombardia e da ERSASF.

Il plot di monitoraggio CONECOFOR è costituito dalla parcella sperimentale recintata di 50X50 m più una parcella di controllo,

selezionate entrambe in un'area omogenea più vasta dove è posizionata una stazione meteo *open field*.

Nel 2013 a fianco del sito è stata installata un'area di monitoraggio forestale rientrante nel programma delle Riserve Forestali Alpine, gestita dal Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari dell'Università di Torino, costituita da due plot di mq 1.050 cad., uno recintato e uno non recintato.

Breve cenno storico

A partire dalla metà degli anni '90, nell'ambito di progetti nazionali attivati dal Ministero Agricoltura e Foreste, sono state installate in regione Lombardia tre aree di rilevamento dello stato di salute delle foreste rispetto alle deposizioni acide.

Inizialmente le aree erano solo di osservazione delle condizioni delle chiome, ma successivamente sono state strutturate per svolgere diversi livelli di attività di studio e monitoraggio secondo una metodologia internazionalmente riconosciuta e condivisa, quella dell'ICP-Foreste "International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests".

Tali attività sono state sviluppate direttamente con finanziamenti del Ministero e finanziamenti integrativi di Regione Lombardia, partecipando anche a progetti nazionali (Programma CON.ECO.FOR, la rete nazionale integrata per il controllo degli ecosistemi forestali, dal 1998 al 2011) e a progetti internazionali (ECAFO "Effetti della contaminazione atmosferica sugli ecosistemi forestali" dal 1995 al 1996; ESPERIME "Esperimenti sul terreno per migliorare le conoscenze sull'inquinamento atmosferico", 1997; FUTMON "Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring System" dal 2009 al 2012. I finanziamenti sono stati poi negli ultimi anni sostenuti direttamente da ERSAF.

Dal 2002 l'area LOM1 (Val Masino) appartiene anche alla Rete Italiana per le Ricerche Ecologiche di Lungo Termine (LTER Italia, www.lter-europe.net/networks/italy) che a sua volta è inclusa nella rete europea LTER-Europe (www.lter-europe.net/) e dal 2006 fa parte della Rete Internazionale LTER (ILTER www.ilternet.edu/).

L'area LOM 1 Val Masino è gestita direttamente da ERSAF in quanto inserita nella Foresta demaniale regionale Val Masino.

Nell'ambito delle aree le attività vengono svolte direttamente da ERSAF, con proprio personale, da personale del Comando Unità Forestali dell'Arma dei Carabinieri per alcune indagini e dall'Istituto di Ricerca sulle Acque-CNR di Brugherio per le analisi sulle deposizioni e le soluzioni circolanti.

Purtroppo negli ultimi anni, la mancanza di fondi nazionali e finanziamenti internazionali hanno portato ad una drastica riduzione delle ricerche.

Serie storica delle osservazioni (banca dati ICP Forest dal 1995)

I dati raccolti dal 1995 venivano inviati con formato standardizzato a livello europeo e validati, quindi immagazzinati nella banca dati europea di ICP Forest e, a validazione avvenuta, restituiti al National Focal Centre nazionale.

Tipologia di dati raccolti (biotici, abiotici, fisici)

Tutte le analisi di dettaglio vengono eseguite secondo le modalità previste dai protocolli internazionali. In tale sito sono presenti campionatori per le deposizioni atmosferiche sottochioma e in campo aperto, stazione meteo, campionatori per la soluzione circolante nel suolo e in essa vengono svolte annualmente o periodicamente analisi, prelievi e valutazioni delle condizioni dell'ecosistema secondo i protocolli internazionali delle reti in cui è inserita.

Le ricerche in corso sono: meteorologia, chimica delle deposizioni atmosferiche, condizione delle chiome, vegetazione, fenologia degli alberi, accrescimenti arborei, struttura forestale, caratteristiche fisico-chimiche dei suoli e soluzioni circolanti.

L'area fa parte della Rete ICP-Forest "International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests" che opera nell'ambito dell'"UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution".

Nella tabella, le ricerche svolte nell'area e gli anni di riferimento delle serie storiche di dati.

Per le metodologie di rilevamento, vengono applicati i protocolli di monitoraggio ICP Forests utilizzati per il monitoraggio forestale nelle aree CONECOFOR di II Livello.

ATTIVITA'	Condizioni chiome	Soluzione nei suoli	Deposizioni atmosferiche	Meteo OF	Meteo IP
ENTE-REFERENTE	CUFAA	CNR	CNR	CREA	CREA
RICERCHE	Dati dal 1996	Dati dal 1999	Dati dal 1995	Dati dal 1998	Dati dal 1998
FREQUENZA CAMPIONAMENTO	annuale	bisettimanale	settimanale	settimanale	settimanale

In particolare si evidenzia:

- deposizioni atmosferiche: i campionamenti delle deposizioni atmosferiche nell'area LOM1 vengono settimanalmente effettuati e regolarmente inviati tramite corriere al laboratorio IRSACNR di Brugherio (MI), che opera per conto del CNR – Istituto per lo Studio degli Ecosistemi di Pallanza.
I campioni sono raccolti mediante campionatori di pioggia collocati sia in zone forestate (sottochioma e throughfall) che in quelle adiacenti prive di alberi (openfield).
- soluzioni nei suoli: il campionamento avviene mediante lisimetri a suzione posizionati a differenti profondità del suolo.
I campionamenti vengono prelevati con frequenza bisettimanale e opportunamente miscelati ottenendo tre campioni integrati, uno relativo alla profondità di 15 cm, uno di 40 cm e uno di 70 cm. Viene eseguito il campionamento dell'acqua d'infiltrazione con frequenza bisettimanale.
- dati delle centraline meteorologiche: i dati vengono inviati all'indirizzo: conecofor.rps@entecra.it.

Enti coinvolti nelle attività di ricerca del sito

- ERSASF. Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste – Ufficio Operativo di Morbegno (SO). www.ersaf.lombardia.it
- Arma dei Carabinieri, Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari, <http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare>
- Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA-CNR) Unità operativa di supporto – Brugherio, Via del Mulino 19 I-20047 Brugherio, Milano www.irsa.cnr.it

I principali risultati scientifici ottenuti in relazione alle osservazioni a lungo termine

I risultati ottenuti in Val Masino dall'analisi di diverse componenti ambientali (deposizioni atmosferiche in campo aperto e sottochioma, la soluzione circolante e il torrente) hanno consentito, a lungo termine, di ottenere una visione integrata del ciclo biogeochimico degli elementi che è indispensabile per avere informazioni riguardo allo stato globale dell'ecosistema. In particolare i risultati ottenuti nel 2011 e 2012 confermano che la maggior parte dell'azoto inorganico disponibile nella soluzione circolante del suolo viene completamente utilizzato e ciò suggerisce che nella porzione di bacino occupato da foreste non vi sia una condizione di azoto saturazione.

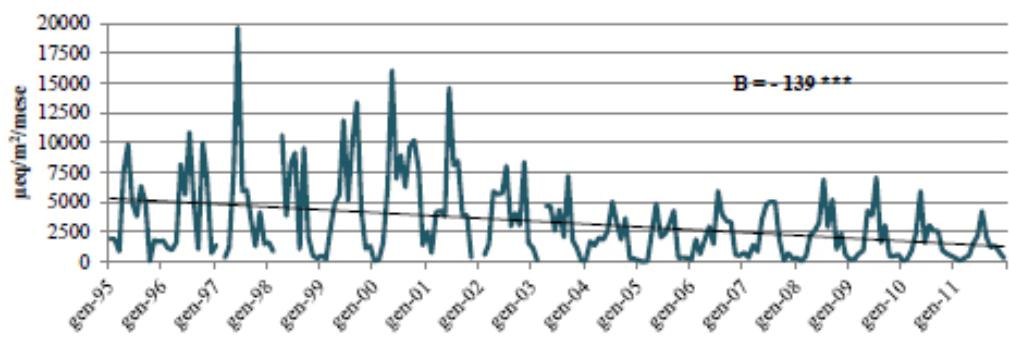
Le concentrazioni dei solfati e di azoto nitrico nelle deposizioni atmosferiche presentano trend in diminuzione, statisticamente significativi, rispettivamente del 5.15% e del 1.17% l'anno. Al calo di queste specie acidificanti, è associato un trend in aumento dello 0.85% annuo per i valori di pH nelle precipitazioni. La diminuzione dei flussi di SO₄ e N-NO₃ nelle deposizioni è dovuta alla riduzione delle emissioni in atmosfera di SO_x e NO_x, che si è registrata in Italia come in molte regioni europee. Diversamente accade per le deposizioni atmosferiche e le emissioni di azoto ammoniacale, per le quali non vi sono trend in diminuzione.

Parallelamente agli studi chimici, presso la stazione di Bagni di Masino viene condotto un monitoraggio dello stato di salute della vegetazione. Per quanto riguarda il sito, il trend per il periodo 2002-2011 relativo alla defoliazione della specie *Picea abies* è in diminuzione, indicando un miglioramento dello stato di salute della vegetazione.

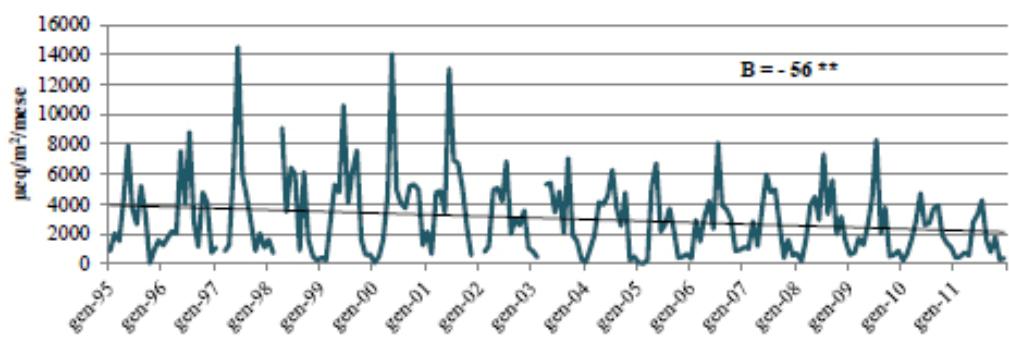
L'importanza delle ricerche a lungo termine è anche maggiore per gli ambienti alpini, che essendo caratterizzati da una maggiore sensibilità, si comportano come campanelli d'allarme dei cambiamenti globali. Per questi motivi il mantenimento dei siti di monitoraggio a lungo termine resta fondamentale. In particolare, la stazione di Bagni di Masino (LOM1) è l'unica della Lombardia per il programma CON.ECO.FOR: in una regione caratterizzata da un elevato numero di distretti industriali come quella lombarda, questa riveste un ruolo importante per la valutazione di un eventuale impatto delle emissioni antropiche sulle aree remote.

Le serie storiche permettono di individuare una situazione “di partenza”, senza la quale sarebbe impossibile qualsiasi considerazione e consente di registrare eventi eccezionali spesso cruciali per comprendere determinati fenomeni.

SO₄



N-NO₃



pH

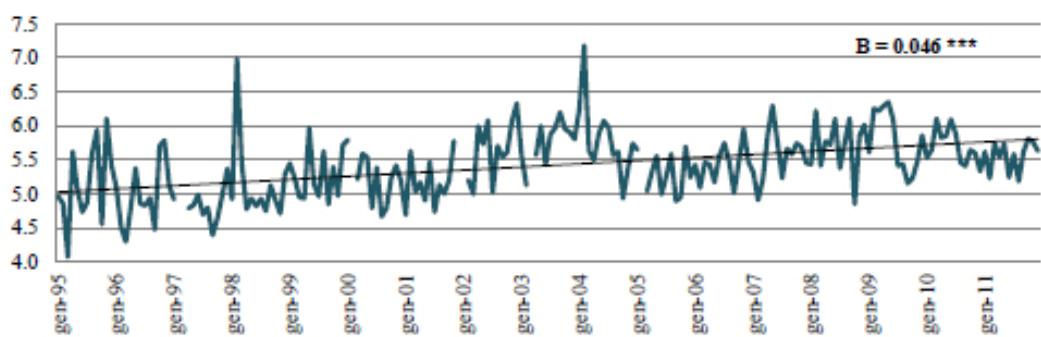


Fig. 2 - Trend dei carichi di deposizione di SO₄, N-NO₃ e del pH in campo aperto, dal 1995 al 2011

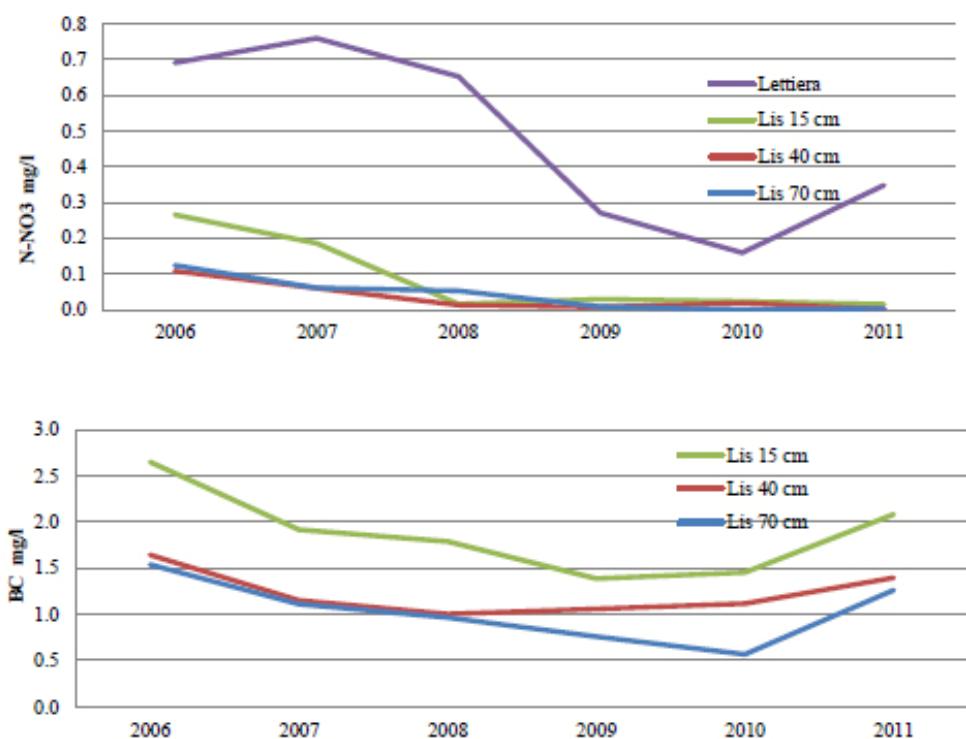


Fig. 3 - Concentrazioni medie annuali (mg/l) dei nitrati e dei cationi basici nella lettiera e nei lisimetri

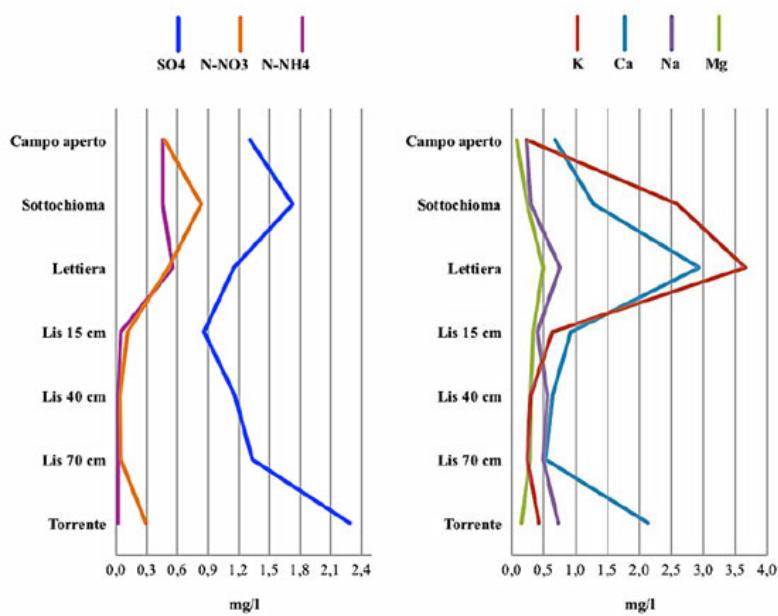


Fig. 4 - Concentrazioni medie di alcune specie chimiche misurate nei diversi comparti ambientali

Divulgazione e formazione

Il sito è interessato da percorsi di formazione scolastica ed educazione ambientale svolti nell'ambito della foresta regionale “Val Masino”, nonché dalle iniziative di aggiornamento tecnico per professionisti e funzionari pubblici.

Tali attività sono state previste dal “Contratto di Foresta Val Masino” un accordo territoriale tra i diversi soggetti della valle per valorizzare le risorse locali, ed in particolare i risultati delle ricerche in atto essendo l’area interessata non solo dal sito CONECOFOR, ma anche dalla Riserva Forestale e da un vicino martellodromo.

Prospettive future

La rilevanza scientifica del sito, integrato nella rete L-TER, è certamente confermata dalle previsioni dell’Ente gestore, tuttavia la difficoltà a reperire risorse per garantire la continuità annuale delle indagini, garanzia del successo e della validità di molti processi monitorati, costituisce la prima e principale criticità.

Più nello specifico è certamente necessario prevedere una manutenzione ed aggiornamento della strumentazione anche attrezzando il sito con sensori più moderni e capaci di inviare i dati da remoto in via automatica.

Altresì è necessario valorizzare in modo più frequente i dati oggetto di monitoraggio, anche integrando le indagini con le attività che a scala regionale vengono svolte da ARPA Lombardia, in modo da riconoscere valore pubblico alle attività in essere.

Allo stesso modo i dati dovrebbero essere meglio utilizzati anche per il settore forestale nell’ambito del Rapporto annuale sullo Stato delle Foreste.

Abstract

Secondary *Picea abies* dominated forest with *Abies alba* Mill. ↗ *Vaccinium myrtillus* L. Belonging since 1995 to CONECOFOR Programme included in the ICP Forest European network. This site is located in the Central Alps and it’s grouped with FRI2; TRE1; BOL1.

In the site are carried out studies on climate, vegetation, crown conditions, tree phenology, soil and soil solutions, leaves chemistry, forest structure, tree growth, atmospheric depositions, ozone effects, biodiversity.

Renon BOL1

Autori

Stefano Minerbi¹

Affiliatione

¹ Forest Departement of South Tyrol, Bozen, Italy.

Sigla: IT02-002-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/5d32cbf8-ab7c-4acb-b29f-600fec830a1d>

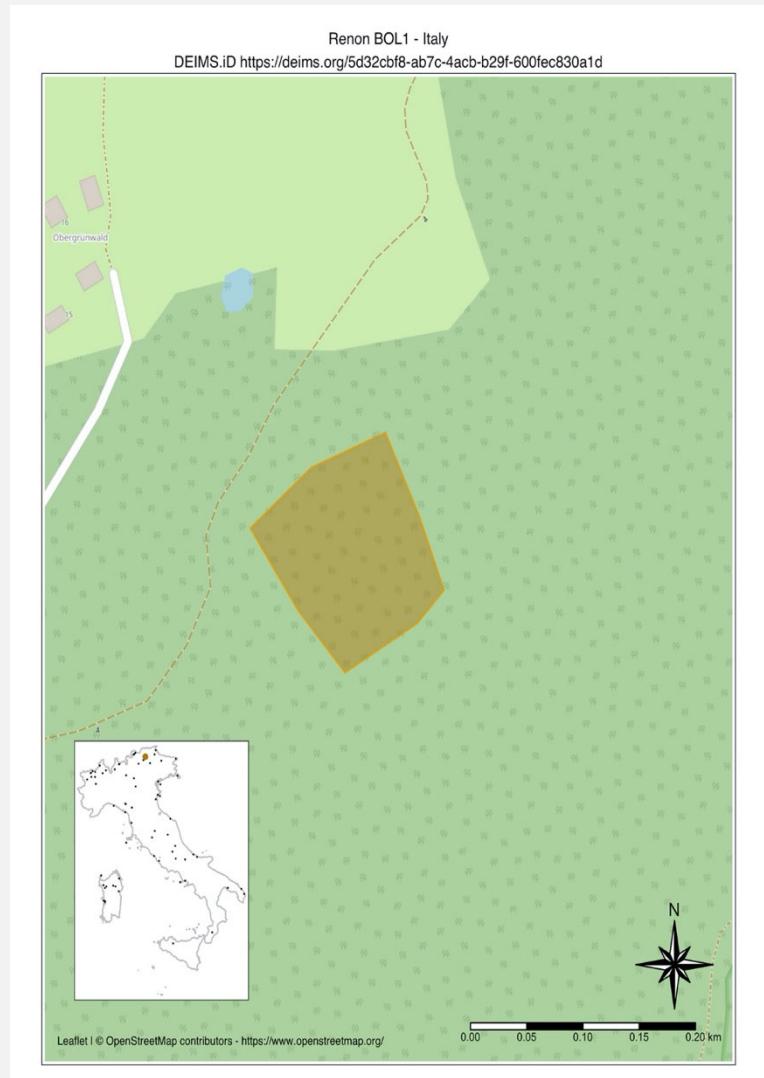
Responsabile sito: Stefano Minerbi.

Area geografica: Renon – Selva Verde (BZ);

lat. 46.5869;

long. 11.4337;

alt. 1735 m s.l.m.



Descrizione del sito e delle sue finalità

Sull'area di saggio permanente di Renon-Selva Verde (1.730 m.s.l.m.) sono stati rilevati nel periodo 1992-2010 nell'ambito dell'“International Cooperative Programme on Integrated Monitoring (ICP-IM)” numerosi parametri fisici, chimici, biometrici con specifico riguardo alla bioindicazione.

In particolare:

Meteorologia, Chimica Precipitazioni, Chimica Aria, Chimica Organi Fogliari, Chimica Suolo, Chimica acqua nel Suolo, Chimica Acqua di Chioma, Stem-Flow, Rilievo Stato delle Chiome, Microbiologia del Suolo ed Enzimatica, Vegetazione, Flora Lichenica, Parametri del Suolo, Dendrocronologia, Macromiceti, Meso – e Macrofauna, Vertebrati, Ectomicorizze e Sistema radicale fine, censimenti faunistici e floristici (biodiversità).

Risultanze e pubblicazioni sono scaricabili dai siti:

- <http://www.provincia.bz.it/agricoltura-foreste/bosco-legno-malgre/difesa-boschiva/pubblicazioni.asp>
- https://data.lter-europe.net/deims/site/lter_eu_it_029

Nel 2010, causa le note restrizioni burocratiche e finanziarie a carico della pubblica amministrazione, l'attività di *long term monitoring* è stata sospesa.



Fig. 5 - Eddy covariance sensors

strategico per le nazioni dal punto di vista geo-politico ed economico.

A Renon-Selva Verde vengono misurati per questo scopo fin dal 1996 i flussi di biossido di carbonio, vapore acqueo ed energia tra atmosfera ed ecosistema foresta secondo la tecnica della correlazione turbolenta (*eddy covariance* – Fig. 5); in pratica “il respiro del bosco”.

Assieme ad altri 800 siti della rete mondiale, Renon-Selva Verde è partner della rete mondiale FLUXNET (Integrating Worldwide CO₂, Water and Energy Flux Measurements).

I dati di misura afferiscono quindi alle principali banche dati mondiali nell'ambito di programmi di ricerca su clima, effetto serra, impatti ambientali (Helsinki, Max Planck Institute – Jena, Carbon Portal – Lund University Sweden, Università della Tuscia – Viterbo, California-Berkeley, NASA).

Nel 2018 i dati di Renon-Selva Verde sono stati scaricati da centri di ricerca di tutto il mondo ben 481 volte, oltre la metà da università della Repubblica Popolare Cinese ed inoltre utilizzati per numerosi studi sinottici pubblicati su riviste scientifiche internazionali.

La quantità di carbonio fissata durevolmente (STOCK) come biomassa nella pecceta di Renon-Selva Verde ammonta a 250 tC/ha (tonnellate di carbonio per ettaro), di cui 170 tC/ha nel suolo e 80 tC/ha nel soprassuolo.

Attualmente l'attività di ricerca scientifica si limita alla gestione con “personale in proprio” della stazione di misura di CO₂ secondo i protocolli del programma europeo “Integrated Carbon Observation System (ICOS)”.

Più di qualsiasi altro ecosistema terrestre il bosco funge da “serbatoio durevole di carbonio”: con la fotosintesi esso sottrae biossido di carbonio (CO₂) all’atmosfera per accumularlo sottoforma di “biomassa” nel popolamento (legno), ma soprattutto nel suolo.

In virtù di questa antica funzione di contrasto all’incremento del principale gas serra e quindi di mitigazione dei cambiamenti climatici, gli ecosistemi forestali del pianeta assurgono oggi a significativo elemento di interesse scientifico e

L'assorbimento medio annuo di carbonio (SINK), è di 3 tC/ha*y, ovvero 11 t CO₂/ha*y (CO₂ sottratto all'atmosfera per ettaro ed anno), pari alle emissioni annue di 7 automobili di media cilindrata.

Mentre la biomassa del soprassuolo soggiace a repentine variazioni in conseguenza di utilizzazioni boschive ovvero di eventi parassitari e climatici, nel suolo essa rimane relativamente costante nel corso dei decenni, sia come sostanza organica morta, sia come ricchezza di pedofauna e flora.

La tutela dei suoli, e del suolo forestale in particolare, in quanto serbatoio di acqua e sostanze nutritive necessarie all'ecosistema foresta, nonché importante serbatoio di CO₂ ai fini della salvaguardia climatica, rappresenta dunque primario per il prossimo futuro: sfida per la selvicoltura, responsabilità per i decisori politici.

Nonostante le fluttuazioni dovute all'andamento stagionale annuo, il 2018 conferma per la pecceta subalpina di Renon il trend in crescita della temperatura media annua (+1,2°C in quasi 30 anni).

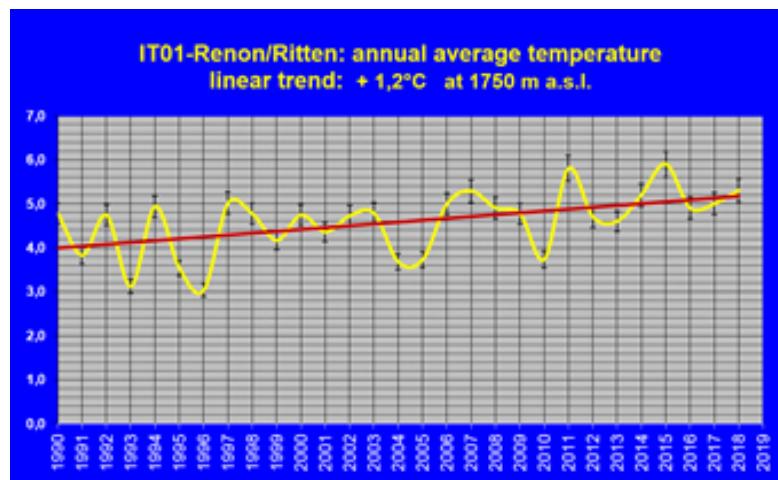


Fig. 6 - Pecceta subalpina di Renon: trend in crescita della temperatura media annua (+1,2°C in quasi 30 anni)

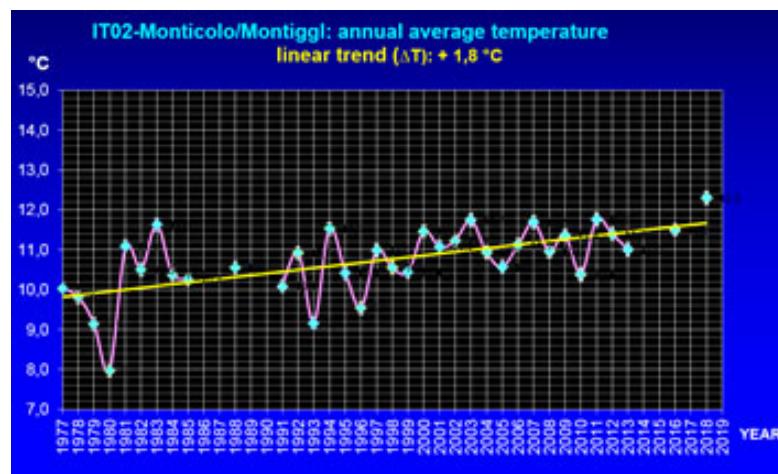


Fig. 7 - Incremento di temperatura confermato con +1,8°C in oltre 40 anni anche dell'analogo sito di monitoraggio integrale nel querceto termofilo ("Quercetum pubescens") di Monticolo (600 m.s.l.m.) a sud di Bolzano

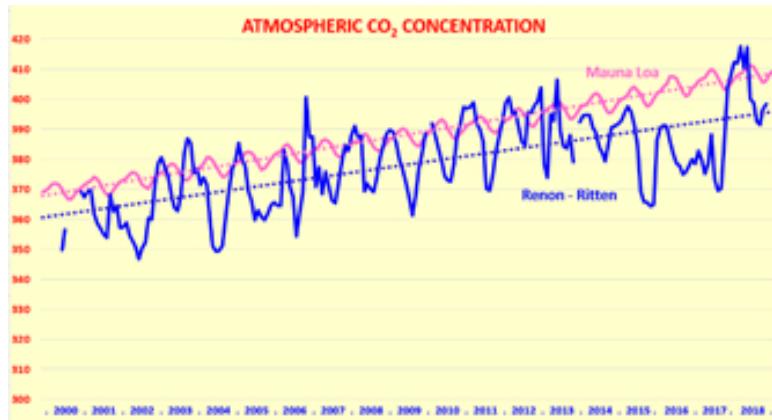


Fig. 8 - Medesimo trend manifesta la concentrazione di CO₂ atmosferica che, come la stazione di riferimento di Mauna Loa alle Hawaii, ha ormai abbondantemente superato il valore soglia di 400 ppm

Ridurre le emissioni di gas serra per contenere l'aumento medio della temperatura mondiale al di sotto di 2°C (1,5°C!) rispetto ai livelli preindustriali come auspicato dall'accordo di Parigi 2015 sul clima (COP21), appare una “missione impossibile” se consideriamo che le sole emissioni mondiali di CO₂ secondo il Report del Global Carbon Budget 2018 hanno ormai superato i 36 miliardi di tonnellate (36Gt). In media 4,8 tCO₂ per abitante del pianeta: USA 16,2, Cina 7,0, EU28 7,0, India 1,8, tutte assieme responsabili del 60% delle emissioni globali.

È ormai troppo tardi per arrestare i cambiamenti climatici, pure nella improbabile prospettiva di dimezzare le emissioni di gas serra: è comunque già stato superato il “punto di non ritorno”!

Possiamo solo sperare di trovare soluzioni per mitigarne gli effetti.

Risultati

Risultanze e pubblicazioni sono scaricabili dai siti:

- <http://www.provincia.bz.it/agricoltura-foreste/bosco-legno-malghe/difesa-boschiva/pubblicazioni.asp>
- https://data.lter-europe.net/deims/site/lter_eu_it_029

Prospettive future

Per i prossimi anni si prevede oltre alla manutenzione dell'area (recinzione, linee di alimentazione e telefonica, controllo remoto, aggiornamento e manutenzione di strumentazione, hardware e software, etc.) l'attivazione della fibra ottica per migliorare l'accesso e la trasmissione dei dati in upload ai portali di raccolta (vedi ICOS).

Come sito di 2° livello proseguirà il monitoraggio secondo i protocolli ICOS delle seguenti variabili:

- CO₂, H₂O and sensible heat fluxes (eddy covariance)
- CO₂ vertical profile
- LW_in, LW_out, SW_in, SW_out, Net_SW, Net_LW, Canopy temperature
- PAR/PPFD incident
- PAR/PPFD reflected
- Soil Heat flux
- Temperature and Rh profile
- main meteo vars (Ta, Rh, Swin, precipitation)
- Rain precipitation
- Snow height
- Soil Water Content profile
- Soil Temperature profile
- Air Pressure

-
- Groundwater level
 - LAI
 - Above Ground Biomass
 - Soil carbon content
 - Leaf N content
 - C and N import/export by management

Abstract

Picea abies dominated forest, since 1995 included in the ICP Forest European network and in ICP IM network code 01. This site is located in the Central Alps and it's grouped with LOM1; TRE1; FRI2 and Valbona in a cluster of sites called Forest of the Alps. The Renon-Green Wood site is located in the municipality of Renon, at a distance of 12.2 km North-Northeast from the town of Bolzano. Eddy covariance measurements started in the year 1997. The site is placed on a porphyric plateau; the soil is classified as Haplic Podsol following F.A.O. The site vegetation, a subalpine coniferous forest, is of natural origin and is used for wood production. As a result of the traditional harvesting method, which consists of irregular cuttings of 50-80 cubic meters, overall the forest is unevenly aged, but with homogenous groups. The largest group present in the area is growing approximately since the year 1820, after Napoleon wars. The main forest species is spruce (*Picea abies* (L.) Karst., 85% in number) followed by cembran pine (*Pinus cembra* L., 12%) and larch (*Larix decidua* Mill., 3%). In the clearings, covering approximately 15% of the area, the dominant grass species is *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. The canopy is irregular, with maximal height of 29 m. The mean leaf area index (LAI), measured by hemispherical photographs, is 5.1 m² m⁻². The climate is strongly influenced by elevation, with cool summer and moderately cold winter. Annual average temperature 4,6°C, average annual precipitation amount 903 mm. An increase of the annual average temperature by 1,2°C was observed during the period 1990-2018.

Passo Lavazè TRE1

Autori

Mauro Confalonieri¹, Cristina Salvadori², Elena Gottardini³, Nicola La Porta³

Affiliazione

¹ Provincia autonoma di Trento – Servizio Foreste e fauna, Trento.

² Fondazione E. Mach – Centro Trasferimento Tecnologico, S. Michele a/Adige (TN).

³ Fondazione E. Mach – Centro Ricerca e Innovazione, S. Michele a/Adige (TN).

Sigla: IT02-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/2356671d-683c-436a-a959-f5b3b086ae5b>

Responsabile sito:

Mauro Confalonieri – Provincia autonoma di Trento – Servizio Foreste e fauna.

Area geografica

Comune amministrativo Varena – Provincia Autonoma di Trento, Proprietà Comune di Daiano. 1780 m s.l.m.

lat., long. UTM WGS84 046° 21' 37,78" N; 011° 29' 38,69" E



Descrizione del sito e delle sue finalità

L'area permanente TRE1 – Passo Lavazè era caratterizzata da una pecceta subalpina particolarmente interessante perché sensibile ai cambiamenti ambientali anche lievi, in quanto vicina ai limiti della vegetazione. Questa foresta ad alto fusto è prevalentemente caratterizzata da *Picea excelsa* L. e poco *Pinus cembra* L. ed è situata nei pressi del Passo Lavazè (circa 1800 m slm).



Fig. 9 - Area Passo Lavazè PRIMA di Vaia

condotte ricerche per comprendere le interazioni tra inquinamento atmosferico, cambiamenti climatici ed ecosistemi forestali. L'area è stata inclusa nel Progetto LIFE+ “FutMon” 2009-2010 e nel Progetto Europeo “EnvEurope” 2010-2013. Le attività e le altre ricerche in corso sono svolte in collaborazione con Fondazione E. Mach di S. Michele all'Adige (TN).

Altre ricerche: ICP Forests (CONECOFOR) – FUTMON – ICP IM: analisi meteorologiche, deposizioni atmosferiche, condizione delle chiome, analisi della vegetazione, fenologia degli alberi, struttura forestale, caratteristiche fisico-chimiche dei suoli (ogni 10 anni) e soluzioni circolanti, contenuto chimico delle foglie (ogni 2 anni), danni da ozono, accrescimenti.

Si tratta di una foresta disetanea di origine naturale, a rinnovazione naturale nei gaps prodotti dai tagli. Il sottobosco è per lo più costituito da *Vaccinium myrtillus* L., *Rhododendron ferrugineum* L., *Fragaria vesca* L., *Pyrola minor* L.. Sono disponibili Piani di Gestione dal 1950.

Istituita nel 1992 nella rete ICP Forests – ICP IM, entrata nella Rete CONECOFOR nel 1995 e poi nella rete LTER, vi si svolgono attività di monitoraggio forestale e ricerca.

La Provincia Autonoma di Trento ne cura alcune ricerche e la gestione. Nell'area vengono



Fig. 10 - DOPO “Vaia” del 29 ottobre 2018

Singole campagne faunistiche su: Aranei, Isopodi, Diplopodi, Chilopodi, Collemboli, Ortotteri, Eterotteri, Omotteri, Ditteri, Lepidotteri, Coleotteri, Micromammiferi, nonché licheni epifiti e legno morto.

Monitoraggio forestale continuo dal 1995 al 2018 con, da ultimo, dati minimi garantiti per clima (*in the plot – open field*), deposizioni atmosferiche, chiome, vegetazione, accrescimenti arborei, fenologia.

Progetto pilota ForestBIOTA, 2005: approfondimento su alcuni gruppi di insetti, licheni epifiti, vegetazione, tipologia forestale, paesaggio. Rilevamenti faunistici, macromiceti.

Progetto Ozono EFFORT, 2007-2011: Effetti dell’Ozono sulle foreste in Trentino.

Progetto LIFE MOTTLES, 2016-2020: Monitoraggio dei danni da Ozono per definire nuovi livelli critici per la protezione delle foreste in uno scenario di cambiamenti climatici.

Progetto LIFE13 SMART4Action, 2014-2018: Monitoraggio sostenibile e reportistica per informare consapevolmente sulla protezione della foresta e dell’ambiente. Monitoraggio delle chiome, accrescimenti, andamento nel tempo delle deposizioni atmosferiche, deposizione azotate.

Risultati

I rilievi sulle condizioni delle chiome sono stati eseguiti secondo i protocolli dell’ICP-IM dall’inclusione del sito nella rete Con.Eco.For. (1995) fino al 2018. Durante il periodo di indagine i valori medi dei parametri defoliazione e discolorazione, riferiti a un campione di trenta alberi, non hanno mai raggiunto livelli considerati dannosi per le piante. Il loro andamento è stato piuttosto costante, mantenendosi sempre sotto la soglia del 10%, a conferma del fatto che il bosco nel sito godeva di buona salute e relativa stabilità. Gli agenti di danno abiotici e biotici interessavano generalmente solo poche piante, senza provocare danni manifesti e apparendo spesso in relazione con l’andamento meteorologico.

Analogamente anche le indagini sugli accrescimenti, eseguite ogni anno fino al 2018 con cadenza quindicinale su un campione di piante all’interno del sito, hanno evidenziato un ritmo di crescita abbastanza stabile negli anni e piuttosto elevato (circa 0,2 cm/anno di accrescimento diametrico), soprattutto se rapportato all’altitudine del sito (1800 m s.l.m.).

La valutazione qualitativa e quantitativa di una serie di parametri chimico-fisici nelle precipitazioni raccolte settimanalmente, ha permesso di valutare i fenomeni di assorbimento e rilascio dei vari elementi tra le precipitazioni e la vegetazione, con raccolta dei campioni a cielo aperto, sotto chioma o lungo i tronchi. Evidenti erano le differenze di caratteristiche chimiche delle acque raccolte tra le varie tipologie di campioni.

Il pH delle precipitazioni a cielo aperto che arrivano al suolo ha un andamento piuttosto costante nel tempo con valori di pH variabili tra 4,3 e 6,6. Anche il contenuto delle due forme principali di azoto inorganico (nitriti – ammoniaca) mostra un andamento simile nel corso dell’anno, con valori maggiori nei periodi primaverili ed estivi (nitriti e ammoniaca circa 28 microEq/l) e valori notevolmente più bassi in inverno (nitriti 13 microEq/l – ammoniaca 8 microEq/l).

Il contenuto di cationi basici delle piogge (calcio e magnesio) mostra grandi oscillazioni annuali, da un minimo di 5 microEq/l a massimi di circa 90 microEq/l per il calcio e 30 per il magnesio.

Nell’ambito del progetto OzoneEFFORT (Gottardini *et al.* 2012), dati di esposizione all’ozono troposferico (AOT40) e di flussi stomatici (POD0) sono stati calcolati sulla base di misure di concentrazione di ozono effettuate nel periodo 1996-2009 con campionatori passivi presso l’area aperta di TRE1. I dati sono stati messi in relazione con stato di salute (defogliazione) ed accrescimento (incremento area basimetrica) delle piante ed altre variabili ambientali del sito di monitoraggio intensivo TRE1. Sebbene i valori di ozono siano risultati superiori ai livelli definiti per la protezione della vegetazione, non è emersa una relazione significativa tra questo inquinante e lo stato di salute ed accrescimento delle piante, che invece sono risultati essere in relazione con altri fattori quali la presenza di agenti di danno, lo stato nutrizionale e fattori stazionali (Ferretti *et al.* 2018).

In rilievi sulla vegetazione arborea ed arbustiva del Lavazè effettuati dal 2008 al 2011 applicando il metodo ICP Forests (https://www.icp-forests.org/pdf/manual/2016/ICP_Manual_2016_01_part08.pdf), non sono mai stati osservati sintomi fogliari specifici attribuibili all'ozono (Gottardini *et al.* 2018).

Nell'ambito del progetto MACROFUNGI sono state visitate e campionante a cadenza settimanale (esclusi i periodi di copertura nevosa), tre parcelle forestali situate a ca. 100 m di distanza reciproca a Passo Lavazè. Il periodo di campionamento va dal 1993 ininterrottamente fino al presente, per un periodo di 26 anni. Durante questo periodo sono stati raccolti oltre 17.000 campioni fungini appartenenti a 456 specie e 88 generi diversi. Tutti questi campioni, separati per parcella di appartenenza, sono stati 1) identificati morfologicamente; 2) contati come singoli corpi fruttiferi e 3) seccati a 40°C per poter ottenere il dato del peso secco della biomassa. Sono state rilevate significative variazioni annuali in relazione soprattutto ai fattori climatici, ma anche variazioni reciproche tra le specie saprofite con quelle micorrizziche. Inoltre durante il periodo considerato si è osservata una tendenza all'allungamento stagionale del periodo di produzione fungina, con precoci produzioni primaverili e, soprattutto, tardive produzioni autunnali. Alcune analisi dei dati sono riportati nelle pubblicazioni riportate in bibliografia (La Porta *et al.* 2002, 2003, 2005, 2008).

Prospettive future



Fig. 11 - L'area TRE1 di passo Lavazé devasta dall'uragano "Vaia" del 29 ottobre 2018

L'area TRE1 di passo Lavazé è stata completamente devasta dall'uragano "Vaia" del 29 ottobre 2018: nella sola area principale, degli oltre 100 abeti rossi di diametro medio intorno ai 45-50 cm, sono rimasti in piedi solamente uno o due soggetti.

Tutta la strumentazione esistente (Meteo in the plot, sensori del progetto Mottles, campionatori delle deposizioni, ecc.) è rimasta sepolta sotto un'enorme massa di tronchi e rami e ceppaie, assolutamente inaccessibile, presumibilmente distrutta.

Si tratta ora di valutare se, pur con un significativo bagaglio storico di dati, tale area è idonea per la prosecuzione delle ricerche, necessariamente di tipo diverso, lasciando la situazione ad una estremamente lenta evoluzione naturale. Peraltro, l'ente proprietario ha espressamente richiesto di prelevare il legname schiantato, per lui di valore significativo, e quindi bisognerà valutare, a seguito dell'utilizzazione, se l'area

si rivela ancora idonea alla ricerca e in quale forma, tenendo conto anche della forte valenza turistica sia invernale, sia estiva, dell'area limitrofa.

Abstract

The permanent area TRE1 – Passo Lavazè is characterised by a subalpine spruce wood which is particularly interesting because sensitive to even slight environmental changes, as it is close to the limits of the vegetation. This tall forest is mainly characterized by *Picea excelsa* L. and a little *Pinus cembra* L. and is located near the Lavazè Pass (about 1800 m asl).

It is an uneven-aged forest of natural origin, with natural regeneration in the gaps produced by the cuts. The undergrowth is mostly made up of *Vaccinium myrtillus* L., *Rhododendron ferrugineum* L., *Fragaria vesca* L., *Pyrola minor* L.. Management Plans are available since 1950.

Established in 1992 in the ICP Forests – ICP IM network, which joined the CONECOFOR network in 1995 and then in the LTER network, forest monitoring and research activities are carried out there. The Autonomous Province of Trento is responsible for some research and management. Research is carried out in the area to understand the interactions between atmospheric pollution, climate change and forest ecosystems. The area has been included in the LIFE+ Project “FutMon” 2009-2010 and in the European Project “EnvEurope” 2010-2013. The activities and other ongoing research are carried out in collaboration with Fondazione E. Mach di S. Michele all’Adige (TN).

Autori

Giancarlo Papitto¹, Claudia Cindolo¹

Affiliazioni

¹ Arma dei Carabinieri (CUFA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari SM - Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci n. 5, 00187 Roma, Italia

Sigla: IT02-004-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/5907d0b6-7b4d-4260-a669-4bc0f61d1696>

Responsabile sito: Ten. Col. Giancarlo Papitto

Area geografica

Rutte (Udine – Friuli Venezia Giulia)

Altitudine: 820 m s.l.m.

Esposizione: 10°NW

Coordinate geografiche: UTM-WGS84 46° 29' 22" N; 13° 35' 36" E.

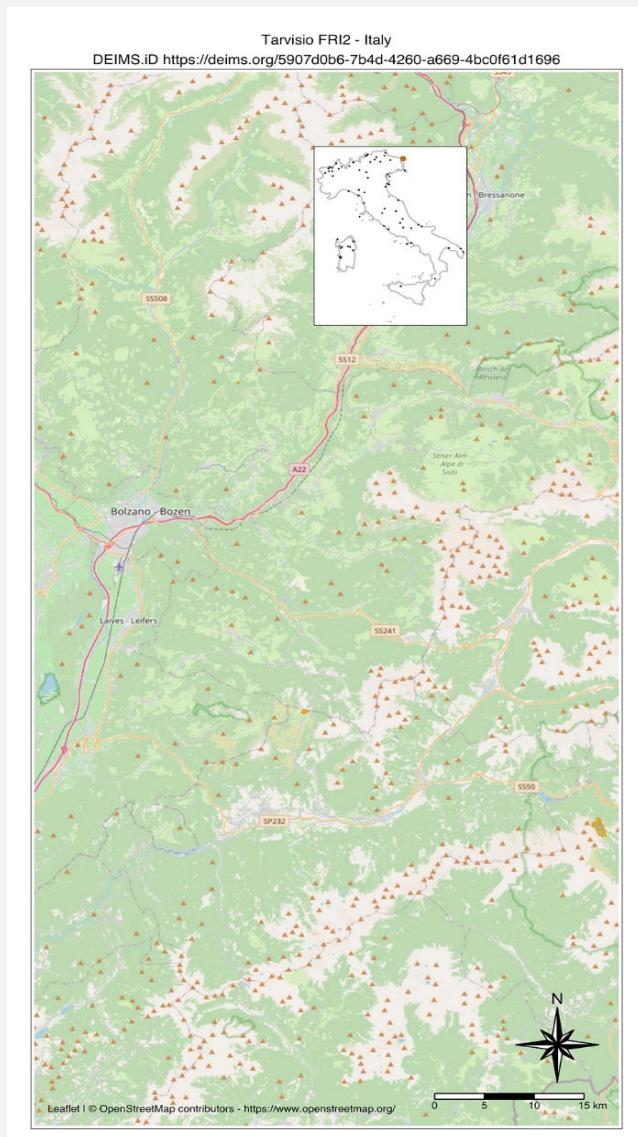
Temperatura media annua: 8°C

Precipitazione media annua: 1500mm

Substrato: rocce metamorfiche

Suolo: *Haplic luvisols*

Associazione vegetale: Pecceta montana



Descrizione del sito e delle sue finalità

Breve cenno storico

Il sito dal 1995 è un'area permanente di monitoraggio forestale della Rete nazionale di Livello II del CONECOFOR ed incluso nella Rete internazionale ICP Forest (<http://icp-forests.net/>). La rete CONECOFOR fino al 2016 è stata coordinata dal Corpo forestale dello Stato e, dal 2017 in applicazione del Decreto Lgs n. 177/2016 è passata sotto la competenza del Comando Unità Forestale, Ambientali ed Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri.



Fig. 12 - Strumentazione in campo presso il sito di Tarvisio. (Foto: Mar. Ord. Gino Gobbo – Raggruppamento Carabinieri Biodiversità – Reparto Biodiversità di Tarvisio)

evidenti nel suo aspetto paesaggistico. La Foresta è ricca di habitat naturali, la sua flora ospita pregevoli endemismi e la presenza di grandi predatori europei. Nei suoi boschi si trova il celebre abete rosso di risonanza, da cui si ricavano importanti strumenti musicali a corda.

Fino al 2013 vi si sono svolte molteplici attività di monitoraggio e ricerca finanziate da fondi nazionali ed europei. L'area è stata inclusa nei progetti LIFE "FutMon" dal 2009-2010 e nel Progetto LIFE "EnvEurope" 2010-2013 e Smart4Action 2013-2018. Purtroppo negli ultimi anni, la mancanza di fondi nazionali e finanziamenti internazionali hanno portato ad una drastica riduzione delle ricerche e ad una impossibilità di manutenzione della strumentazione attiva all'interno.

Il sito LTER FRI2 è stato interessato già nell'anno 2013 da un primo attacco di Bostrico tipografo (*Ips typographus*) in seguito al quale sono state eliminate alcune piante che erano in contatto con un focolaio ubicato esternamente all'area. Purtroppo il parassita ha continuato ad espandersi in tutto il versante, a causa anche delle alte temperature e dei fenomeni estremi distruttivi causati dai cambiamenti climatici. Nel giugno 2019 è stato effettuato un taglio sanitario che ha portato alla rimozione di tutto il soprassuolo arboreo. Attualmente nell'area si sta insediando una cospicua rinnovazione di Faggio (*Fagus sylvatica*) e Abete bianco (*Abies alba*) (fonte Mar. ord. Gino Gobbo – Reparto Biodiversità di Tarvisio).

Serie storica delle osservazioni (banca dati ICP Forest dal 1995)

I dati raccolti dal 1995 venivano inviati con formato standardizzato a livello europeo e validati, quindi immagazzinati nella banca dati europea di ICP Forest e, a validazione avvenuta, restituiti al National Focal Centre nazionale (ex CFS ora CUFAA Carabinieri).

Tipologia di dati raccolti (biotici, abiotici, fisici)

Nella tabella, le ricerche svolte nell'area e gli anni di riferimento delle serie storiche di dati.

Il plot di monitoraggio è costituito da un'area quadrata recintata di 50X50m più una parcella di controllo, entrambe selezionate in una zona più vasta con caratteristiche di omogeneità.

L'area è costituita da una pecceta montana (*Picea excelsa*) ad alto fusto posta nella Foresta Demaniale del Tarvisio. L'area attualmente gestita dal Reparto Carabinieri Biodiversità di Tarvisio è posta all'estremo lembo orientale dell'Italia, al confine con l'Austria e la Slovenia. La splendida Foresta di Tarvisio è stata teatro di vicende storiche e gestionali di epoche lontane, e più recenti, che hanno lasciato tracce

ATTIVITÀ	Chiome	Accrescimenti Arborei
ENTE-REFERENTE	CUFAA	CREA
RICERCHE	ATTIVA (dati 1996 – 2018)	ATTIVA (dati 1996 – 2014)
FREQUENZA CAMPIONAMENTO	annuale	ogni 5 anni

Per le metodologie di rilevamento, vengono applicati i protocolli di monitoraggio ICP Forests utilizzati per il monitoraggio forestale nelle aree CONECOFOR di II Livello.

Negli ultimi anni, nell'area FRI2, a causa della mancanza di fondi, molte delle ricerche sono state interrotte. Permangono le attività di valutazione dello stato delle chiome e degli accrescimenti arborei che forniscono informazioni su eventuali alterazioni della qualità dell'ambiente e sulle condizioni di crescita di quest'ultimo.

Tra gli Enti coinvolti nelle attività di ricerca del sito vanno ricordati: Arma dei Carabinieri (CUFAA), CNR; CREA; Università di Camerino; Università di Firenze; Terradata environmetrics.

Risultati

Nel monitoraggio forestale nelle aree CONECOFOR di II Livello vengono applicati i protocolli di monitoraggio ICP Forests che forniscono una valida base di dati per ulteriori e più approfondite analisi integrate dei dati raccolti.

Grazie al Progetto LIFE Smart4action (www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare/progetti-life) è stato possibile realizzare un Web GIS delle aree CONECOFOR di Livello I e II con la possibilità di scaricare i grafici e le serie storiche per ciascun punto o area <http://smart4action.ise.cnr.it/smart4action/>. Di seguito alcuni esempi di serie temporali per alcuni dei parametri rilevati nel sito FRI2.

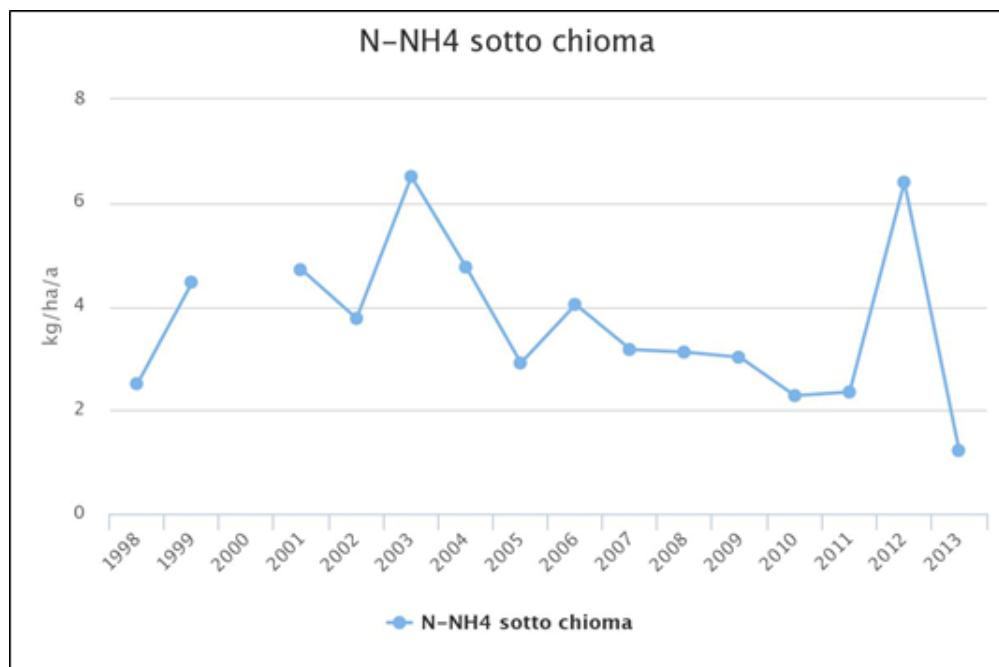


Fig. 13 - Andamento dello ione ammonio. Questo si forma dall'ammoniaca emessa dalle attività agricole e zootecniche. Può stimolare la crescita degli alberi, anche in modo eccessivo.
(Fonte A. Marchetto CNR, Pallanza)

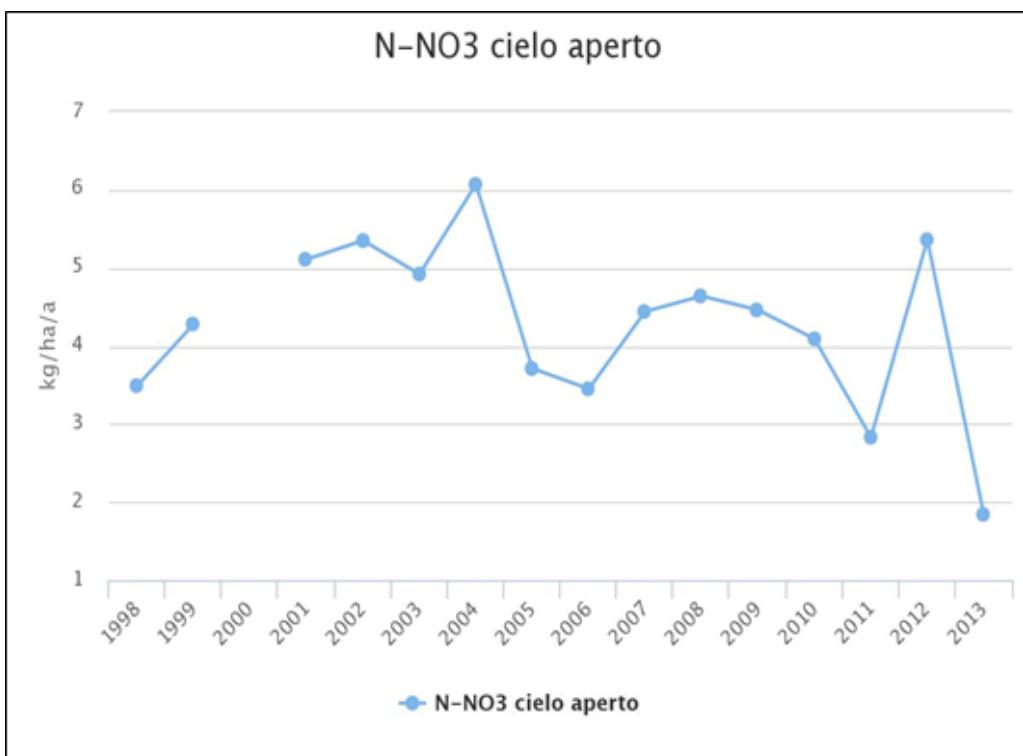


Fig. 14 - Andamento dello ione nitrato. Esso deriva dall'acido nitrico che si forma a partire dagli ossidi di azoto emessi durante le combustioni, urbane e industriali e dal traffico veicolare. Può causare acidificazione del suolo, e può stimolare la crescita degli alberi, anche in modo eccessivo. (Fonte A. Marchetto CNR, Pallanza)

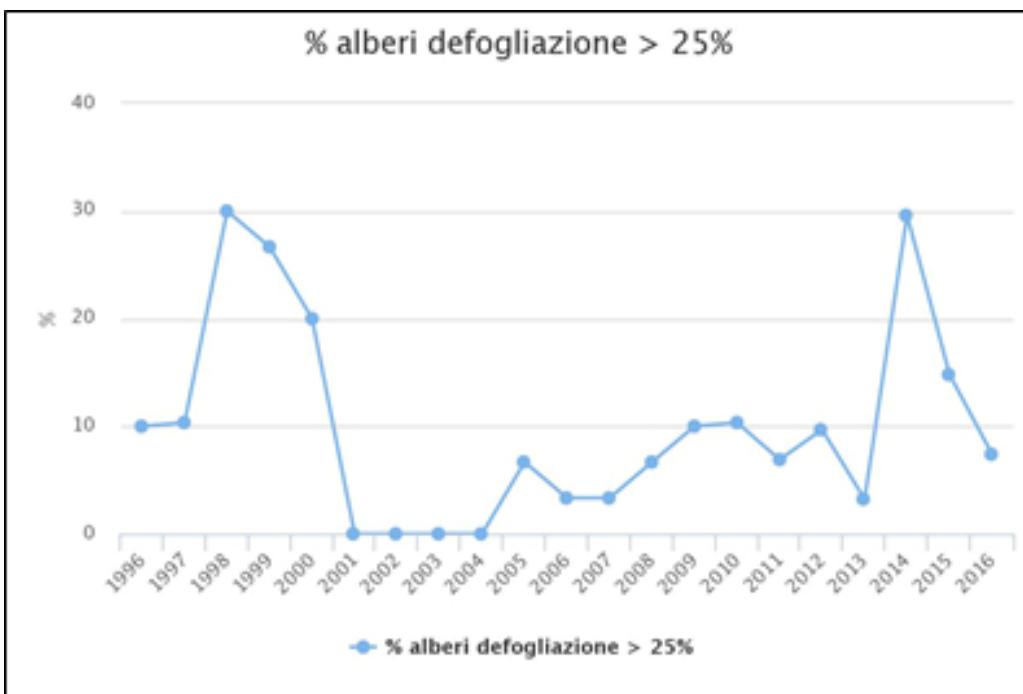


Fig. 15 - Andamento della percentuale di alberi con defogliazione superiore al 25%

Prospettive future

Il sito IT02-004-T Tarvisio (FRI2) sarà oggetto di azioni necessarie al ripristino della piena attività scientifica e di monitoraggio che vedrà anche l'organizzazione di eventi di divulgazione e coinvolgimento della cittadinanza. È in valutazione un nuovo progetto per l'ampliamento ed il miglioramento della rete NEC Italia per la valutazione degli impatti dell'inquinamento atmosferico sugli ecosistemi terrestri e acquatici in attuazione della Direttiva comunitaria National Emission Ceiling "NEC". In tale ottica si auspica di integrare e riattivare alcune delle ricerche attualmente sospese.

Abstract

The site since 1995 is a permanent forest monitoring area of the national Level II Network of CONECOFOR and included in the international ICP Forest Network (<http://icp-forests.net/>). The CONECOFOR network up to 2016 was coordinated by the State Forestry Corps and, from 2017 in application of Legislative Decree n. 177/2016 came under the jurisdiction of the Forestry, Environmental and Agri-food Unit Command of the Carabinieri Corps.

The monitoring plot consists of a fenced square area of 50X50m plus a control parcel, both selected in a larger area with homogeneity characteristics.

The area consists of a mountain spruce (*Picea excelsa*) with a tall stalk placed in the Tarvisio State Forest. The area currently managed by the Carabinieri Biodiversity Department of Tarvisio is located at the extreme eastern end of Italy, on the border with Austria and Slovenia. The splendid Tarvisio Forest has been the scene of historical and managerial events from far away, and more recent eras, which have left evident traces in its landscape aspect. The Forest is rich in natural habitats, its flora is home to valuable endemisms and the presence of large European predators. In its woods is the famous resonance spruce, from which important stringed musical instruments are obtained.

Until 2013, multiple monitoring and research activities were carried out, funded by national and European funds. The area was included in the LIFE "FutMon" projects from 2009-2010 and in the LIFE Project "EnvEurope" 2010-2013 and Smart4action 2013-2018. Since the last years, the lack of national funds and international funding have led to a drastic reduction in research and to the impossibility of maintenance of the active equipment inside.

Historical series of observations (ICP Forest database since 1995)

The data collected since 1995 were sent with standardized format at European level and then validated stored in the European database of ICP Forest and, once validated, returned to the national National Focal Center (formerly CFS now CUFAA Carabinieri).



Fig. 16 - Sottobosco del sito di Tarvisio. (Foto: Mar. Ord. Gino Gobbo – Raggruppamento Carabinieri Biodiversità – Reparto Biodiversità di Tarvisio)

Autori

Renzo Motta¹, Fabio Meloni¹

Affiliazione

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, e Alimentari (DISAFA) Università degli Studi di Torino, Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco, To.

Sigla: IT02-005-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/2b587e26-4550-4841-a032-ab3c93ced8a0>

Responsabile sito: Renzo Motta

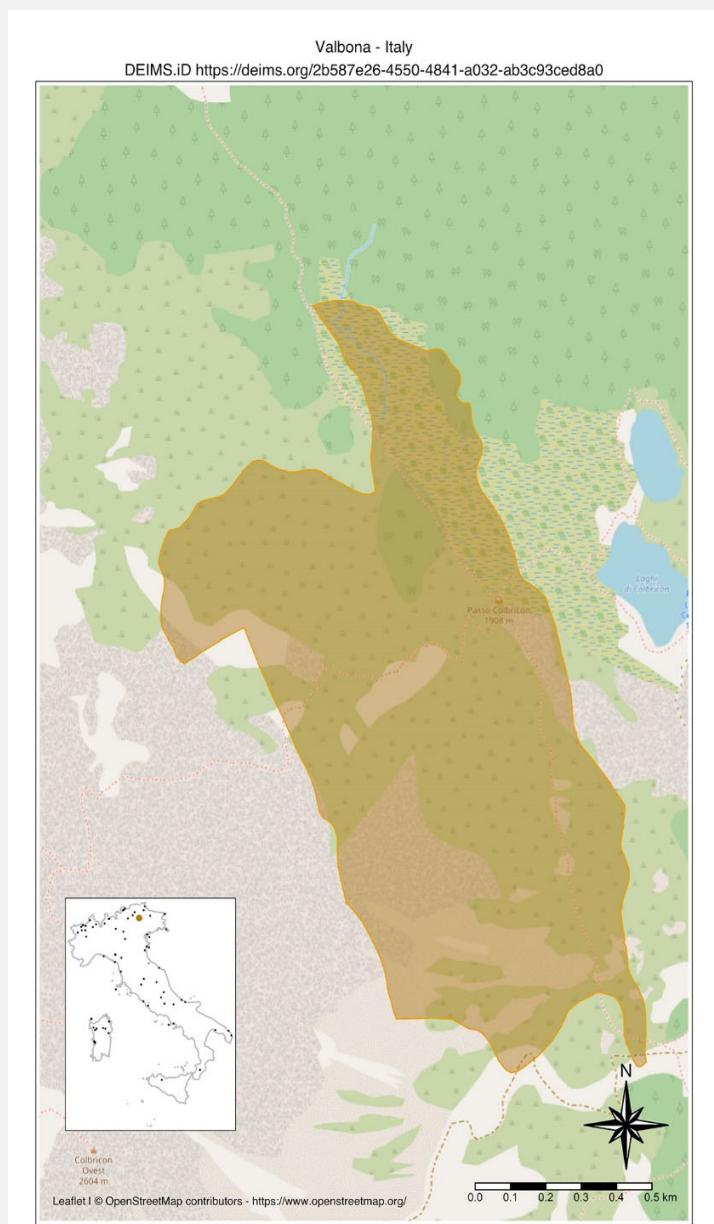
Area geografica

Lat. 46.2949

Lon. 11.7588

Comuni amministrativi: Siror e Predazzo (TN)

Proprietà: Prov. Aut. di Trento



Descrizione del sito e delle sue finalità

Tutta la riserva è inserita nel territorio del Parco naturale provinciale di Paneveggio Pale di S. Martino
Quota 1560-1880 m s.l.m. Precipitazione media annua: 1204 mm T. media annua: 4,5°C Tipo di suolo: Podzol.

Tipologia forestale pecceta subalpina alle quote inferiori, larici-cembreto e mugheta alle quote più elevate. Area della Riserva: 123 ha

Breve cenno storico

La Riserva della Valbona si trova nella Foresta Demaniale di Paneveggio. La foresta appartiene alla Provincia Autonoma di Trento ed è localizzata all'interno del Parco Naturale di Paneveggio-Pale di S. Martino. La foresta Demaniale di Paneveggio ha una superficie di 3491 ha ed è estesa tra 1400 m s.l.m. e 2700 m s.l.m. nel bacino del torrente Travignolo in Val di Fiemme. Le precipitazioni annuali variano tra 1207 mm a Paneveggio (1508 m s.l.m.), e 1316 mm a Passo Rolle (2002 m s.l.m.) e la temperatura media annua a Passo Rolle è di 2,4°C.

L'ecologia e la selvicoltura dell'abete rosso sono state studiate a Paneveggio già a partire dalla metà del 19° secolo. Più recentemente le ricerche sono state riprese negli anni '50 con una descrizione della

pedologia della foresta effettuata da Mancini (1959) e poi, a partire dal 1960, con una serie di indagini sullo stato della rinnovazione, sulla produzione di seme, sulle condizioni microambientali e con esperimenti rivolti a chiarire

il ruolo del substrato e della radiazione solare sulla nascita e la crescita dei semenzali da parte di Piussi. Quest'ultimo gruppo di indagini è proseguito senza interruzioni fino al giorno d'oggi. Per la Foresta di Paneveggio è inoltre disponibile una delle più lunghe serie di Piani di Assestamento forestale per



Fig. 17 - Foresta Demaniale di Paneveggio con sullo sfondo il gruppo delle pale di S. Martino

le Alpi italiane: il primo piano di Assestamento forestale è stato infatti redatto nel 1847 (anche se il primo attualmente disponibile è del 1874) ma documenti relativi alle modalità di gestione forestale praticate a Paneveggio sono già disponibili per l'inizio del 19° secolo.

Serie storica delle osservazioni

Proprio al fine di valorizzare la lunga tradizione dei ricerca, in occasione della revisione del Piano d'Assestamento della Foresta di Paneveggio avvenuta nel 1990 è stata istituita una Riserva Forestale nella valle del torrente Valbona (Dellagiacoma *et al.* 1996). La riserva ha una superficie di 123 ha ed è estesa tra i 1560 m s.l.m. ed i 1880 m s.l.m. Di questa Riserva circa il 65% (73,7 ha) è stato destinato a Riserva Integrale, con l'esclusione di qualsiasi intervento selviculturale ed il monitoraggio dell'evoluzione naturale dei popolamenti forestali, mentre la restante parte è stata destinata a Riserva speciale per la ricerca ecologico-selviculturale. All'interno della Riserva Integrale, ed in parte al suo esterno, sono state definite

6 aree di monitoraggio per lo studio delle dinamiche forestali passate, dell'influenza antropica sulle attuali strutture e di monitoraggio intensivo della dinamica forestale. All'interno della Riserva la vegetazione forestale è costituita da peccete pure (*Picea abies* (L.) Karst.) con sporadica presenza di altre specie fino a circa 1900 m s.l.m. descritte come *Homogyno-Piceetum subalpinum myrtilletosum*. Al di sopra dei 1900 m l'abete rosso è più frequentemente accompagnato da larice (*Larix decidua* Mill.) e pino cembro (*Pinus cembra* L.) fino a formare popolamenti misti ascrivibili all'associazione *Calamagrostio villosae-Pinetum cembrae piceetosum*. In questi settori altitudinali sono presenti anche alcuni popolamenti di pino mugo (*Pinus mugo* Turra) in purezza o con sporadica presenza di larice.

Tipologia di dati raccolti (biotici, abiotici, fisici)

La produzione quantitativa di seme di abete rosso viene monitorata annualmente con trappole disposte in 32 siti in tre settori altitudinali all'interno della Foresta. Il monitoraggio della produzione di seme (quantità, qualità e grado di germinazione) è iniziato nel 1962 e rappresenta la più lunga serie di dati quantitativi attualmente disponibile al mondo. L'impatto degli ungulati selvatici sulla rinnovazione forestale (1995-2005) è monitorato nell'intero Parco Naturale Paneveggio-Pale di S. Martino mediante 225 punti di campionamento permanenti. Il Parco effettua ricerche e censimenti faunistici sulle specie ungulate e ricerche sui tetraonidi (ed in particolare sul gallo cedrone). Nella Riserva sono presenti 7 aree di monitoraggio intensivo (ciascuna di circa 1 ha di superficie) gli alberi con diametro maggiore di 7.5 cm a 130 cm di altezza sono mappati (oltre 3000 individui) e sono realizzati inventari periodici (1994; 2004, 2015). Sono effettuate misure di incremento, natalità, mortalità, variazioni strutturali (altezza, proiezione delle chiome), legno morto (tipo, quantità e grado di decomposizione), rinnovazione (numero di individui, vitalità, presenza di danni).

Il sito è di proprietà della Provincia Autonoma di Trento ed è gestito dall'Agenzia per le foreste demaniali (<http://www.forestedemaniali.provincia.tn.it>). Attualmente le attività di ricerca su seme di abete rosso ed aree permanenti sono coordinate dal Dipartimento DISAFA dell'Università degli studi di Torino. Gli studi sull'impatto degli ungulati selvatici sulla rinnovazione forestale e sull'habitat del gallo cedrone sono svolti sempre Dipartimento DISAFA dell'Università degli studi di Torino per conto del Parco naturale di Paneveggio-Pale di S. Martino (<https://www.parcopan.org>). Le principali collaborazioni di ricerca attualmente in atto sono le seguenti: Università di Milano (seme, clima, modellizzazione), Università di Pavia (dendrocronologia), Università di Liverpool (seme, dendrocronologia)

Risultati

Le ricerche effettuate nella Riserva hanno permesso di raccogliere importanti dati su dinamica forestale delle peccete e dei larici cembreti, rinaturalizzazione delle foreste sottratte alla gestione ordinaria, ecologia dell'abete rosso, ruolo dei disturbi naturali, impatto degli ungulati sulla rinnovazione forestale, competizione all'interno di popolamenti monospecifici, indicatori di naturalità (licheni).

Divulgazione

Nella foresta di Paneveggio vengono svolte annualmente diverse attività di divulgazione sia da parte della Agenzia delle foreste demaniali e sia da parte del Parco naturale di Paneveggio - Pale di San Martino (<https://www.parcopan.org/le-attivita/didattica-ed-educazione-ambientale/proposte-didattiche-e-di-soggiorno-per-le-scuole/>; <https://www.parcopan.org/vivere-il-parco/eventi-ed-iniziative/>). La foresta è stata attraversata nel 2016 dal cammino LTER: Il racconto del viaggio del legno dalle foreste alla laguna (<http://www.lteritalia.it/cammini2016/terramare3>).

Prospettive future

Negli ultimi 5 anni l'area è stata interessata da diversi disturbi naturali di cui il più intenso è stata la tempesta Vaia nell'autunno 2018. Già a partire dal 2015 alcune linee di monitoraggio di lungo periodo (produzione strobili) sono state abbandonate perché gli alberi oggetto di studio sono stati schiantati dal vento. La tempesta Vaia ha avuto un impatto rilevante su tutta la superficie del Parco: nel 2019 è previsto il monitoraggio dei danni provocati dagli ungulati selvatici ma sarà necessario verificare le condizioni e l'accessibilità delle 223 aree di controllo. La tempesta Vaia ha avuto un impatto rilevante anche nella foresta di Paneveggio (Fig. 3 e Fig. 4) provocando decine di ettari di schianti da vento. Anche in questo caso non tutte le aree di studio sono state al momento controllate (siti di raccolta seme ed aree permanenti). La tempesta ha avuto un impatto limitato all'interno della Riserva forestale dove si

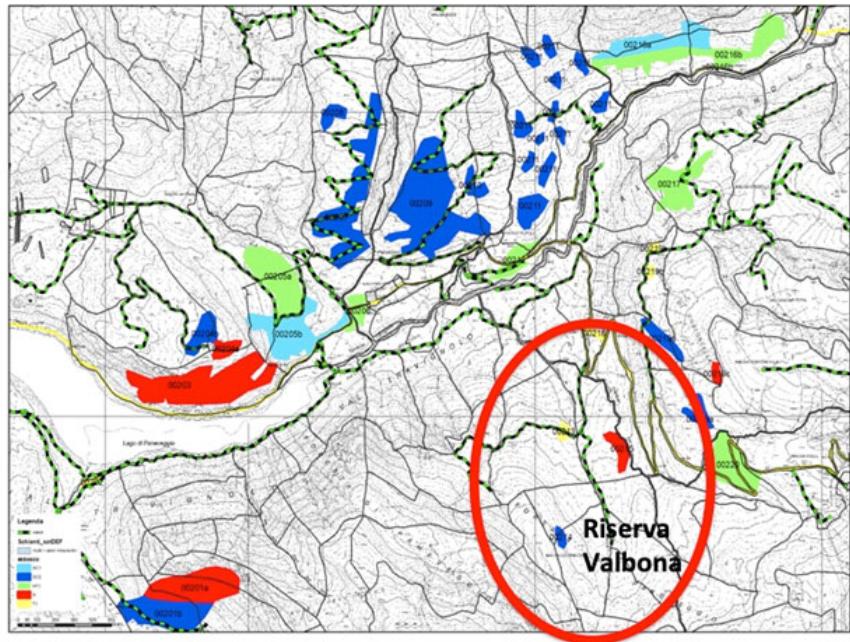


Fig. 18 - Aree interessate dagli schianti da vento nella foresta di Paneveggio: La zonda della Riserva è interessa marginalmente da schianti estesi su tutto il popolamento forestale ma presenta molti schianti diffusi il cui impatto all'interno delle aree di monitoraggio permanente non è ancora stato quantificato, (mappa fornita dall'Agenzia delle Foreste demaniali della PAT)



Fig. 19 - Aree interessate da schianti da vento della tempesta Vaia nella foresta di Paneveggio

sono osservati degli schianti sporadici all'interno dei popolamenti forestali. Nell'estate 2019 occorrerà verificare la situazione all'interno di tutte le aree permanenti. Con l'occasione di Vaia si prevede però di insediare una nuova area di studio sulle dinamiche naturali di decomposizione del legno morto, insediamento della rinnovazione nelle aree schiantate. È in corso una verifica complessiva della situazione con l'Agenzia delle foreste demaniali della PAT e con il Parco di Paneveggio-Pale di S. Martino.

Abstract

The Valbona forest reserve joined the LTER Italian network in 2006. In 1962 the field monitoring of Norway spruce seed production was established. In 1994 began the inventory of ungulate damages on forest regeneration and the establishment of permanent plots in the forests inside and near the Forest Reserve. Up today six long-term 1 ha ecological permanent plots have been established. The first step of the research was carried out using biological (tree rings) and historical archives and using GIS and remote sensing. The simultaneous analysis of multiple lines of evidence permitted speculation about the origin of stands and allowed us to identify the major disturbances undergone by each stand. The results supported the recognition of the importance of land-use history and its legacies: the presence of human activity necessitates intensive investigations of the multiple lines of evidence provided by written records and biological archives. The results confirmed also that long-term ecological research is particularly valuable for understanding dynamics over long time periods and placing these dynamics in a regional context. Besides these plots are a valuable support for research towards effective sustainable management of mountain forests and natural resources.

Sitografia

<http://icp-forests.net/>

<http://smart4action.ise.cnr.it/smart4action/>

<http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare/progetti-life>

[http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare/utcb-e-le-130-riserve-naturali/utcb-di-tarvisio/foresta-di-tarvisio-\(cucco-e-rio-bianco\)](http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutela-forestale-ambientale-e-agroalimentare/utcb-e-le-130-riserve-naturali/utcb-di-tarvisio/foresta-di-tarvisio-(cucco-e-rio-bianco))

<http://www.lteritalia.it/>

<http://www.ersaf.lombardia.it/>

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

Ascoli D., Maringer J., Hacket-Pain A., Conedera M., Drobyshev I., Motta R., Cirolli M., Kantorowicz W., Zang C., Schueler S., Croisé L., Piussi P., Berretti R., Palaghianu C., Westergren M., Lageard J.G.A., Burkart A., Gehrig Bichsel R., Thomas P.A., Beudert B., Övergaard R., Vacchiano G. (2017). Two centuries of mastинг data for European beech and Norway spruce across the European continent. *Ecology*, n/a-n/a.

Aubinet M., Feigenwinter Ch., Bernhofer Ch., Canepa E., Lindroth A., Montagnani L., Rebmann C., Sedlak P. and Van Gorsel E. (2010). Direct advection measurements do not help to solve the nighttime CO₂ closure problem: Evidence from three different forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. DOI: 10.1016/j.agrformet.2010.01.016.

Bagnara M., Sottocornola M., Cescatti A., Minerbi S., Montagnani L., Gianelle D., Magnani F. (2014). Bayesian optimization of a light use efficiency model for the estimation of daily gross primary productivity in a range of Italian forest ecosystems – Online publication complete: 8-OCT-2014, DOI: information: 10.1016/j.ecolmodel.2014.09.021.

Balestrini R., Delconte C.A., Buffagni A., Fumagalli A., Freppaz M., Buzzetti I., Calvo E. (2019). Dynamic of nitrose and dissolved organic carbon in an alpine forested catchment: atmospheric deposition and soil solution trends. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Luglié A., Campanaro A. (eds) Italian Long-Yerm Ecological research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation* 34, 2019. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30738>.

Balestrini R., Arese C., Freppaz M., Buffagni A. (2013). Catchment features controlling nitrogen dynamics in running waters above the tree line (central Italian Alps) *Hydrology and Earth System Sciences*, Volume 17, Issue 3, pp. 989-1001.

Balzarolo M., Anderson K., Nichol C., Rossini M., Vescovo L., Arriga N., Wohlfahrt G., Calvet J.-C., Carrara A., Cerasoli S., Cogliati S., Daumard F., Eklundh L., Elbers J.A., Evrendilek F., Handcock R.N., Kaduk J., Klumpp K., Longdoz B., ..., Martín M.P. (2011). Ground-Based Optical Measurements at European Flux Sites: A Review of Methods, Instruments and Current Controversies. *Sensors*, 11(8), 7954-7981. <https://doi.org/10.3390/s11087954>.

Bascietto M., De Cinti B., Matteucci G., Cescatti A. (2012). Biometric assessment of aboveground carbon pools and fluxes in three European forests by Randomized Branch Sampling. *Forest Ecology and Management* 267, 172-181.

-
- Bebi P., Seidl R., Motta R., Fuhr M., Firm D., Krumm F., Conedera M., Ginzler C., Wohlgemuth T., Kulakowski D. (2017). Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *Forest Ecology and Management* 388, 43-56.
- Carvalhais N., Forkel M., Khomik M., Bellarby J., Jung M., Migliavacca M., Mu M., Saatchi S., Santoro M., Thurner M., Weber U., Ahrens B., Beer C., Cescatti A., Randerson J.T. & Reichstein M. (2014). Global covariation of carbon turnover times with climate in terrestrial ecosystems. *Nature*, 514(7521), 213-217. <https://doi.org/10.1038/nature13731>.
- Cescatti A., Marcolla B., Vannan S.K.S., Pan J.Y., Román M.O., Yang X., ... & Schaaf C. B. (2012). Intercomparison of MODIS albedo retrievals and in situ measurements across the global FLUXNET network. *Remote Sensing of Environment* 121, 323-334.
- Chevallier F., Wang T., Ciais Ph., Maignan F., Bocquet M., Arain A., Cescatti A., Chen J., Dolman A., Law B., Margolis H., Montagnani L., Moors E. (2012). What eddy-covariance measurements tell us about prior land flux errors in CO₂-flux inversion schemes – Global Biogeochem. Cycles, 26, GB1021, DOI: 10.1029/2010GB003974.
- Collalti A., Perugini L., Santini M., Chiti T., Nole A., Matteucci G., Riccardo Valentini (2016). Validation of 3D-CMCC Forest Ecosystem Model (v.5.1) against eddy covariance data for 10 European forest sites – Geosci. Model Dev., 9, 1-26. DOI: 10.5194/gmd-9-1-2016.
- Cristofori A., Bacaro G., Confalonieri M., Cristofolini F., Frati L., Geri F., Gottardini E. et al. (2014). Estimating ozone risks Using forest monitoring Networks – results for Science, policy and society. *Annals of Forest Science (AFSC)*. INRA F 2014. ISSN 1286-4560.
- De Vos B., Cools N., Ilvesniemi H., Vesterdal L., Vanguelova E., Carnicelli S. (2015). Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey, *Geoderma*, 251-252, 33-46.
- Desai A.R., Wohlfahrt G., Zeeman M.J., Katata G., Eugster W., Montagnani L., Gianelle D., Mauder M., Schmid H.P. (2016). Montane ecosystem productivity responds more to global circulation patterns than climatic trends – *Environ. Res. Lett.* 11 024013, DOI: 10.1088/1748-9326/11/2/024013.
- Melaas E.K., Richardson A.D., Friedl M.A., Dragoni D., Gough C.M., Herbst M., Montagnani L., Moors E. (2013). Using FLUXNET data to improve models of springtime vegetation activity onset in forest ecosystems – *Agricultural and Forest Meteorology* 171-172 46-56.
- Feigenwinter C., Montagnani L. and Aubinet M. (2010). Plot-scale vertical and horizontal transport of CO₂ modified by a persistent slope wind system in and above an alpine forest. *Agricultural and Forest Meteorology*. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.05.009.
- Fernández-Martínez M., Vicca S., Janssens I.A., Ciais P., Obersteiner M., Bartrons M., Sardans J., Verger A., Canadell J.G., Chevallier F., Wang X., Bernhofer C., Curtis P.S., Gianelle D., Grünwald T., Heinesch B., Ibrom A., Knohl A., Laurila T., Law B.E., Limousin J.M., Longdoz B., Loustau D., Mammarella I., Matteucci G., Monson R.K., Montagnani L., Moors E.J., Munger J.W., Papale D., Piao S.L., Peñuelas J. (2017). Atmospheric deposition, CO₂, and change in the land carbon sink – *Scientific Reports* 7:9632, DOI: 10.1038/s41598-017-08755-8.
- Ferrara C., Marchi M., Fares S., Salvati L. (2017). Sampling strategies for high quality time-series of climatic variables in forest resource assessment. *iForest* 10, pp. 739-745.
- Ferretti M., Marchetto A., Arisci S., Bussotti F., Calderisi M., Carnicelli S., Cecchini G., Fabbio G., Bertini G., Matteucci G., De Cinti B., Salvati L., Pompei E. (2014). On the tracks of Nitrogen deposition effects on temperate forests at their southern European range – an observational study from Italy. *Global Change Biology* (20): 3423-3438.
- Ferretti M., Bacaro G., Brunialti G., Confalonieri M., Cristofolini F., Cristofori A., Frati L., Finco A., Gerosa G., Maccherini S., Gottardini E. (2018). Scarce evidence of ozone effect on recent health and

productivity of alpine forests: a case study in Trentino, N. Italy. Environmental Science And Pollution Research International, 25 (9): 8217-8232. DOI: 10.1007/s11356-018-1195-z handle: <http://hdl.handle.net/10449/40138>.

Fleischer K., Rebel K.T., van der Molen M.K., Erisman J.W., Wassen M.J., van Loon E.E., Montagnani L., Gough C.M., Herbst M., Janssens I.A., Gianelle D. and Dolman A.J. (2013). The contribution of nitrogen deposition to the photosynthetic capacity of forests – Global Biogeochemical Cycles, Vol. 27, 1-13, DOI: 10.1002/gbc.20026, 2013.

Franz D., Acosta M., Altimir N., Arriga N., Arrouays D., Aubinet M., Aurela M., Ayres E., López-Ballesteros A., Barbaste M., Berveiller D., Biraud S., Boukir H., Brown T., Brümmer C., Buchmann N., Burba G., Carrara A., Cescatti A., Ceschia E., Clement R., Cremonese E., Crill P., Darenova E., Dengel S., D'Odorico P., Gianluca F., Fleck S., Fratini G., Fuß R., Gielen B., Gogo S., Grace J., Graf A., Grelle A., Gross P., Grünwald T., Haapanala S., Hehn M., Heinesch B., Heiskanen J., Herbst M., Herschlein C., Hörtndl L., Hufkens K., Ibrom A., Jolivet C., Joly L., Jones M., Kiese R., Klemedtsson L., Kljun N., Klumpp K., Kolari P., Kolle O., Kowalski A., Kutsch W., Laurila T., De Ligne A., Linder S., Lindroth A., Lohila A., Longdoz B., Mammarella I., Manise T., Marañon-Jimenez S., Matteucci G., Mauder M., Meier P., Merbold L., Mereu S., Metzger S., Migliavacca M., Mölder M., Montagnani L., Moureaux C., Nelson D., Nemitz E., Nicolini G., Nilsson M., Op de Beeck M., Osborne B., Ottosson Löfvenius M., Pavelka M., Peichl M., Peltola O., Pihlatie M., Pitacco A., Pokorný R., Pumpanen J., Ratié C., Schrumpf M., Sedláček P., Serrano Ortiz P., Siebicke L., Šigut L., Silvennoinen H., Simioni G., Skiba U., Sonnentag O., Soudani K., Soulé P., Steinbrecher R., Tallec T., Thimonier A., Tuittila E., Tuovinen J., Vestin P., Vincent, C. Vincke, D. Vitale, P. Waldner, P. Weslien, L. Wingate, G. Wohlfahrt, M. Zahniser G., Vesala T. (2018). Towards long-term standardised carbon and greenhouse gas observations for monitoring Europe's terrestrial ecosystems: a review, International Agrophysics, 32, 439-455, DOI: 10.1515/intag-2017-0039.

Fu Z., Stoy P.C., Luod Y., Chen J., Sun J., Montagnani L., Wohlfahrt G., Rahman A.F., Rambal S., Bernhofer C., Wang J., Shirkey G., Niu S. (2017). Climate controls over the net carbon uptake period and amplitude of net ecosystem production in temperate and boreal ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.05.009>.

Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Ferretti M. (2018). In search for evidence: combining ad hoc survey, monitoring, and modeling to estimate the potential and actual impact of ground level ozone on forests in Trentino (Northern Italy). Environmental Science and Pollution Research International, 25 (9): 8206-8216. DOI: 10.1007/s11356-017-9998-x handle: <http://hdl.handle.net/10449/39095>.

Groenendijk M., Dolman A.J., Ammann C., Arneth A., Cescatti A., Dragoni D., Gash J.H.C., Gianelle D., Gioli B., Kiely G., Knöhl A., Law B.E., Lund M., Marcolla B., van der Molen M.K., Montagnani L., Moors E., Richardson A.D., Roupsard O., Verbeeck H. and G. Wohlfahrt (2011). Seasonal variation of photosynthetic model parameters and leaf area index from global Fluxnet eddy covariance data, J. Geophys. Res., 116, G04027. DOI: 10.1029/2011JG001742.

Hacket-Pain A., Ascoli D., Berretti R., Mencuccini M., Motta R., Nola P., Piussi P., Ruffinatto F., Vacchiano G. (2019). Temperature and masting control Norway spruce growth, but with high individual tree variability. Forest Ecology and Management 438, 142-150.

Hacket-Pain A.J., Ascoli D., Vacchiano G., Biondi F., Cavin L., Conedera M., Drobyshev I., Liñán I.D., Friend A.D., Grabner M., Hartl C., Kreyling J., Lebourgeois F., Levanič T., Menzel A., Maaten E., Maaten-Theunissen M., Muffler L., Motta R., Roibu C.-C., Popa I., Scharnweber T., Weigel R., Wilmking M., Zang C.S. (2018). Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species. Ecology Letters 21, 1833-1844.

Haeni M., Zweifel R., Eugster W., Gessler A., Zielis S., Bernhofer C., Carrara A., Grünwald T., Havráková K., Heinesch B., Herbst M., Ibrom A., Knöhl A., Lagergren F., Law B.E., Marek M., Matteucci G., McCaughey J.H., Minerbi S., Montagnani L., Moors E., Olejnik J., Pavelka M., Pilegaard

-
- K., Pita G., Rodrigues A., Sanz Sánchez M.J., Schelhaas M.-J., Urbaniak M., Valentini R., Varlagin A., Vesala T., Vincke C., Wu J., Buchmann N. (2017). Winter respiratory C losses provide explanatory power for net ecosystem productivity – J. Geophys. Res. Biogeosci., 122, 243-260. DOI: 10.1002/2016JG003455.
- Hansen K., Thimonier A., Clarke N., Staelens J., Žlindra D., Waldner P., Marchetto A. (2013). Atmospheric Deposition to Forest Ecosystems. In Marco Ferretti and Richard Fischer, editors: Developments in Environmental Science, Vol. 12, Amsterdam, The Netherlands, pp. 337-374. ISBN: 978-0-08-098222-9.
- Hao S., Li L., Eamus D., Huete A., Cleverly J., Tian X., Yu Q., Wang S., Montagnani L., Magliulo V., Rotenberg E., Pavelka M., Carrara A. (2017). Assessing the ability of MODIS EVI to estimate terrestrial ecosystem gross primary production of multiple land cover – Ecological Indicators 72, 153-164.
- ICOS eddy covariance flux-station site setup: a review, International Agrophysics 32, 471-494, DOI: 10.1515/intag-2017-0044.
- Jung M., Reichstein M., Ciais Ph., Seneviratne S.I., Sheffield J., Goulden M.L., Bonan G., Cescatti A., Chen J., de Jeu R., Dolman A.J., Eugster W., Gerten D., Gianelle D., Gobron N., Heinke J., Kimball J., Law B.E., Montagnani L., Mu Q., Mueller B., Oleson K., Papale D., Richardson A.D., Roupsard O., Running S., Tomelleri E., Viovy N., U. Weber, Williams C., Wood E., Zaehle S., Zhang K. (2010). A recent decline in the global land evapotranspiration trend due to limited moisture supply. Nature, 467, 951-954. DOI: 10.1038/nature09396.
- Jung M., Reichstein M., Margolis H., Cescatti A., Richardson A., Arain A., Arneth A., Bernhofer C., Bonal D., Chen J., Gianelle D., Gobron N., Kiely G., Kutsch W., Lasslop G., Law B., Lindroth A., Merbold L., Montagnani L., Moors E., Papale D., Sottocornola M., Vaccari F.P. and C. Williams (2011). Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations, J. Geophys. Res. 116, G00J07. DOI: 10.1029/2010JG001566.
- Kountouris P., Gerbig C., Totsche K.U., Dolman A.J., Meesters A. and G. Broquet (2015). An objective prior error quantification for regional atmospheric inverse applications – Biogeosciences Discuss., 12, 9393-9441, 2015. DOI: 10.5194/bgd-12-9393-2015.
- Kuppel S., Peylin P., Maignan F., Chevallier F., Kiely G., Montagnani L., Cescatti A. (2014). Model-data fusion across ecosystems: from multi-site optimizations to global simulations – Geosci. Model Dev. Discuss., 7, 2961-3011. DOI: 10.5194/gmdd-7-2961-2014.
- Leys B., Carcaillet C. (2016). Subalpine fires: the roles of vegetation, climate and, ultimately, land uses. Climatic Change, 1-15.
- Leys B., Carcaillet C., Blarquez O., Lami A., Musazzi S., Trevisan R. (2014). Resistance of mixed subalpine forest to fire frequency changes: the ecological function of dwarf pine (*Pinus mugo* ssp *mugo*). Quaternary Science Reviews 90, 60-68.
- Lin H., Chen Y., Song Q., Fua P., Cleverly J., Magliulo V., Law B.E., Gough C.M., Hörtnagl L., Di Gennaro F., Matteucci G., Montagnani L., Duce P., Shao C., Kato T., Bonal D., Paul-Limoges E., Beringer J., Grace J., Fan Z. (2017). Quantifying deforestation and forest degradation with thermal response, Science of the Total Environment 607-608, 1286-1292. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.062>.
- Lorenz R., Davin E.L., Seneviratne S.I. (2012). Modeling land-climate coupling in Europe: Impact of land surface representation on climate variability and extremes – J. Geophys. Res., 117, D20109. DOI: 10.1029/2012JD017755.
- Mahecha M.D., Reichstein M., Carvalhais N., Lasslop G., Lange H., Seneviratne S.I., Vargas R., Ammann Ch., Arain A., Cescatti A., Janssens I.A., Migliavacca M., Montagnani L., Richardson A.D. (2010).

-
- Global convergence in the temperature sensitivity of respiration at ecosystem level. *Science*, 329 (5993) 838-840. DOI: 10.1126/science.1189587.
- Mahecha M.D., Reichstein M., Carvalhais N., Lasslop G., Lange H., Seneviratne S.I., Vargas R., Ammann Ch., Arain A., Cescatti A., Janssens I.A., Migliavacca M., Montagnani L., Richardson A.D. (2011). Response to Comment on “Global Convergence in the Temperature Sensitivity of Respiration at Ecosystem Level”, *Science*, 331, 1265-1266. DOI: 10.1126/science.1197033.
- Marchetto A., Rogora M., Arisci S. (2013). Trend analysis of atmospheric deposition data: A comparison of statistical approaches. *Atmospheric Environment* 64: 95-102.
- Marcolla B., Cobbe I., Minerbi S., Montagnani L., Cescatti A. (2014). Methods and uncertainties in the experimental assessment of horizontal advection – Agricultural and Forest Meteorology 198–199 (2014) 62-71.
- Margesin R., Minerbi S., Schinner F. (2014). Long-Term Monitoring of Soil Microbiological Activities in Two Forest Sites in South Tyrol in the Italian Alps – *Microbes Environ.* Vol. 29, No. 3, 277-285, 2014. DOI: 10.1264/jmse2.ME14050.
- Margesin R., Minerbi S., Schinner F. (2016). Litter decomposition at two forest sites in the Italian Alps: a field study – Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 48, No. 1, pp. 127-138. DOI: <http://dx.doi.org/10.1657/AAAR0015-012>.
- Masayuki K., Ichii K., Takagi H., Sasakawa M. (2015). Comparison of the data-driven top-down and bottom-up global terrestrial CO₂ exchanges: GOSAT CO₂ inversion and empirical eddy flux upscaling – *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 120, 1226-1245. DOI: 10.1002/2014JG002866.
- Migliavacca M., Reichstein M., Richardson A.D., Colombo R., Sutton M.A., Lasslop G., Tomelleri E., Wohlfahrt G., Carvalhais N., Cescatti A., Mahecha M.D., Montagnani L., Papale D., Zaehle S., Arain A., Arneth A., Black T.A., Carrara A., Dore S., Gianelle D., Helfter C., Hollinger D., Kutsch W.L., Lafleur P.-M., Nouvellon Y., Rebmann C., Humberto R., Rodeghiero M., Roupsard O., Sebastià M., Seufert G., Soussana J., Michiel K. (2011). Semiempirical modeling of abiotic and biotic factors controlling ecosystem respiration across eddy covariance sites. *Global Change Biology*, 17(1), 390-409.
- Moderow U., Bernhofer C., Aubinet M., Feigenwinter C., Kolle O., Lindroth A., Mölder M., Montagnani L., Rebmann C. (2009). Available energy and energy balance closure at four coniferous forest sites across Europe. *Theor. App. Clim.* DOI: 10.1007/s00704-009-0175-0.
- Montagnani L., Manca G., Canepa E., Georgieva E. (2010). Assessing the method-specific differences in quantification of CO₂ advection at three forest sites during the ADVEX campaign. *Agricultural and Forest Meteorology*. DOI: 10.1016/j.agrformet.2010.01.013.
- Montagnani L., Manca G., Canepa E., Georgieva E., Acosta M., Feigenwinter C., Janous D., Kerschbaumer G., Lindroth A., Minach L., Minerbi S., Mölder M., Pavelka M., Seufert G., Zeri M., Ziegler W. (2009). A new mass conservation approach to the study of CO₂ advection in an alpine forest. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. 114, D07306. DOI: 10.1029/2008JD010650.
- Montagnani L., Grünwald T., Kowalski A., Mammarella I., Merbold L., Metzger S., Sedlák P., Siebicke L. (2018). Estimating the storage term in eddy covariance measurements: the ICOS methodology. *International Agrophysics* 32, 551-567. DOI: 10.1515/intag-2017-0037.
- Musavi T., Migliavacca M., Janet van de Weg M., Kattge J., Wohlfahrt G., van Bodegom P.M., Reichstein M., Bahn M., Carrara A., Domingues T.F., Gavazzi M., Gianelle D., Gimeno C., Granier A., Gruening C., Havránková K., Herbst M., Hryniw C., Kalhorai A., Kaminski T., Klumpp K., Kolari P., Longdoz B., Minerbi S., Montagnani L., Moors E., Oechel W.C., Reich P.B., Rohatyn S., Rossi A., Rotenberg E., Varlagin A., Wilkinson M., Wirth C., Mahecha M.D. (2016). Potential and limitations of inferring ecosystem photosynthetic capacity from leaf functional traits – *Ecology and Evolution*, 00: 1-15. DOI: 10.1002/ece3.2479.

Niu S. *et al.* Luo Y., Fei S., Yuan W., Schimel D., Law B.E., Ammann C., Altaf Arain M., Arneth A., Aubinet M., Barr A., Beringer J., Bernhofer C., Black T.A., Buchmann N., Cescatti A., Chen J., Davis K.J., Dellwik E., Desai A.R., Etzold S., Francois L., Gianelle D., Gielen B., Goldstein A., Groenendijk M., Gu L., Hanan N., Helfter C., Hirano T., Hollinger D.Y., Jones M.B., Kiely G., Kolb T.E., Kutsch W.L., Lafleur P., Lawrence D.M., Li L., Lindroth A., Litvak M., Loustau D., Lund M., Marek M., Martin T.A., Matteucci G., Migliavacca M., Montagnani L., Moors E., Munger J.W., Noormets A., Oechel W., Olejnik J., Paw U K.T., Pilegaard K., Rambal S., Raschi A., Scott R.L., Seufert G., Spano D., Stoy P., Sutton M.A., Varlagin A., Vesala T., Weng E., Wohlfahrt G., Yang B., Zhang Z. and Zhou X. (2012). Thermal Optimality of Net Ecosystem Exchange of Carbon Dioxide and Underlying Mechanisms – New Phytologist. 194 (3). 775-783. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04095.x.

Niu S., Luo Y., Fei S., Montagnani L., Bohrer G., Janssens I.A., Gielen B., Rambal S., Moors E., Matteucci G. (2011). Seasonal hysteresis of net ecosystem exchange in response to temperature change: patterns and causes. Global Change Biology, 17, 3102-3114. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02459.x

Op de Beeck M., Gielen B., Merbold L., Ayres E., Serrano-Ortiz P., Acosta M., Pavelka M., Montagnani L., Nilsson M., Klemedtsson L., Vincke C., De Ligne A., Moureaux C., Marañon-Jimenez S., Saunders M., Mereu S., Hörtnagl L. (2018). Ancillary vegetation measurements at ICOS ecosystem stations, International Agrophysics 32, 645-664. DOI: 10.1515/intag-2017-0048.

Op de Beeck M., Gielen B., Merbold L., Ayres E., Serrano-Ortiz P., Acosta M., Pavelka M., Montagnani L., Nilsson M., Klemedtsson L., Vincke C., De Ligne A., Moureaux C., Marañon-Jimenez S., Saunders M., Mereu S., Hörtnagl L. Ancillary vegetation measurements at ICOS ecosystem stations, 619-631. DOI: 10.1515/intag-2017-004186.

Op de Beeck M., Gielen B., Acosta M., Altimir N., Buchmann N., Cescatti A., Ceschia E., Fleck S., Hörtnagl L., Klumpp K., Kolari P., Lohila A., Loustau D., Marañon-Jimenez S., Manise T., Matteucci G., Merbold L., Metzger C., Moureaux C., Montagnani L., Nilsson M., Osborne B., Papale D., Pavelka M., Saunders M., Simioni G., Soudani K., Sonnentag O., Tallec T., Tuittila E., Peichl M., Pokorny R., Vincke C., Wohlfahrt G. (2018). Soil-meteorological measurements at ICOS monitoring stations in terrestrial ecosystems. International Agrophysics 32, 619-631. DOI: 10.1515/intag-2017-0041.

Parazoo N.C., Bowman K., Fisher J.B., Frankenberg C., Jones D.B.A., Cescatti A., Perez-Priego O., Wohlfahrt G., Montagnani L. (2014). Terrestrial gross primary production inferred from satellite fluorescence and vegetation models – Global Change Biology. DOI: 10.1111/gcb.12652.

Pavelka M., Acosta M., Kiese R., Altimir N., Brümmer C., Crill P., Darenova E., Fuß R., Gielen B., Graf A., Klemedtsson L., Lohila A., Longdoz B., Lindroth A., Nilsson M., Marañon-Jimenez S., Merbold L., Montagnani L., Peichl M., Pihlatie M., Pumpanen J., Serrano Ortiz P., Silvennoinen H., Skiba U., Vestin P., Weslien P., Janouš D., Kutsch W., (2018). Standardisation of chamber technique for CO₂, N₂O and CH₄ fluxes measurements from terrestrial ecosystems, International Agrophysics 32, 569-587. DOI: 10.1515/intag-2017-0045.

Peltoniemi M., Pulkkinen M., Kolari P., Duursma R., Montagnani L., Wharton S., Lagergren F., Takagi K., Verbeeck H., Christensen T., Vesala T., Falk., Loustau D. and Mäkelä A. (2012). Does canopy mean N concentration explain differences in light use efficiencies of canopies in 14 contrasting forest sites? – Tree Physiology 32(2): 200-218. DOI: 10.1093/treephys/tpr140.

Peltoniemi M., Pulkkinen M., Kolari P., Duursma R.A., Montagnani L., Wharton S., Lagergren F., Takagi K., Verbeeck H., Christensen T., Vesala T., Falk M., Loustau D., Mäkelä A. (2012). Does canopy mean nitrogen concentration explain variation in canopy light use efficiency across 14 contrasting forest sites? – Tree Physiology 00, 1-19. DOI: 10.1093/treephys/tpr140.

Piotti A., Garbarino M., Avanzi C., Berretti R., Motta R., Piovani P., Leonardi S. (2018). Influence of Spatiotemporal Dynamics on the Fine-Scale Spatial Genetic Structure of Differently Managed *Picea abies* Stands. Forests 9.

-
- Puletti N., Giannetti F., Chirici G., Canullo R. (2017). Deadwood distribution in european forests. *Journal of Maps* Vol. 13, N. 2, 733-736.
- Rebmann C., Aubinet M., Schmid H., Arriga N., Aurela M., Burba G., Clement R., De Ligne A., Fratini G., Gielen B., Grace J., Graf A., Gross P., Haapanala S., Herbst M., Hörtnagl L., Ibrom A., Joly L., Kljun N., Kolle O., Kowalski A., Lindroth A., Loustau D., Mammarella I., Mauder M., Merbold L., Metzger S., Molder M., Montagnani L., Papale D., Pavelka M., Peichl M., Roland M., Serrano-Ortiz P., Siebicke L., Steinbrecher R., Tuovinen J.-P., Vesala T., Wohlfahrt G. & Franz D. (2018). 'ICOS eddy covariance flux-station site setup: a review', *International Agrophysics*, vol. 32, no. 4, pp. 471-494. <https://doi.org/10.1515/intag-2017-0044>.
- Richardson A.D., Black T.A., Ciais P., Curiel Yuste J., Delbart N., Friedl M.A., Gobron N., Hollinger D.Y., Kutsch W.L., Longdoz B., Luyssaert S., Migliavacca M., Montagnani L., Munger J.W., Moors E., Piao S., Rebmann C., Reichstein M., Saigusa N., Tomelleri E., Vargas R., Varlagin A. (2010). Influence of spring and autumn phenological switches on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 365:3227-3246. DOI: 10.1098/rstb.2010.0102
- Sabbatini S., Mammarella I., Arriga N., Fratini G., Graf A., Hörtnagl L., Ibrom A., Longdoz B., Mauder M., Merbold L., Metzger S., Montagnani L., Pitacco A., Rebmann C., Sedláček P., Šigut L., Vitale D., Papale D. (2018). Eddy covariance raw data processing for CO₂ and energy fluxes calculation at ICOS ecosystem stations. *International Agrophysics* 32, 495-515. DOI: 10.1515/intag-2017-0043.
- Saunders M., Dengel S., Kolari P., Moureaux C., Montagnani L., Ceschia E., Altimir N., López-Ballesteros A., Marañon-Jimenez S., Acosta M., Klumpp K., Gielen B., Op de Beeck M., Hörtnagl L., Merbold L., Osborne B., Grünwald T., Arrouays D., Boukir H., Saby N., Nicolini G., Papale D., Jones M. (2018). Importance of reporting ancillary site characteristics, and management and disturbance information at ICOS stations, *International Agrophysics* 32, 457-469. DOI: 10.1515/intag-2017-0040
- Siles J.A., Cajthaml T., Filipov A., Minerbi S., Margesin R. (2017). Altitudinal, seasonal and interannual shifts in microbial communities and chemical composition of soil organic matter in Alpine forest soils – *Soil Biology & Biochemistry* 112 e 113.
- Siles J.A., Cajthaml T., Minerbi S., Margesin R. (2016). Effect of altitude and season on microbial activity, abundance and community structure in Alpine forest soils – *FEMS Microbiology Ecology*, Volume 92, Issue 3, 1 March 2016, fiw008, doi.org/10.1093/femsec/fiw008.
- Song B., Niu S., Luo R., Luo Y., Chen J., Yu G., Olejnik J., Wohlfahrt G., Kiely G., Noormets A., Montagnani L., Cescatti A., Magliulo V., Law B.E., Lund M., Varlagin A., Raschi A., Peichl M., Nilsson M.B. & Merbold L. (2014). Divergent apparent temperature sensitivity of terrestrial ecosystem respiration. *Journal of Plant Ecology*, 7(5), 419-428. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtu014>.
- Stoy P.C., Mauder M., Foken T., Marcolla B., Boegh E., Ibrom A., Arain A.M., Arneth A., Aurela M., Bernhofer C., Cescatti A., Dellwik E., Duce P., Gianelle D., van Gorsel E., Kiely G., Knöhl A., Margolis H., McCaughey H., Merbold L., Montagnani L., Papale D., Reichstein M., Saunders M., Serrano-Ortiz P., Sottocornola M., Spano D., Vaccari F. and Varlagin A. (2014). A data-driven analysis of energy balance closure across FLUXNET research sites: The role of landscape scale heterogeneity – doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.11.004.
- Stoy P.C., Richardson A.D., Baldocchi D.D., Katul G.G., Stanovick J., Mahecha M.D., Reichstein M., Detto M., Arriga N., Campos J., Law B.E., McCaughey J.H., Montagnani L., Paw U K.T., Sevanto S., Wohlfahrt G., Williams M. (2009). Biosphere-atmosphere exchange of CO₂ in relation to climate: a cross-biome analysis at multiple time-scales. *Biogeosciences*, 6, 2297-2312.
- Teuling A.J., Hirschi M., Ohmura A., Wild M., Reichstein M., Ciais P., Buchmann N., Ammann C., Montagnani L., Richardson A.D., Wohlfahrt G. and Seneviratne S.I. (2009). Regional radiation impacts on evapotranspiration trends. *Geophysical Research Letters*. 36, L02404. DOI: 10.1029/2008GL036584.

-
- Teuling A.J., Seneviratne S.I., Stöckli R., Reichstein M., Moors E., Ciais P., Luyssaert S., van den Hurk B., Ammann C., Bernhofer C., Dellwik E., Gianelle D., Gielen B., Grünwald T., Klumpp K., Montagnani L., Moureaux C., Sottocornola M. and Wohlfahrt G. (2010). Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves Nature Geoscience, 3, 722-727. DOI: 10.1038/ngeo950.
- Vacchiano G., Derose R.J., Shaw J.D., Svoboda M., Motta R. (2013). A density management diagram for Norway spruce in the temperate European montane region. European Journal of Forest Research 132, 535-549.
- Van Gorsel E., Delpierre N., Leuning R., Black A., Munger J.W., Wofsy S., Aubinet M., Feigenwinter C., Beringer J., Bonal D., Chen B., Chen J., Clement R., Davis K.J., Desai A., Dragoni D., Etzold S., Grünwald T., Gu L., Heinesch B., Hutyra L.R., Jans W.W.P., Kutsch W., Law B.E., Leclerc M.Y., Mammarella I., Montagnani L., Noormets A., Rebmann C., Wharton S. (2009). Estimating nocturnal ecosystem respiration from the vertical turbulent flux and change in storage of CO₂. Agricultural and Forest Meteorology. DOI: 10.1016/j.agrformet.2009.06.020.
- Vargas R., Baldocchi D.D., Querejeta J.I., Curtis P.S., Hasselquist N.J., Janssens I.A., Allen M.F., Montagnani L. (2010). Ecosystem CO₂ fluxes of arbuscular and ectomycorrhizal dominated vegetation types are differentially influenced by precipitation and temperature. New Phytologist. 185: 226-236. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03040.x.
- Verma M., Friedl M.A., Richardson A.D., Kiely G., Cescatti A., Law B.E., Wohlfahrt G., Gielen B., Roupsard O., Moors E.J., Toscano P., Vaccari F.P., Gianelle D., Bohrer G., Varlagin A., Buchmann N., van Gorsel E., Montagnani L., Propastin P. (2014). Remote sensing of annual terrestrial gross primary productivity from MODIS: an assessment using the FLUXNET La Thuile data set – Biogeosciences, 11, 2185-2200. DOI: 10.5194/bg-11-2185-2014.
- Waldner P., Thimonier A., Graf Pannatier E., Etzold S., Schmitt M., Marchetto A., Rautio P., Derome K., Maileena Nieminen T., Nevalainen S., Lindroos A.-J., Merilä P., Kindermann G., Neumann M., Cools N., de Vos B., Roskams P., Verstraeten A., Hansen K., Pihl Karlsson G., Dietrich H.-P., Raspe S., Fischer R., Lorenz M., Iost S., Granke O., G. M. Sanders T., Michel A., Nagel H.-D., Scheuschner T., Simončič P., von Wilpert K., Meesenburg H., Fleck S., Benham S., Vanguelova E., Clarke N., Ingerslev M., Vesterdal L., Gundersen P., Stupak I., Jonard M., Potočić N., Minaya M. (2015). Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. Annals of Forest Science, 72:929-939.
- Wang T., Brender P., Ciais P., Piao S., Mahecha M.D., Chevallier F., Reichstein M., Ottlé C., Maignan F., Arain A., Bohrer G., Cescatti A., Kiely G., Law B.E., Merbold L., Montagnani L., Moors E., Osborne B., Panferov O., Papale D., Vaccari F. (2012). Systematic errors in a land surface model across biomes inferred from eddy covariance observations on multiple timescales – Ecological Modelling, 246: 11-25.
- Wang T., Ciais P., Piao S.L., Ottlé C., Brender P., Maignan F., Arain A., Cescatti A., Gianelle D., Gough C., Gu L., Lafleur P., Laurila T., Marcolla B., Margolis H., Montagnani L., Moors E., Saigusa N., Vesala T., Wohlfahrt G., Koven C., Black A., Dellwik E., Don A., Hollinger D., Knohl A., Monson R., Munger J., Suyker A., Varlagin A. and S. Verma (2011). Controls on winter ecosystem respiration in temperate and boreal ecosystems, Biogeosciences, 8, 2009-2025, 2011.
- Wei S., Yi C., Fang W., Hendrey G. (2017). A global study of GPP focusing on light-use efficiency in a random forest regression model – Ecosphere 8(5):e01724. 10.1002/ecs2.1724.
- Wenping Y., Cai W., Xia J., Chen J., Liue S., Dong W., Merbold L., Law B., Arain A., Beringer J., Bernhofer C., Black A., Blanken P.D., Cescatti A., Chen Y., Francois L., Gianelle D., Janssens I.A., Jung M., Kato T., Kiely G., Liu D., Marcolla B., Montagnani L., Raschi A., Roupsard O., Varlagin A., Wohlfahrt G. (2014). Global comparison of light use efficiency models for simulatingterrestrial

vegetation gross primary production based on the LaThuile database – Agricultural and Forest Meteorology 192-193 (2014) 108-120.

Xiaocui W., Ju W., Zhou Y., He M., Law B.E., Black T.A., Margolis H.A., Cescatti A., Gu L., Montagnani L., Noormets A., Griffis T.J., Pilegaard K., Varlagin A., Valentini R., Blanken P.D., Wang S., Wang H., Han S., Yan J., Li Y., Zhou B., Liu Y. (2015). Performance of Linear and Nonlinear Two-Leaf Light Use Efficiency Models at Different Temporal Scales – Remote Sens.7, 2238-2278. DOI: 10.3390/rs70302238.

Xiyan X., Yi C., Montagnani L., Kutter E. (2018). Numerical study of the interplay between thermotopographic slope flow and synoptic flow on canopy transport processes – Agricultural and Forest Meteorology, 255, 3-16, doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.004.

Yanlian Z., Wu X., Ju W., Chen J.M., Wang S., Wang H., Yuan W., Black T.A., Jassal R., Ibrom A., Han S., Yan J., Margolis H., Roupsard O., Li Y., Zhao F., Kiely G., Starr G., Pavelka M., Montagnani L., Wohlfahrt G., D'Odorico P., Cook D., Arain M.A., Bonal D., Beringer J., Blanken P.D., Loubet B., Leclerc M.Y., Matteucci G., Nagy Z., Olejnik J., Paw U K.T., Varlagin A. (2016). Global parameterization and validation of a two-leaf light use efficiency model for predicting gross primary production across FLUXNET sites – J. Geophys. Res. Biogeosci., 121, 1045-1072. DOI: 10.1002/2014JG002876.

Yao Y., Liang S., Li X., Zhang Y., Chen J., Jia K., Zhang X., Fisher J.B., Wang X., Zhang L., Xu J., Shao C., Posse G., Li Y., Magliulo V., Varlagin A., Moors E.J., Boike J., Macfarlane C., Kato T., Buchmann N., Billesbach D.P., Beringer J., Wolf S., Papuga S.A., Wohlfahrt G., Montagnani L., Ardö J., Paul-Limoges E., Emmel C., Hörtnagl L.J., Sachs T., Gruening C., Gioli B., López-Ballesteros A., Steinbrecher R., Gielen B. (2017). Estimation of high-resolution terrestrial evapotranspiration from Landsat data using a simple Taylor skill fusion method, Journal of Hydrology. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol>.

Yi C., Ricciuto D., Li R., Wolbeck J., Xu X., Nilsson M., Aires L., Albertson J.D., Ammann C., Arain M.A., de Araujo A.C., Aubinet M., Aurela M., Barcza Z., Barr A., Berbigier P., Beringer J., Bernhofer C., Black A.T., Bolstad P.V., Bosveld F.C., Broadmeadow M.S.J., Buchmann N., Burns S.P., Cellier P., Chen J.M., Chen J.Q., Ciais P., Clement R., Cook B.D., Curtis P.S., Dail D.B., Dellwik E., Delpierre N., Desai A.R., Dore S., Dragoni D., Drake B.G., Dufrêne E., Dunn A., Elbers J., Eugster W., Falk M., Feigenwinter C., Flanagan L.B., Foken T., Frank J., Fuhrer J., Gianelle D., Goldstein A., Goulden M., Granier A., Grünwald T., Gu L., Guo H., Hammerle A., Han S., Hanan N.P., Haszpra L., Heinesch B., Helfter C., Hendriks D., Hutley L.B., Ibrom A., Jacobs C., Johansson T., Jongen M., Katul G., Kiely G., Klumpp K., Knohl A., Kolb T., Kutsch W.L., Lafleur P., Laurila T., Leuning R., Lindroth A., Liu H., Loubet B., Manca G., Marek M., Margolis H.A., Martin T.A., Massman W.J., Matamala R., Matteucci G., McCaughey H., Merbold L., Meyers T., Migliavacca M., Miglietta F., Misson L., Mölder M., Moncrieff J., Monson R.K., Montagnani L., Montes-Helu M., Moors E., Moureaux C., Mukelabai M.M., Munger J.W., Myklebust M., Nagy Z., Noormets A., Oechel W., Oren R., Pallardy S.G., Paw U K.T., Pereira J.S., Pilegaard K., Pintér K., Pio C., Pita G., Powell T.L., Rambal S., Randerson J.T., von Randow C., Rebmann C., Rinne J., Rossi F., Roulet N., Ryel R.J., Sagerfors J., Saigusa N., Sanz M.J., Scarascia Mugnozza G., Schmid H.P., Seufert G., Siqueira M., Soussana J.F., Starr G., Sutton M.A., Tenhunen J., Tuba Z., Tuovinen J.P., Valentini R., Vogel C.S., Wang J., Wang S., Wang W., Welp L.R., Wen X., Wharton S., Wilkinson M., Williams C.A., Wohlfahrt G., Yamamoto S., Yu G., Zampedri R., Zhao B., Zhao X. (2010). Climate control of terrestrial carbon exchange across biomes and continents, *Environmental Research Letters*, 5. DOI: 10.1088/1748-9326/5/3/034007.

Yuan W., Liu S., Cai W., Dong W., Chen J., Arain A., Blanken P.D., Cescatti A., Wohlfahrt G., Georgiadis T., Genesio L., Gianelle D., Grelle A., Kiely G., Knohl A., Liu D., Marek M., Merbold L., Montagnani L., Panferov O., Peltoniemi M., Rambal S., Raschi A., Varlagin A. and Xia J. (2013). Are vegetation-

specific model parameters required for estimating gross primary production? – Geosci. Model Dev. Discuss., 6, 5475-5488. DOI: 10.5194/gmdd-6-5475-2013.

Yuan W., Luo Y., Li X., Liu S., Yu G., Zhou T., Bahn M., Black A., Desai A.R., Cescatti A., Marcolla B., Jacobs C., Chen J., Aurela M., Bernhofer C., Gielen B., Bohrer G., Cook D.R., Dragoni D., Dunn A.L., Gianelle D., Grünwald T., Ibrom A., Leclerc M.Y., Lindroth A., Liu H., Marchesini L.B., Montagnani L., Rodeghiero M., Rodrigues A., Starr G., and Stoy P.C. (2011). Redefinition and global estimation of basal ecosystem respiration rate. Global Biogeochem. Cycles, GB4002. DOI: 10.1029/2011GB004150.

Non ISI

Bertini G., Amoriello T., Piovosi M., Fabbio G. (2013). Alcune evidenze dal monitoraggio intensivo delle foreste italiane. L'accrescimento radiale degli alberi come indice di risposta ai disturbi e le sue relazioni con la struttura del soprassuolo. Forest@ 10: 68-78.

Castagneri D., Cherubini P., Motta R. (2009). Growth response in suppressed trees in a Norway spruce forest. TRACE 2009, Tree rings in Archeology, Climatology and Ecology, 16-19 April 2009, Otocec, Slovenia, Abstract book, pp. 9.

Chirici G., Giannetti F., Travaglini D., Nocentini S., Francini S., Amico G., Calvo E., Fasolini D., Broll M., Maistrelli F., Tonner J., Pietrogiovanna M., Oberlechner K., Andriolo A., Comino R., Faidiga A., Pasutto I., Carraro G., Zen S., Contarin F., Alfonsi L., Wolynski A., Zanin M., Gagliano C., Tonolli S., Zoanetti R., Tonetti R., Cavalli R., Lingua E., Pirotti F., Grigolato S., Bellingeri D., Zini E., Gianelle D., Dalponte M., Pompei E., Stefani A., Motta R., Morresi D., Garbarino M., Alberti G., Valdevit F., Tomelleri E., Torresani M., Tonon G., Marchi M., Corona P., Marchetti M. (2019). Stima dei danni della tempesta “Vaia” alle foreste in Italia. Forest@ – Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale 16, 3-9.

La Porta N., Valentiniotti R., Salvadori C., Ambrosi P., Minerbi S., Confalonieri M. (2002). Analisi quantitativa della componente micetica di aree forestali in ambiente alpino. Gredleriana – Acta Biologica. 2, 331-336. ISSN 1593-5205.

La Porta N., Valentiniotti R., Salvadori C., Minerbi S., Confalonieri M., Ambrosi P. (2003). Relazioni tra deposizioni atmosferiche e macromiceti in ambiente alpino. LINEA ECOLOGICA, 35 (6): 43-46. handle: <http://hdl.handle.net/10449/17981>.

La Porta N., Valentiniotti R., Salvadori C., Ambrosi P. (2005). Mycobiota monitoring as indicator of forest biodiversity. International Forestry Review 7 (5), 36.

La Porta N., Confalonieri M., Donini M., Aiardi A., Floriani M. (2008). Funghi a sentinella: il monitoraggio dei macromiceti come indicatori della biodiversità forestale nelle Alpi. Natura Alpina, 59(2) 19-30.

Marchetto A., Arisci S., Tartari G.A., Balestrini R., Tait D. (2014). Stato ed evoluzione temporale della composizione chimica delle deposizioni atmosferiche nelle aree forestali della rete CONECOFOR. Forest@ 11: 72-85 online 2014-04-22 URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor1003-011>.

Minerbi S., Cescatti A. (2015). Tree volume and biomass equations for *Picea abies* and *Larix decidua* in South Tyrol – Forest Observer vol. 7, 5 – 34, ISBN: 88-901605-9-4.

Motta R., Berretti R., Castagneri D., Lingua E., Nola P., Vacchiano G. (2009). Development of old-growth characteristics in previously managed subalpine Norway spruce forests. International Conference on spruce in the context of global change, 31 August-3 September 2009 Halmstad, Sweden, Abstract Volume (U. Nilsson, U. Johansson, P. Skovsgaard Eds.), 12.

Motta R., Berretti R., Castagneri D., Lingua E., Nola P., Vacchiano G. (2009). Dynamics of previously managed subalpine Norway spruce forests. International Conference Long-term ecosystem research: understanding the present to shape the future. Zurich, Switzerland, September 7-10 2009, (M. Kaenel Dobbertin Ed.), Abstracts, 44.

Motta R., Piussi P. (2009). Ricerche ecologiche di lungo periodo (LTER) nella Riserva forestale della Valbona (Panveggio, TN). Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura per il miglioramento e la conservazione dei boschi italiani. 16-19 ottobre 2008 Taormina (Me), Vol. 1°, 558-563.

Motta R., Ascoli D., Corona P., Marchetti M., Vacchiano G. (2018). Selvicoltura e schianti da vento. Il caso della “tempesta Vaia”. Forest@ – Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale 15, 94-98.

Salvadori C., Maresi G., Confalonieri M., Minerbi S. (2009). Integrated monitoring of forests in Trentino-South Tyrol: results and perspectives after 18 years. Long-term ecosystem research: Understanding the present to shape the future. International conference Zurich (CH) 7-10/09/2009. Abstracts WSL CH-8903 Birmensdorf.

Vuorenmaa J., Kleemola S., Forsius M., Lundin L., Augustaitis A., Beudert B., de Wit H., Frey J., Indriksone I., Minerbi S., Krám P., Váňa M. (2014). Sulphur and nitrogen input-output budgets at ICP Integrated Monitoring sites in Europe in 1990-2012 – Reports of the Finnish Environment Institute 23 2014, <http://pub.epsilon.slu.se/11879/>.

Libri

Gottardini E., Cristofolini F., Cristofori A., Confalonieri M., Ferretti M. (editor(s)) (2012). Ozono e foreste in Trentino: progetto Ozone EFfects on FORests in Trentino (Ozone EFFORT): risultati 2007-2011. San Michele all'Adige (TN): Fondazione Edmund Mach: 144 p. ISBN: 978-88-7843-037-2 handle: <http://hdl.handle.net/10449/21081>.

IT03-T FORESTE DEGLI APPENNINI

Autori

Giorgio Matteucci¹, Marco Cervellini², Giancarlo Papitto³, Francesco Mazzenga⁴, Bruno De Cinti⁴, Ettore D'Andrea⁵, Riccardo Valentini⁶, Giuseppe Scarascia Mugnozza⁶, Claudia Cindolo³, Roberto Canullo²

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)
- ² Università degli Studi di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via Pontoni 5, 62032 Camerino (MC), Italia.
- ³ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.
- ⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Sede Secondaria, Via Salaria Km 29.300, 00015 Montelibretti (RM).
- ⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (CNR – ISAFOM), Piazzale Enrico Fermi 1, 80055 Portici (NA)
- ⁶ Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento per l'Innovazione dei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (UNITUS-DIBAF), Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/a2e325b8-9aa2-4c1b-b74c-a2ce59149252>

Referente Macrosito: Giorgio Matteucci

Siti di ricerca:

Collelongo-Selva Piana ABR1, IT03-001-T

Montagna di Torricchio, IT03-002-T

Piano Limina CAL1, IT03-003-T

Tipologia di ecosistema:

terrestre, foreste degli appennini



Faggeta e praterie di altitudine nell'area del sito di Collelongo-Selva Piana
(foto da drone di F. Mazzenga)

Citare questo capitolo come segue: Matteucci G., Cervellini M., Papitto G. *et al.* (2021). IT03-T Foreste degli Appennini, p. 143-178. DOI: 10.5281/zenodo.5584733. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito IT03 comprende tre siti di ricerca degli Appennini Centrali e Meridionali, caratterizzate da foreste a *Fagus sylvatica* e miste e da prati-pascoli, tra 800 e 1800 m s.l.m. (fascia subatlantica). Il sito di Collelongo-Selva Piana ABR1 (IT03-001-T) comprende una stazione di ricerca permanente avviata dall'Università degli Studi della Tuscia nel 1991 e poi passata al Consiglio Nazionale delle Ricerche dal 2004 e un'area permanente del Programma CONECOFOR (CONtrollo ECOsistemi FORestali). Le ricerche principali sono co-localizzate nella stessa area (comunità biotica principale: bosco alto fusto a *Fagus sylvatica* - Polysticho-Fagetum). Il sito Montagna di Torricchio (IT03-002-T) è sottoposto a regime di tutela dal 1970. Dal 1979 è stata classificata come Riserva Naturale Integrale Statale ed inclusa nella "rete europea di riserve biogenetiche". Il sito è ora di proprietà dell'Università degli Studi di Camerino, sotto il coordinamento della attuale Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria (UNICAM-SBMV). Qui le comunità biotiche principali sono boschi misti (cedui) a *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia* e *Fagus sylvatica* e pascoli secondari. Il sito di Piano Limina CAL1 (IT03-003-T), inserito in un bosco di alto fusto a *Fagus sylvatica* (Aquifolio-Fagetum) è stato attivato nel 1995 dall'allora Corpo Forestale dello Stato come una delle aree permanenti della rete CONECOFOR. La Rete di Monitoraggio forestale permanente del Programma CONECOFOR (CONtrollo ECOsistemi FORestali) è coordinata dal 2017 dal Comando Unità Tutela Forestale, Ambientale e Agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri (CUFAA) – SM Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale. Il Programma CONECOFOR è incluso nella Rete europea ICP Forests di monitoraggio delle foreste.

I siti nascono per studiare la risposta delle foreste di faggio ai cambiamenti climatici, all'inquinamento e alla gestione (Collelongo-Selva Piana e a Piano Limina). Il sito di Collelongo è stata la prima foresta europea dove è stata installata la strumentazione per la misura degli scambi di carbonio, vapor acqueo ed energia a scala di ecosistema (1993). Nei due siti sono attive le ricerche di studio della vegetazione, condizioni delle chiome, chimica del suolo (fase solida e soluzione circolante), chimica delle foglie, accrescimenti arborei, deposizioni atmosferiche, ozono, macro- e micro-clima, fenologia, indicatori di biodiversità, mentre a Collelongo-Selva Piana si studiano anche le dinamiche di ecologia forestale, gli scambi ecosistema-atmosfera, la produttività primaria netta.

A Torricchio, gli studi sono orientati a ricerche sui processi ecologici secondari dei sistemi montani con rilievi di flora (vascolare, muscinale, lichenica) e fauna, struttura e dinamica della faggeta e dei boschi misti, dinamica di popolazione e successioni secondarie nei pascoli, stima campionaria della diversità vegetale.

Nei siti, le ricerche sono state svolte grazie a progetti nazionali, europei e anche con fondi regionali.

Abstract

The IT03 macrosite is formed by three research sites located in the Central and Southern Apennines, characterized by *Fagus sylvatica* and mixed forests and meadows-pastures, between 800 and 1800 m a.s.l. (sub-Atlantic belt). The Collelongo-Selva Piana ABR1 site (IT03-001-T) includes a permanent research station established by the University of Tuscia in 1991 that since 2014 is coordinated by the National Research Council and a permanent area of the CONECOFOR Program (CONtrol of FORest ECOsystems)). Most of the surveys are co-located in the same area (main biotic community: tall forest with *Fagus sylvatica* - Polysticho-Fagetum). The Montagna di Torricchio site (IT03-002-T) is protected since 1970. Since 1979 it has been classified as a State Integral Nature Reserve and included in the "European network of biogenetic reserves". The site is now owned by the University of Camerino, under the coordination of the School of Biosciences and Veterinary Medicine (UNICAM-SBMV). In this site, the main biotic communities are mixed forests (coppice) with *Fraxinus ornus*, *Ostrya carpinifolia* and *Fagus sylvatica* and secondary pastures. The site of Piano Limina CAL1 (IT03-003-T) is part of a tall *Fagus sylvatica* forest (Aquifolio-Fagetum) and was established in 1995 by the then State Forestry Corps as one of the permanent areas of the CONECOFOR network. The Permanent Forest Monitoring

Network of the CONECOFOR Program has been coordinated since 2017 by the Forestry, Environmental and Agri-food Protection Unit of the Carabinieri (CUFAA). The CONECOFOR Program is included in the European ICP Forests Forest Monitoring Network.

The sites were established to study the response of beech forests to climate change, pollution and management (Collelongo-Selva Piana and Piano Limina). The Collelongo site was the first European forest where instrumentation for measuring carbon, water vapor and energy exchanges at ecosystem scale was installed (1993). At the two sites, research is being carried out on: vegetation, crown conditions, soil chemistry (solid phase and soil solution), foliage chemistry, tree growth, atmospheric deposition, ozone, macro- and micro-climate, phenology, biodiversity indicators, while at Collelongo-Selva Piana further studies deal with forest ecology, ecosystem-atmosphere exchanges, net primary productivity.

In Torricchio, the studies are focusing to secondary ecological processes in mountain systems, flora and fauna surveys, structure and dynamics of beech and mixed woods, population dynamics and secondary succession in pastures, plant diversity.

At all sites, research and monitoring were carried out on the basis of national, European and even regional funds.

Collelongo-Selva Piana ABR1

Autori

Giorgio Matteucci¹, Francesco Mazzenga², Bruno De Cinti², Ettore D'Andrea³, Riccardo Valentini⁴, Giuseppe Scarascia Mugnozza⁴

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).

² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Sede Secondaria, Via Salaria Km 29.300, 00015 Montelibretti (RM).

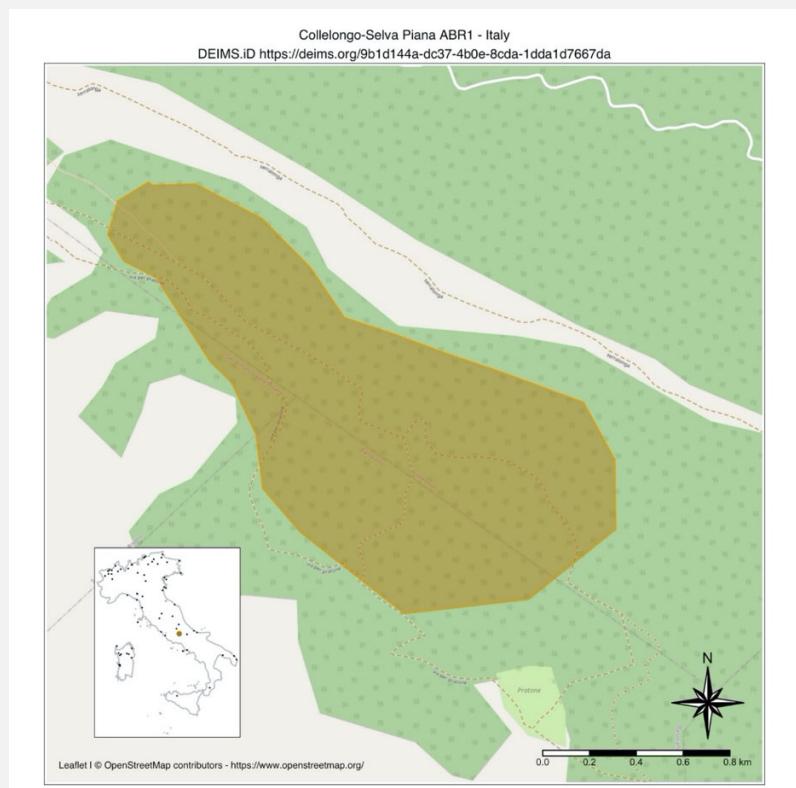
³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (CNR – ISAFOM), Piazzale Enrico Fermi 1, 80055 Portici (NA).

⁴ Università degli Studi della Tuscia, Dipartimento per l'Innovazione dei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (UNITUS-DIBAF), Via San Camillo de Lellis snc, 01100 Viterbo, Italia.

Sigla: IT03-001-T

Responsabile sito: Giorgio Matteucci

DEIMS.ID: <https://deims.org/9b1d144a-dc37-4b0e-8cda-1dda1d7667da>



Descrizione del Sito e delle sue finalità

La foresta di faggio (*Fagus sylvatica* L.) di Collelongo-Selva Piana (AQ) (Fig. 1) appartiene ad una area di circa 3000 ha, a sua volta parte di un'area forestale più vasta, che si estende anche al territorio del Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise (PNALM).

I boschi studiati fanno parte del sistema vegetazionale della Serra Lunga, catena montuosa dell'Abruzzo occidentale che separa l'alta valle del Liri (o Val Roveto) ad ovest, dalla Valle Lunga ad est e che delimita ad ovest la piana del Fucino, mentre a sud si fonde con i massicci marsicani nel territorio del PNALM. La cima più elevata è il monte Cornacchia con 2000 metri d'altitudine. Il bosco di Selva Piana è ubicato poco al di sotto del crinale della Serra Lunga sul versante rivolto verso la Valle Roveto. È delimitato a nord dalla Valle dei Cerchi, ad ovest dai Tre Confini, a sud dal Pratone ad est da Pian Calvo. La quota inferiore è di



Fig. 1 - La faggeta di Collelongo con i prati Sant'Elia, in secondo piano la località Selva Piana (foto F. Mazzenga, 2021, modificata)

circa 1520 m s.l.m. mentre la quota massima è di circa 1800 m s.l.m. La morfologia è abbastanza variabile, con compluvi principali, con andamento SE-NO e E-O, nei quali confluiscono altri compluvi minori. Le caratteristiche strutturali del popolamento sono rappresentative di quelle delle faggete dell'Appennino Centrale e riflettono sia la storia della gestione selvicolturale (è una foresta coetaneiforme di circa 120 anni di età, proveniente da conversione da ceduo) sia le peculiari condizioni ambientali della vegetazione mediterraneo-montana, così differente da quella delle foreste dell'Europa Centrale, dove il faggio raggiunge il suo ottimo climatico.

Cenni storici e datazione temporale delle ricerche

Selva Piana (1500-1600 m s.l.m., 41°50'58" N – 13°35'17" E), il sito delle principali ricerche svolte nell'area è stato istituito nel 1991 dall'allora Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo per studiare l'ecologia e la selvicoltura delle faggete appenniniche. Le ricerche sono iniziate grazie ad uno dei progetti inseriti nel Progetto Finalizzato RAISA (1991-1996), finanziato dal Cnr. Nel 1993 nel sito è stata installata la prima torre in Europa per la misura dei flussi di carbonio, vapor acqueo ed energia tra foreste ed atmosfera. Nel 1995 il sito è stato inserito nella rete nazionale di monitoraggio degli ecosistemi forestali (CONECOFOR), che ha organizzato la



Fig. 2 - Vista del sito Collelongo-Selva Piana con evidenziate la stazione "Open field" e l'area delle ricerche ed i monitoraggi intensivi, inclusa la torre per la misura dei flussi (foto G. Matteucci, 2005)

partecipazione italiana alla rete europea ICP-Forests. Nel 1996 il sito è entrato nella rete globale FluxNet per la misura dei flussi tra ecosistemi e atmosfera e nella rete LTER nel 2006. Il sito è anche parte della rete europea ICP-Integrated Monitoring.

Dal 2004, il coordinamento delle attività del sito è passato al Consiglio Nazionale delle Ricerche, prima presso l'Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale (IBAF-CNR), poi all'Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFO-M-CNR) e all'Istituto per la BioEconomia (IBE-CNR). Dal 1995 le attività di ricerca e monitoraggio sono svolte in collaborazione con il Servizio CONECOFOR del Corpo Forestale dello Stato (poi passato all'Arma dei Carabinieri), con il coinvolgimento di diversi enti ed università. La localizzazione della stazione di monitoraggio dei dati climatici e di raccolta delle deposizioni “open field” e quella delle ricerche e monitoraggi più intensivi sono presentate nella figura 2.

Tipologia dei dati raccolti

A partire dal 1991-1992, i dati raccolti hanno riguardato numerose variabili e parametri. A seconda della tipologia, i dati e le misure sono effettuate a frequenze diverse. Sono comunque molte le variabili raccolte in maniera continua, tramite strumentazione installata al sito (meteorologia, scambi a livello di ecosistema). Inoltre, nel tempo, grazie a progetti di ricerca nazionali e internazionali, sono state svolte numerose campagne di misura, con studi approfonditi di ecologia ed ecofisiologia della faggeta studiata.

I principali dati raccolti sono riportati in tabella 1.

Tab. 1 - Principali dati raccolti ed indagini effettuate nel sito Collelongo-Selva Piana

Indagine o parametro	Anno inizio rilievi	Frequenza	Note
Struttura, accrescimenti, produzione primaria epigea	1992	Ogni cinque anni	Dal 1996 bande dendrometriche per accrescimenti annuali.
Biomassa strato arboreo (epigea ed ipogea)	1992	Campagne nel 1992, 1995, 1996, 1999	Relazioni allometriche sito specifiche
Produzione di lettiera epigea ed indice di area fogliare (LAI)	1992	Annuale	Stagionale in alcuni anni
Parametri ecofisiologici	1992	Campagne annuali sino a 1998, poi misure in altre annate e studi particolari	
Radici fini	1992	1992-94; 1997-98; 2005; 2007	Biomassa e produttività
Clima e microclima sito intensivo	1993	Continua	Più regolare dal 1996
Scambi a livello di copertura (eddy covariance)	1993	Continua	Dal 1996 con continuità salvo brevi interruzioni
Emissione CO ₂ dal suolo	1993	1993-94; 1996-98; 2007	
Suolo – fase solida e pedologia	1995	Decennale (sinora 1995 e 2007)	Primo campionamento: RAISA; successivi: CONECOFOR
Nutrienti fogliari	1995	Biennale	CONECOFOR
Clima “open field”	1996	Continua	CONECOFOR
Vegetazione	1996	Annuale	CONECOFOR
Deposizioni umide (all’aperto e nel bosco)	1996	Stagionale (mar-dic)	CONECOFOR
Concentrazioni di ozono	1997	Stagionale (sino 2014), poi dal 2018 continua	CONECOFOR e Life MOTTLER
Suolo – soluzione circolante	1999	Stagionale (mar-dic)	CONECOFOR
Analisi isotopiche per processi ecofisiologici, efficienza di uso idrico, dinamica carboidrati	2002	A campagne	
Studi di dettaglio su accrescimento arboreo	2013	A campagne	

Enti recentemente coinvolti nelle attività di ricerca

Nei 30 anni di attività, le ricerche svolte nel sito hanno coinvolto numerose università ed enti italiani e internazionali. Si elencano qui quelli coinvolti più recentemente:

- **Università italiane:** Università degli Studi della Tuscia – Viterbo, Dipartimento per l’Innovazione dei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (Unitus-DIBAF); Università degli studi di Camerino (UNICAM), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria; Università degli Studi di Bologna – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari; Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra.
- **Università straniere:** Friedrich Alexander University Erlangen Nürnberg (germania) – Institute of Geography; University of Gottingen, Bioclimatology (Germania).
- **Enti di ricerca italiani e stranieri:** Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e per l’Analisi dell’Economia Agraria (CREA) – Centro Foreste e Legno; Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituti IBE, IBBA, IRET, IRS, ISAFOM; Slovenian Forest Institute (SFI); Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, Jena (Germania)
- **Altri Enti:** Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale.

Principali progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Nel corso degli anni, le attività di ricerca sono state condotte nell’ambito di numerosi progetti ed iniziative nazionali ed europee. Inoltre, il sito contribuisce anche ad attività di altre infrastrutture di ricerca oltre ad eLTER. I principali sono stati:

- 1991-1996: Progetto finalizzato RAISA (Ricerca Avanzate per l’Innovazione del Sistema Agricolo) – Progetto sull’ecologia e la selvicoltura del faggio
- 1996-1999: Progetti Europeo EUROFLUX e CANIF
- 2004-2009: Progetto Europeo CarboEurope-IP (CarboEuroflux e ForCast)
- 2007-2009: Progetto FISR CarboItaly
- 2010-2014: Progetto Europeo GHG-Europe
- 2009-2012: Progetto PRIN Cambiamenti climatici e foreste PRIN 2007AZFFAK
- 2013-2016: Progetto PRIN Effetti del cambiamento globale su produttività e forcing radiativo delle foreste italiane PRIN 2012E3F3LK
- 2014-2018: LIFE Smart4Actions (LIFE13 ENV/IT/000813)
- 2015-2019: Progetto Europeo eLTER H2020
- 2016-2020: Life Mottles (LIFE15 ENV/IT/000183)

Queste le reti in cui il sito è stato ed è inserito

- 1995: ICP-Forest e Conecofor
- 1996: ICP Integrated Monitoring (ICP-IM)
- 1996: FluxNet
- 2006: LTER Italia e LTER Europe

Risultati

Sin dai primi anni di attività, il sito ha raccolto numerosi dati, a partire dalla struttura forestale, dai dati ecologici di produttività primaria (sia componente legnosa, che foglie e radici), al monitoraggio microclimatico e alla ecofisiologia della faggeta. Dal 1993 vengono anche misurati gli scambio di carbonio, vapor acqueo ed energia tra bosco e atmosfera.

Rispetto al clima, il sito ha una temperatura media di 7.4°C e una precipitazione annuale di 1024 mm (Fig. 3).

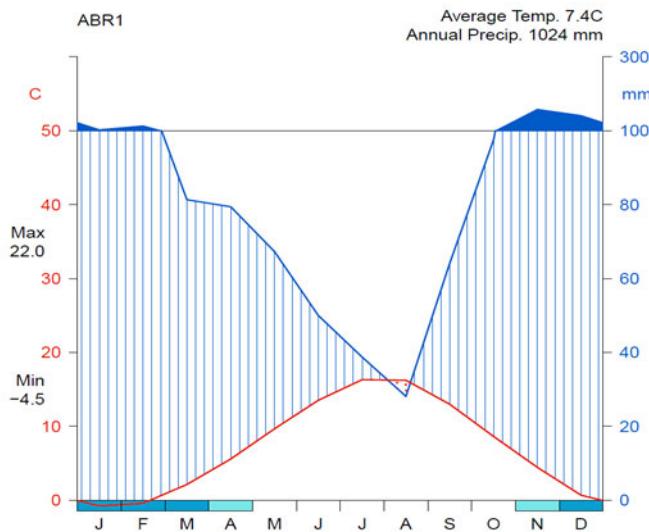


Fig. 3 - Diagramma di Walter-Lieth realizzato con i dati misurati al sito di Collelongo-Selva Piana dal 1996 al 2017

È evidente l'andamento tipico di clima da montagna mediterranea, con massimi di precipitazione in inverno e autunno, e minimi in estate. Sono frequenti gli anni in cui le precipitazioni estive (luglio e agosto) sono deficitarie rispetto alla richiesta evapotraspirativa dell'atmosfera.

La misura dello scambio di carbonio tra bosco e atmosfera avviene misurando ad alta frequenza le variazioni della concentrazione di CO₂ e le componenti del vento al di sopra della copertura (tecnica “eddy covariance”). Per la CO₂, i dati dal 2000 ad oggi mostrano chiaramente l'aumento di concentrazione in atmosfera, che si può quindi riscontrare anche a livello locale (Fig. 4).

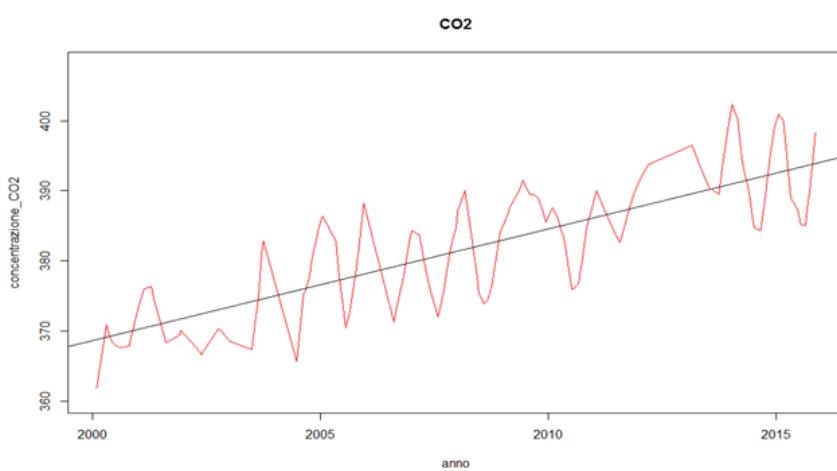


Fig. 4 - Andamento della concentrazione di CO₂ (parti per milione) misurata al sito di Collelongo-Selva Piana. Dati dal 2000 al 2017, interpolati da una curva (Mazzenga 2017 – tesi di dottorato)

Nel 1993, anno di inizio delle misure, la concentrazione della CO₂ era di 350 ppm, oggi è arrivata a 410 ppm. Si nota l'andamento stagionale con massimi invernali e minimi estivi, legati alla attività della vegetazione.

Con la tecnica “eddy covariance” è possibile quantificare lo scambio netto di CO₂ tra ecosistemi ed atmosfera. La variabile che viene determinata è lo scambio netto di ecosistema (NEE, Net Ecosystem Exchange), cioè la risultante tra i processi di assorbimento di carbonio dovuti alla fotosintesi (GPP, Gross Primary Production) e quelli di rilascio da parte dei processi respirativi sia autotrofi che eterotrofi (R_E, Respirazione dell’Ecosistema).

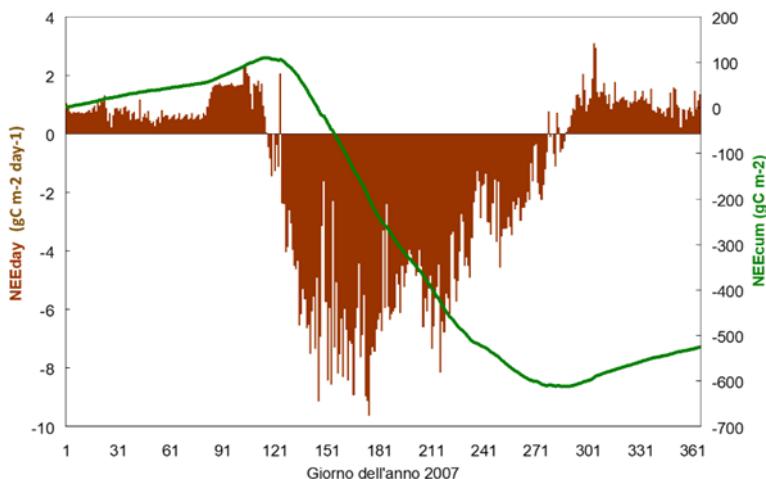


Fig. 5 - Esempio di andamento annuale di NEE sia come valori giornalieri (color mattone, gC m⁻² day⁻¹) che come valori cumulati (color verde, gC m⁻²). Valori negativi indicano assorbimento di carbonio da parte dell’ecosistema

Un esempio di andamento dello scambio netto di ecosistema è presentato in figura 5. I dati giornalieri indicano prevalenza della respirazione in inverno, inizio primavera ed autunno, con massimi tra 2 e 3 gC m⁻² day⁻¹. Tra aprile e maggio comincia la stagione vegetativa e di conseguenza la fotosintesi e lo scambio netto indica assorbimento, con i massimi che si raggiungono in giugno (~ -9 gC m⁻² day⁻¹). In luglio è presente una diminuzione di assorbimento di C, dovuta ad un periodo caldo e secco. L’ecosistema cessa di assorbire carbonio nella prima decade di ottobre. Complessivamente, nell’anno esemplificativo, la faggeta di Collelongo-Selva Piana ha assorbito 525 gC m⁻², pari a 5.25 tC ha⁻¹, dato piuttosto vicino alla media di scambio netto annuale rilevata dal 1993 al 2015 (Mazzenga 2017).

Attività di divulgazione

Negli anni, il sito di Selva Piana-Collelongo è stato oggetto di numerose attività di divulgazione e comunicazione, coinvolgendo sia le popolazioni locali che gruppi in visita, anche a livello internazionale. Inoltre, il sito è stato ed è inserito in progetti LIFE che, tra le azioni di progetto, prevedono disseminazione nei siti progettuali. In questo lavoro si vogliono menzionare tre attività significative.

- Agosto 2012: nel sito, nell’ambito del progetto europeo ExpeER sono state organizzate attività di formazione sulla misura di variabili ecologiche (tra cui indice di area fogliare, produzione lettiera, campionamenti di suolo). Contemporaneamente, si è svolta attività di disseminazione del progetto LIFE EnvEurope (Fig. 6).
- Settembre 2015: in occasione dell’incontro annuale di ILTER, organizzato dall’Italia, il sito è stato visitato dai membri del Coordination Committee della rete ILTER, quale esempio di “master site” della rete LTER italiana ed europea (Fig. 6).



*Fig. 6 - A sinistra: gruppo in visita ad agosto 2012 (Life EnvEurope);
a destra: Comitato Coordinamento di ILTER in visita a settembre 2015*

- Ottobre 2016: il sito è stato visitato da 60 ragazzi e ragazze e da cittadini in occasione del convegno che si è svolto per la presentazione delle attività del progetto LIFE Smart4Actions.

Prospettive future

Le attività di ricerca del sito compiranno i trent'anni nel 2021. La prospettiva è quella di potenziare ulteriormente l'infrastruttura di ricerca e prolungare nel tempo le misure, estendendo le serie storiche dei parametri ecologici misurati. Si punterà a raccogliere maggiori dati legati alla biodiversità di fauna e del suolo, variabili che sono state monitorate solo raramente.

L'infrastruttura potrà essere consolidata grazie all'inserimento del potenziamento del sito nel PON Infrastrutture PRO-ICOS_MED. A questo proposito, il sito comincerà la procedura per essere riconosciuto “sito associato” (Associated site) dell'infrastruttura europea ICOS-ERIC, costituendo così un esempio di “co-locazione” del sito in diverse infrastrutture di ricerca.

Si prevede inoltre di mettere a sistema i dati raccolti nei trent'anni di funzionamento del sito, utilizzando i servizi che l'infrastruttura eLTER-RI sta cominciando a sviluppare con i progetti eLTER Plus e eLTER PPP.

Abstract

The LTER site “Collelongo-Selva piana” was established in 1991 by University of Tuscia, Dep. of Forest Environment and Resources to study the ecology and silviculture of the beech forest of central Appennines. In 1993, the site was the first european forest to be instrumented to measure ecosystem level fluxes with eddy covariance. In 1995, the site was included in the ICP-Forests level II plot in Italy (ABR-1, CON.ECO.FOR. programme). Since 2004, research and monitoring at the site is coordinated and supervised by Institutes of the National Research Council of Italy. Starting from 1991, research and monitoring is being carried out on climate, forest ecology, ecosystem-atmosphere exchanges, net primary productivity and tree growth, vegetation and since 1995 on crown conditions, foliage chemistry, atmospheric deposition, ozone, phenology. Data and measurements are collected at different frequencies, with many variables collected continuously, through instrumentation installed at the site (meteorology; carbon, water and energy exchanges at the ecosystem level). Furthermore, over time, thanks to national and international research projects, measurement campaigns have been carried out, with in-depth studies of the ecology and ecophysiology of the studied beech forest.

Montagna di Torricchio

Autori

Roberto Canullo¹, Cervellini Marco¹

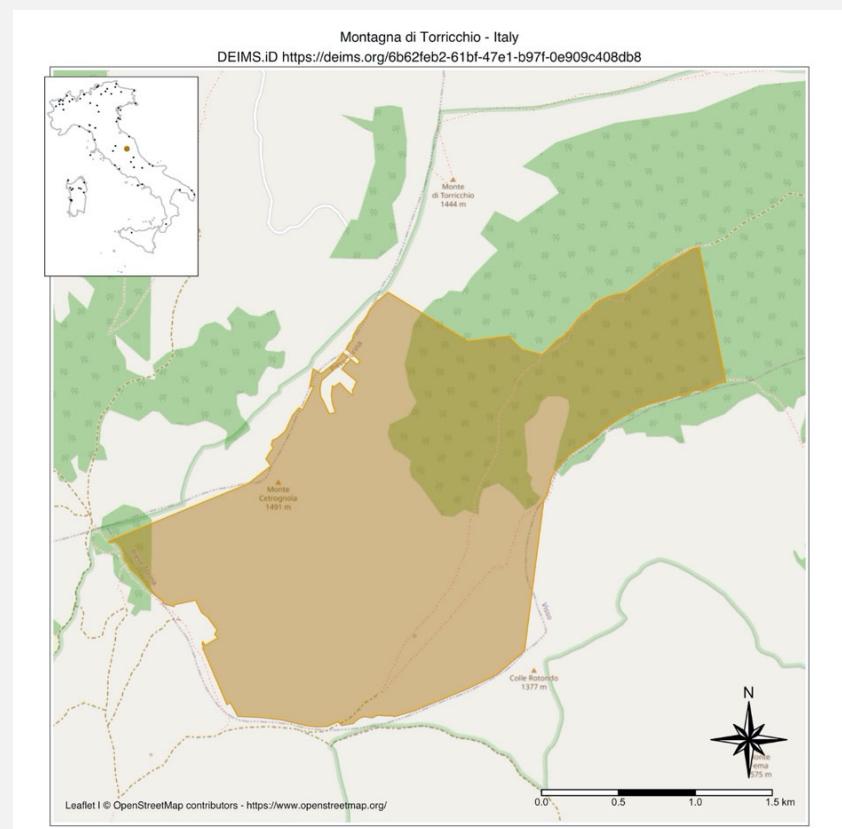
Affiliazione

¹ Università di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC), Italia.

Sigla: IT03-002-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/6b62feb2-61bf-47e1-b97f-0e909c408db8>

Responsabile sito: Roberto Canullo



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Area Geografica

La Riserva naturale “Montagna di Torricchio” è situata nell’Appennino Umbro-Marchigiano in Val di Tazza (laterale alla Valle del Chienti) nei Comuni di Pievetorina e Montecavallo – Regione Marche – MC.

Il territorio è caratterizzato da praterie xeriche montane di versanti e pianori sommitali, e da prati falciabili seminaturali di fondovalle (con gestione orientata al mantenimento). I sistemi forestali dei versanti derivano dal passato governo ceduo: fino a 950 m si sviluppano boschi di orniello (*Fraxinus ornus*) e carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e, al di sopra, di faggio (*Fagus sylvatica*) con agrifoglio (*Ilex aquifolium*) e tasso (*Taxus baccata*). Il fondovalle è delimitato da zone rupestri che ospitano il leccio (*Quercus ilex*) (Fig. 1).

La fauna è rappresentata da diverse specie tipiche dell’Appennino, come lepre, scoiattolo, ghiro, istrice, donnola, tasso, faina, starna, coturnice e allocco. Di passaggio si segnalano costantemente lupo, orso, cervo, capriolo, cinghiale. Recenti studi hanno interessato i chiroteri e le ornitocenosi dei pascoli oltre a diversi gruppi di invertebrati.

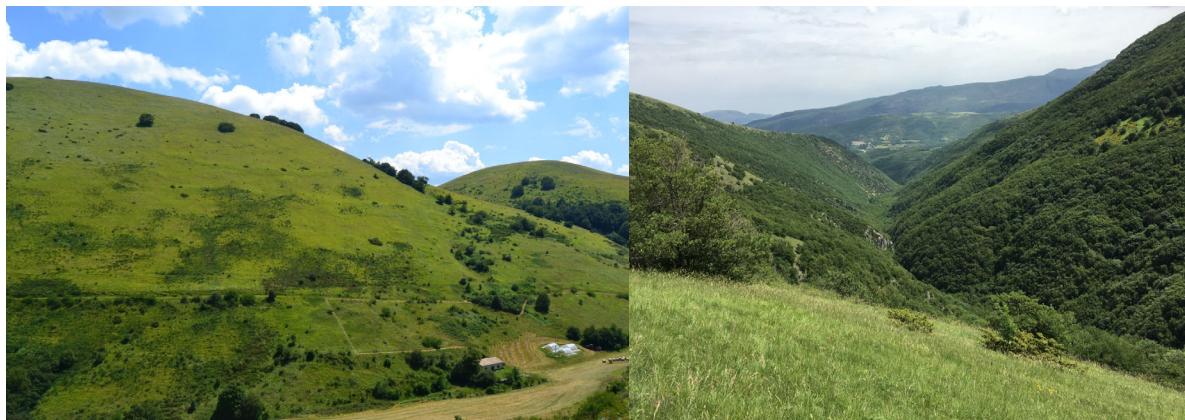


Fig. 1 - A sinistra i pascoli abbandonati di Colle Rotondo con le popolazioni di citiso, il casale Piscini e l'area falciata; a destra le faggete della Val di Tazza

Cenni storici e datazione temporale delle ricerche

La Riserva naturale di Torricchio è una riserva integrale destinata in prima istanza alla ricerca scientifica, ed i visitatori possono accedervi limitatamente alle strade per le quali esistono servitù di passaggio; essa rappresenta l’unico caso in Italia di un’area protetta gestita da un’Università, assieme alla Riserva naturale Bosco Siro Negri dell’Università di Pavia.

La Riserva esiste dal 1970 per iniziativa dell’Istituto di Botanica dell’Università di Camerino (ora Unità Diversità Vegetale e Gestione Ecosistemi della Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria), ottenuta in donazione dal marchese Mario Incisa della Rocchetta, Presidente dell’associazione italiana del W.W.F. si tratta dunque della prima area protetta istituita nelle Marche. Nel 1979 con Decreto Ministeriale del Ministro Agricoltura e Foreste, la Riserva naturale integrale Montagna di Torricchio, viene inclusa nella “rete europea di riserve biogenetiche”.

Nell’ambito della legge quadro sulle aree protette (L. n. 394, 6 dicembre 1991) il Comitato per le aree naturali protette ha inserito la Riserva naturale Montagna di Torricchio nell’Elenco Ufficiale delle aree naturali protette, quale Riserva Naturale Statale. L’area protetta è inoltre parte della Rete Natura 2000 come Sito d’Importanza Comunitaria (ID. IT5330022 – Dir. 92/43/CEE “Habitat”) e Zona di Protezione Speciale ID. IT5330022 Dir. 09/147/CE).

Le ricerche vengono svolte dal 1976; le prime aree permanenti di studio sono state create dal 1986 nei prati cespugliati, per studiare i processi della successione secondaria sui pascoli abbandonati con particolare attenzione alle popolazioni di *Cytisus sessilifolius*. Le ricerche sono poi continue estendendosi a diversi altri campi di ricerca in particolare: ecologia forestale, ecologia delle popolazioni e delle comunità vegetali, socio – ecologia e inventari della diversità animale (Tab. 1). L’insieme di queste attività e ricerche rappresentano un’importante base di partenza utili ai controlli e monitoraggi previsti nel quadro della Rete Natura 2000 di cui la Riserva di Torricchio fa parte.

Tab. 1 - Caratteristiche principali del sito e ricerche in corso

Nome Sito e Sigla	Localizzazione	Estensione	Stazioni di campionamento	Status di protezione (ZPS, SIC, Siti Unesco, Aree protette, etc.)	Tematiche di Ricerca
LTER-Montagna di Torricchio - LTER_EU_IT_033	Appennino Umbro Marchigiano- Val di Tazza - MC 42,96111 ° N; 13, 01389° E	317 Ha; da 820 -1491 m.s.l.m	4 quadrati permanenti per <i>Cytisus sessilifolius</i> ; 3 stazioni meteo; 5 quadrati permanenti Per la valutazione strutturale e funzionale di stand forestali a dominanza di <i>Fagus sylvatica</i> ; 35 plot 10X10m. per Stima e Monitoraggio Biodiversità specie vascolari dei pascoli.	Riserva Biogenetica (1979); Riserva Naturale Statale (L.Q. 394/91); ZSC - IT5330022 (Dir. 92/43/CEE “Habitat”); ZPS - IT5330030 (Dir. 09/147/CE).	Ecologia forestale; Ecologia delle popolazioni animali e vegetali; Dinamica della vegetazione; Sistemi socio-ecologici; Cambiamenti uso del suolo; Geologia; Meteorologia Temperatura e Umidità del suolo

Tipologia dei dati raccolti

Nel sito vengono raccolte numerose tipologie di dati. I dati fisici da stazioni meteorologiche sono riportati in tabella 2.

Tab. 2 - Dati fisici da stazioni meteorologiche

Descrizione	Unità di misura	Stazioni meteo (versanti N e S, fondovalle)
Temperatura aria	°C	Tutte
Umidità relativa aria	%	Tutte
Velocità vento	m/s	Fondovalle
Direzione vento	°	Fondovalle
Precipitazioni	mm/m ²	Fondovalle
Umidità suolo (0, -5,-10, -20 cm)	%	Tutte
Conduttività elettrica	dS/m	Tutte
Temperatura del suolo (0, -5,-10, -20 cm)	C°	Tutte

Le indagini ed i rilievi su variabili biotiche sono anche esse numerose. Vengono di seguito elencate, riportando, in parentesi, l’anno di avvio dei rilievi). Composizione e ricchezza specifica chirottero fauna (2008), Biomassa epigea, traits funzionali di specie vegetali vascolari di pascolo

(2009), Modellistica per valutazione rischio incendi (2009), Parametri strutturali e funzionali delle popolazioni di *Cytisus sessilifolius* (2009), Biomassa epigea, traits funzionali di specie vegetali vascolari di pascolo (2009), Variabili socio-ecologiche per la gestione sostenibile dei boschi cedui (2009), Composizione specifica della banca dei semi di specie vegetali dei boschi di *Fagus sylvatica* e loro classificazione in gruppi funzionali (2012), Composizione e ricchezza specifica Lamellicorni (2013), Composizione specifica flora vascolare bosco di *Fagus sylvatica* (2014), Composizione specifica flora vascolare briofitica e lichenica dei pascoli (2015), Area basale e densità individui di *Fagus sylvatica* (2016), Biomassa epigea, composizione specifica, copertura specifica e traits funzionali di specie vegetali vascolari delle praterie xeriche (2017), Ricchezza specifica, valori di pH, tipo di suolo, temperature ed umidità del suolo e contenuto di acqua per unità di massa di suolo (2017).

Enti recentemente coinvolti nelle attività di ricerca

- **Università italiane:** Università di Cagliari, Dipartimento di scienze della vita e dell'ambiente; Università degli studi di Bologna; Università degli studi di Camerino (UNICAM). Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria – Unità operativa per la diversità vegetale e la gestione degli ecosistemi, Erbario CAME; Università degli studi di Camerino – Sistema Museale; Università di Parma - Dipartimento di Chimica, scienze della vita, dell'ambiente e della sostenibilità;
- **Università straniere:** Università di Antwerp – Belgio; Università di Bayreuth – Germania; Università di Friburgo – Germania; Università della Provenza (Francia); Università di Thompson River - British Columbia – Canada; Technical University di Zvolen (SK) – Facoltà di selvicoltura
- **Altri enti:** Associazione “Confluenze” - Senigallia (AN); Associazione “Smilax” – Camerino (MC); Autorità Nazionale per le foreste del Portogallo; Autorità Nazionale per le foreste di Cipro; Centro di Educazione Ambientale – “Renzo Videsot” - Riserva Naturale Montagna di Torricchio; Forest Research Institute Zvolen (Slovacchia) - Dipartimento di Ecologia forestale e del paesaggio; Istituto Istruzione Superiore “Giuseppe Garibaldi” (MC); Istituto Istruzione Superiore Galileo Galilei di Jesi (AN); Orto botanico di Pécs (Ungheria); Provincia di Macerata; Regione dell'Istria (Croazia); Regione del Peloponneso (Grecia); Regione dell'Algarve (Portogallo); Provincia di Malaga (Spagna); Studio Faunistico Chiros; Studio Naturalistico Pan.

Principali progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Le ricerche sono state condotte in diversi progetti di ricerca, nazionali ed internazionali. I principali sono stati:

- **2009** – PROTECT – An Integrated European Model to Protect the MEDiterranean Forests from Fire (MEDIII)
- **2011** – E-CHANGES - Effect of Climate Change on Apennine Grassland Ecosystems
- **2011** – A Multi-Scale Meta-Experiment to Test the Species Richness-Productivity Relationship (HERBDIVNET collaborative network)
- **2015** – eLTER H2020 – LTER_EU_IT_033 “third party”
- **2017** – The influence of nutrient availability on plant production, diversity and soil microbial communities across grasslands worldwide (HERBDIVNET collaborative network)
- **2014-18** – Fondi di Ricerca UNICAM (FAR) – Climate changes, grasslands and livestock management: a multidisciplinary study to improve the sustainable development of Apennine pastoral systems

Risultati

L'attività di ricerca a lungo termine nella Riserva Naturale di Torricchio ha prodotto negli ultimi dieci anni significativi risultati scientifici utili alla stima e al monitoraggio della diversità biologica, principalmente attraverso lo studio delle dinamiche spazio temporali delle popolazioni vegetali investigate.

Dinamica delle popolazioni della specie invasiva *Cytisus sessilifolius*

In linea con i risultati ottenuti fino al 2011, la dinamica delle popolazioni di *Cytisus sessilifolius* presenti sembra confutare l'ipotesi di una sua progressiva regressione nel tempo che lasci spazio velocemente ad altre specie successionali. Questo arbusto infatti persiste nei pascoli abbandonati della Riserva di Torricchio come fattore "cicatrizzante" della fitocenosi pascoliva, senza ancora fornire elementi che possano far pensare all'inizio di un primo stadio successionale vero e proprio (Fig. 2). La longevità individuale (almeno 25 anni) e la continua rinnovazione vegetativa, nonché una tendenza alla clonazione mediante l'emissione di radici avventizie dai rami prostrati, ritardano la regressione della specie rispetto alle attese. La presenza di queste popolazioni sui pascoli, peraltro, non cambia radicalmente la composizione della fitocenosi preesistente e non ha ancora favorito la penetrazione di altri protagonisti (Bertoni 2012).

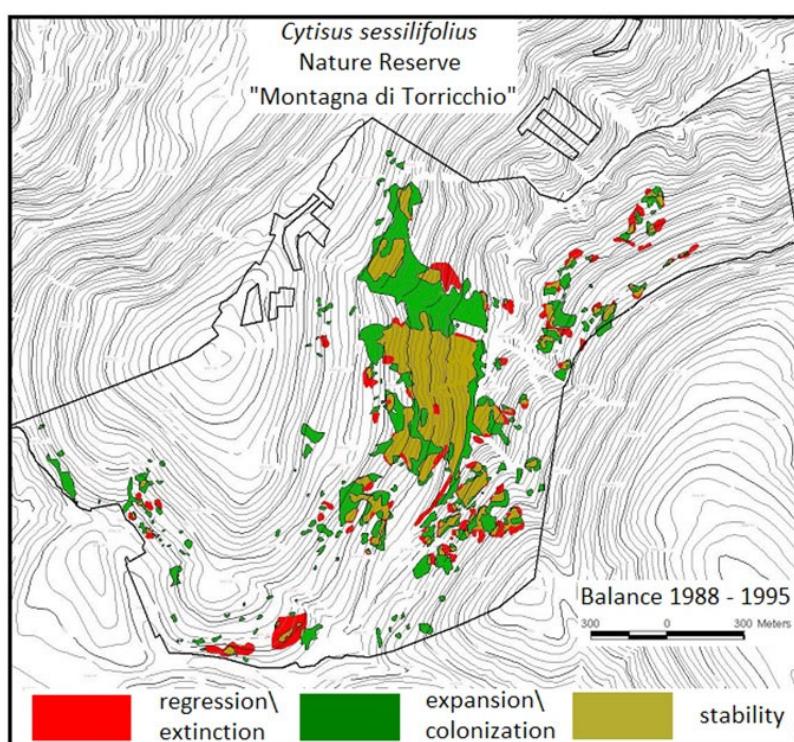


Fig. 2 - Distribuzione della popolazione di *Cytisus sessilifolius* nel 1988 e 1995: stato dinamico delle popolazioni

Oltre al verificarsi dell'andamento temporale a carattere pulsante (Fig. 4) suggerito dalle variazioni nella distribuzione delle popolazioni, il carattere di persistenza e rinnovamento della popolazione è osservabile nella distribuzione per età degli individui identificati nei diversi anni di campionamento ripetuti ad esempio in uno dei plot appartenete alla serie di quadrati permanenti, dove il citiso era osservabile fin dagli anni '70 (Fig. 3).

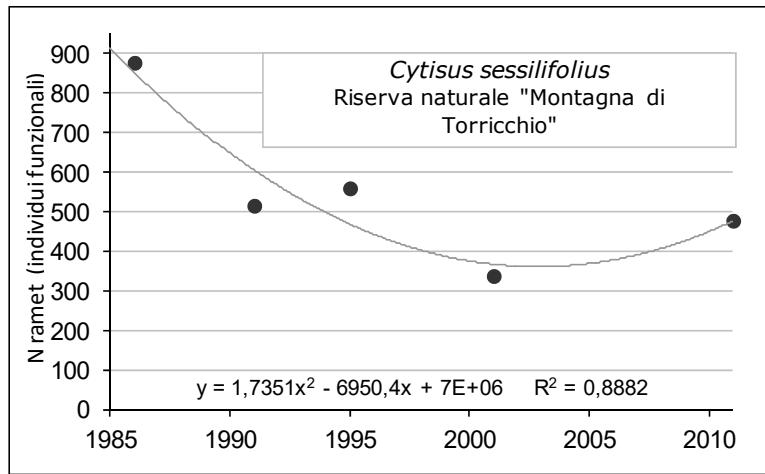


Fig. 3 - Dinamica dei numeri per gli individui funzionali di *Cytisus sessilifolius* nei pascoli abbandonati della ‘Montagna di Torricchio’. Originale

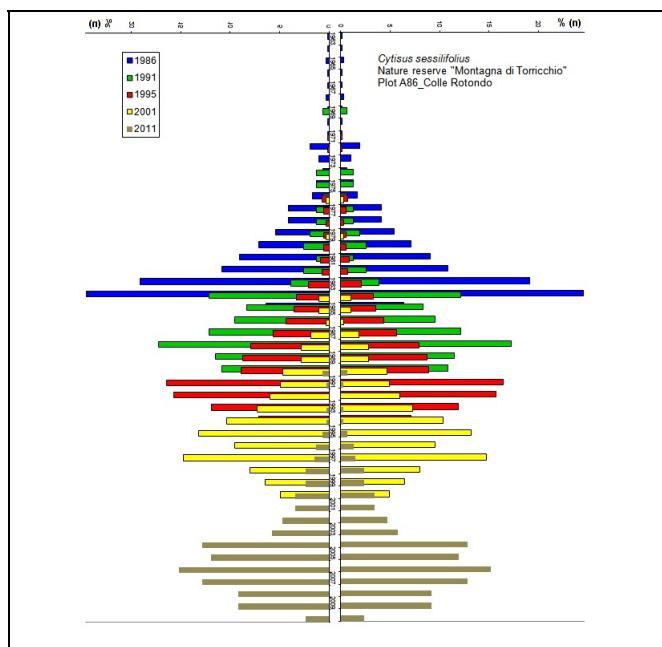


Fig. 4 - Struttura ‘pulsante’ dell’età degli individui di *Cytisus sessilifolius* per anno di campionamento nel plot A86-Colle Rotondo. Originale

Dinamica socio-ecologica della cronosequenza dei boschi cedui di *Fagus sylvatica*

I quattro quadrati permanenti a dominanza di *Fagus sylvatica* ricadenti in stand forestali precedentemente governati a ceduo matricinato ed ora abbandonati (> 50 anni dall’ultima ceduazione), sono parte dell’area di studio analizzata dal 2008 ad oggi. L’insieme delle particelle forestali configurano un importante esempio di cronosequenza forestale capace di rappresentare in maniera integrata l’interazione uomo-ambiente relativa agli ultimi 100 anni di gestione (Bartha *et al.* 2008).

Partendo dalla conoscenza ecologica della dinamica della flora vascolare dell’intera cronosequenza, caratterizzata da un’azione filtrante dei traits funzionali legati alla dispersione, persistenza e clonalità (Campetella *et al.* 2011, Canullo *et al.* 2011), dall’approfondimento della stessa dinamica a breve termine (2006-2011) con evidenze di persistenza di subset specifici di foresta (Canullo *et al.* 2017) e dal confronto strutturale e floristico fra stand con governo ceduo attivo e abbandonato che mostra il

mantenimento di pool di specialiste di faggeta utilizzando (Campetella *et al.* 2016), è stata svolta la prima ricerca socio-ecologica sul sistema ceduo che ha plasmato i caratteri stessi della Riserva Naturale di Torricchio (Cervellini 2014). I principali risultati di tale analisi hanno individuato variabili socio-ecologiche che guidano la scelta degli operatori forestali, concludendo inoltre che le attuali condizioni socio-economiche e il conseguente approccio gestionale risultano favorevoli al mantenimento della diversità del pool delle specie specialiste di foresta (Cervellini *et al.* 2014)

Monitoraggio temporale della diversità vegetale tramite rilievi fitosociologici.

Nel 2002, 2005 e 2015 si è effettuato un monitoraggio della diversità vegetale su 35 unità di campionamento permanenti (Chelli *et al.* 2019) selezionate casualmente e rappresentative dell'eterogeneità degli habitat presenti nella Riserva Naturale di Torricchio (praterie, arbusteti e boschi). Le analisi mostrano un aumento della ricchezza specifica per l'anno 2015 dovuto probabilmente al più basso numero di specie rilevato nei due momenti di campionamento precedenti, caratterizzati da una stagione primaverile-estiva particolarmente arida. Tale risultato suggerisce la necessità di una sistematica ripetizione dei rilievi nei prossimi anni per valutare adeguatamente gli effetti sulla diversità vegetale del Cambiamento climatico con particolare attenzione agli eventi estremi (Chelli *et al.* 2016).

Attività recenti di divulgazione, formazione e connessioni con il territorio

Il sito, localizzato in una riserva e coordinato dalla Università di Camerina, effettua numerose attività di divulgazione e formazione.

Tra le attività di divulgazione, si segnalano:

- trekking autorizzato guidato lungo la sentieristica, con visite guidate finalizzate alla conoscenza di come gli ecosistemi naturali sono stati plasmati dall'uomo e come essi ora stiano evolvendo senza una diretta azione della variabile antropogenica;
- Progetto didattico di educazione ambientale “Alla scoperta dell’ambiente naturale” in cui sono stati coinvolti i ragazzi della colonia estiva del Comune di Sefro (MC);
- Organizzazione di una giornata di studio sulla valorizzazione del castagno con il contributo della Riserva Naturale Monti Navegna e Cervia.

Le attività di formazione sono indirizzate all’istruzione superiore ed universitaria (training, esercitazioni, alternanza, stage, tesi di laurea, ecc.) e a progetti con le scuole secondarie di secondo grado (alternanza scuola-lavoro) con obiettivi legati alla comprensione e collaborazione alle diverse attività gestionali e lavorative nella Riserva Naturale dello Stato “Montagna di Torricchio”.

Il sito è una riserva regionale e le connessioni con il territorio hanno riguardato prevalentemente accordi congiunti con le Comunanze agrarie e aziende agro-zootecniche confinanti con la Riserva. I temi di maggiore interesse congiunto riguardano la coesistenza degli approcci tradizionali di gestione del territorio nelle aree contermini con le finalità proprie di una Riserva Integrale come Torricchio ed accordi finalizzati alla realizzazione di prove sperimentali volte alla comprensione degli impatti del cambiamento climatico sulla composizione specifica e funzionale delle specie vascolari dei pascoli secondari e sulla sostenibilità delle attuali pratiche agri-zootecniche. Le principali finalità sono quelle di migliorare ed efficientare l’adattabilità e le risposte gestionali in relazione ai trade-off con la conservazione della biodiversità e il mantenimento del patrimonio culturale incidente nell’area della Riserva (Catorci 2014, 2017; Scocco 2016a, b e Tardella 2015).

Sono state anche realizzate interviste quali-quantitative con gli operatori forestali privati, commerciali e delle comunanze agrarie al fine di individuare le relazioni dirette ed indirette fra le azioni e priorità dei tagliatori e le variabili ecologiche che guidano i processi dinamici della flora vascolare dei boschi cedui appenninici. Tale azione è finalizzata a sviluppare uno schema

causale e funzionale e alla definizione dei trade-off utili al raggiungimento della diminuzione dei conflitti fra le esigenze economico-gestionali delle utilizzazioni forestali e quelle relative alla conservazione della biodiversità vascolare (in Cervellini *et al.* 2017).

Prospettive

Le principali prospettive sono indirizzate nel rafforzare i tre principali temi di ricerca a lungo termine qui esposti, ovvero:

- Dinamica delle popolazioni della specie invasiva *Cytisus sessilifolius*;
- Dinamica socio-ecologica della cronosequenza dei boschi cedui a *Fagus sylvatica*;
- Monitoraggio temporale della diversità vegetale tramite rilevamenti della vegetazione.

Tali temi di ricerca sono strettamente correlati con le prospettive di crescita e implementazioni dei rapporti con le comunità locali al fine di realizzare un fattivo e spendibile sistema di gestione integrata e sostenibile della Riserva Naturale Montagna di Torricchio.

Le attività di consolidamento e incremento saranno ampliate con la ripetizione di specifiche raccolte dati riguardanti la micro, macro ed entomofauna, anche per costruire un solido riferimento in vista degli obblighi di monitoraggio per la Rete Natura 2000.

L'insieme di queste azioni contribuirà alla costruzione di un database di riferimento per l'area appenninica centro-orientale, rappresentativa del rapporto uomo-ambiente e quindi delle dinamiche socio-ecologiche attuali, determinanti per comprendere e definire i processi legati all'adattabilità ai futuri cambi d'uso del suolo e resilienza verso cambiamenti climatici.

In relazione a tale obiettivo è in corso di ultimazione (già parzialmente attivo, a breve pubblicato nel sito web della Riserva) un meta-database on-line (<http://torricchioter.unicam.it/>) ispirato alle metodologie di condivisione dei dati nell'ambito LTER-Italia. Tale sito metadati è infatti progettato sulla base della politica di condivisione dei dati ILTER (ILTER Data Policy, “ILTER Coordinating Committee” 21 agosto 2008).

Abstract

The LTER site n. IT03-002-T “*Montagna di Torricchio*” is an integral nature reserve established by Camerino University since 1970; it was accepted as Biogenetic Reserve since 1979, State Nature Reserve (Italian Framework law 394/1991), and part of the Nature 2000 network as SIC & ZPS, actually belonging to the Marches Region Network of Protected Areas. The main and general purpose of the protected area is nature conservation specifically focusing on protection of the natural dynamics (succession) and on research combined with high-level academic education, dissemination for teachers and students of high school (field stages). A part of the Reserve is covered by mowed lawns, subjected to an oriented management in order to maintain this type of semi-natural vegetation, of high conservation value for the region. The natural reserve provides permanent plots and a field mountain hut. Various types of ecological investigations are carried out as flora and fauna inventories and monitoring, including studies on: structure and dynamics of beech forest; population dynamics and secondary succession on xeric grasslands; plant diversity monitoring by estimation methods; structure and functions of mowed meadows, effects of extreme events; plant traits and functional studies.

Piano Limina CAL1

Autori

Giancarlo Papitto¹, Claudia Cindolo¹, Giorgio Matteucci²

Affiliazione

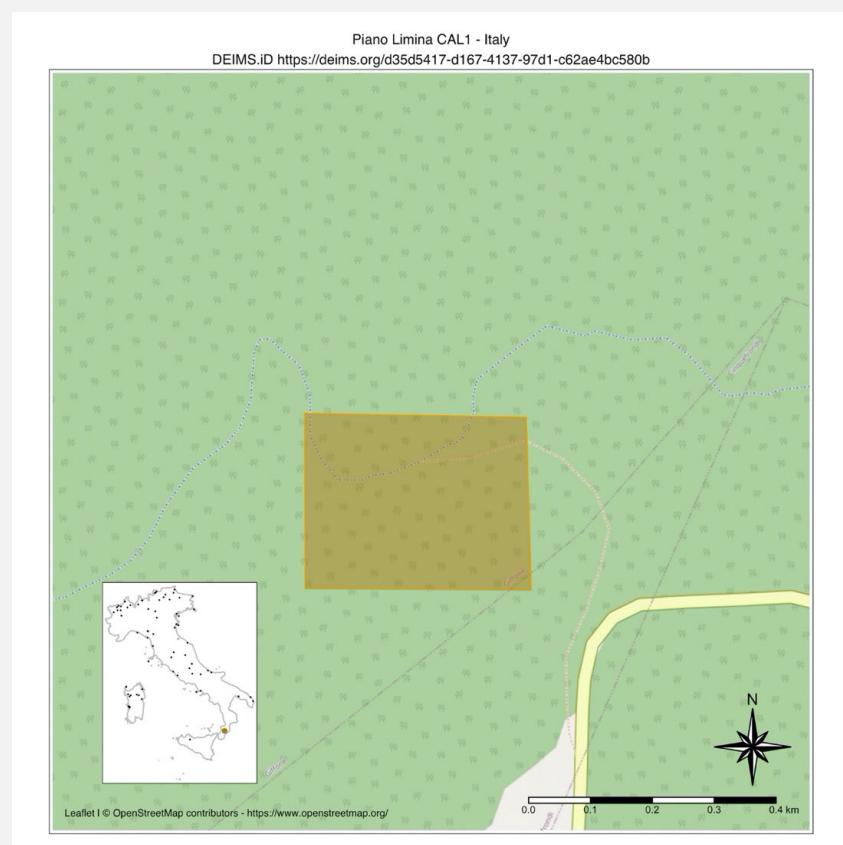
¹ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).

Sigla: IT03-003-T

Responsabile del sito: Ten. Col. Giancarlo Papitto¹

DEIMS.ID: <https://deims.org/d35d5417-d167-4137-97d1-c62ae4bc580b>



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Dal 1995, il sito CAL1 – Piano Limina è un'area permanente di monitoraggio forestale della Rete nazionale di Livello II del CONECOFOR che costituisce la componente italiana della Rete internazionale ICP Forest (<http://icp-forests.net/>). La rete CONECOFOR fino al 2016 è stata coordinata dal Corpo forestale dello Stato mentre, dal 2017, in applicazione del Decreto Lgs n. 177/2016, è passata sotto la competenza del Comando Unità Forestale, Ambientali ed Agroalimentari dell'Arma dei Carabinieri.

L'area CAL1 si trova a quota 1100 m s.l.m., in località Piano Limina del Comune di Giffone (RC), ai margini del Parco Nazionale dell'Aspromonte, ed è stata installata per monitorare una faggeta (*Fagus sylvatica* L.) ad alto fusto caratteristica del sud Italia e va a costituire l'estremo sud di un transetto di monitoraggio sul faggio che parte da Nord (PIE1, Val Sessera; VEN1, Cansiglio) e passa poi dal centro con il sito ABR1 descritto nella prima parte di questo contributo, per terminare a Piano Limina.



Fig. 1 - Immagine del plot di monitoraggio nella faggeta di Piano Limina

La stazione è notevolmente piovosa (precipitazioni medie annue 1300 mm). La temperatura media annua è intorno ai 10°C.

Dal 1995 al 2013 vi si sono svolte molteplici attività di monitoraggio e ricerca finanziate da fondi nazionali ed europei. L'area è stata inclusa nei progetti LIFE “FutMon” dal 2009-2010 e nel Progetto LIFE “EnvEurope” 2010-2013. Nel 2014 il sito è stato inserito tra quelli oggetto del progetto LIFE Smart4Action e, successivamente, nei progetti pensati per la creazione della rete National Emissions Ceiling (NEC) italiana.

Risultati

Il sito Piano Limina – CAL1 è una delle aree permanenti CONECOFOR che, come da protocollo ICP Forest, sono costituite da un quadrato recintato di 50 m di lato, con annessa una area di controllo delle stesse dimensioni. Le due aree, contigue, sono state selezionate all'interno di una zona più vasta in modo da rappresentare l'ecosistema forestale di interesse.

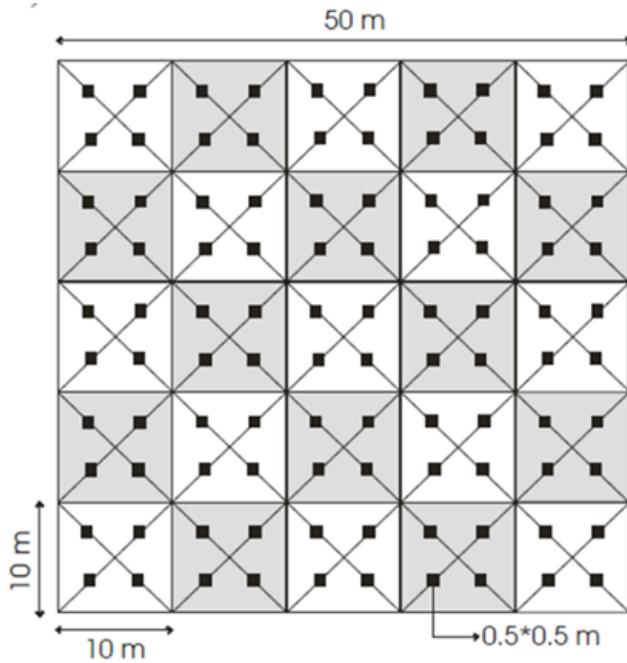


Fig. 2 - Schema del plot di monitoraggio del protocollo ICP Forests. Sono riportati anche i punti di campionamento della vegetazione

All'interno del plot si trovano campionatori per la raccolta delle deposizioni atmosferiche di inquinanti, una centralina meteorologica automatica, lisimetri per la raccolta delle soluzioni circolanti nei suoli. Con diversa periodicità si svolgono anche l'analisi dei nutrienti fogliari, il rilevamento dell'accrescimento degli alberi, la valutazione dello stato delle chiome e della biodiversità vegetale.

Nella rete CON.ECO.FOR, il sito di Piano Limina è tra quelli dove sono state attivate tutte le ricerche previste dal protocollo ICP-Forests e, per questo, è stato oggetto anche di ricerche da parte di altri progetti (Tab. 1).

Tab. 1 - Attività di ricerca attualmente in corso nel sito LTER IT03-003-T Piano Limina (CAL1), con indicazione dell'Ente responsabile, della frequenza di campionamento e della lunghezza della serie storica disponibile

RICERCHE	Valutazione condizione delle chiome	Chimica Soluzione nei suoli	Analisi Nutrienti Fogliari	Deposizioni Bulk	Conc. Ozono(*)	Meteo OF	Meteo IP	Diversità Vegetale	Accrescimenti Arborei	Bande di accrescimento	Lettiera
Ente Responsabile	Arma dei Carabinieri; Università di Firenze; Linnaea Ambiente	Università di Firenze	CNR IRET CNR IBE	CNR IRSA	CNR IRET	CREA FL (Roma)	CREA FL (Roma)	Università di Camerino	CREA FL (Arezzo)	CREA FL (Arezzo)	CREA FL (Arezzo)
Frequenza di Campionamento	annuale (luglio-agosto)	sett./bisett. (aprile-settembre)	ogni 2 anni	sett.	Sett. (aprile-settembre)	60 min giornal.	60 min giornal.	annuale	ogni 5 anni	annuale	annuale
Serie Storica	1996_oggi	2009_oggi	1995_oggi	1998_oggi	1996-2014	1997_oggi	1997_oggi	1997_oggi	1996-2014	2010-2018	1998-2017

Il sito è localizzato in Calabria, dove le temperature estive possono essere relativamente alte per la presenza del faggio che, altresì, mostra di crescere in buone condizioni grazie alle precipitazioni elevate.

Le condizioni climatiche possono determinare concentrazioni elevate di ozono, parametro del quale viene presentato un andamento annuale tipico, rilevato nel 2008 tramite i campionatori passivi.

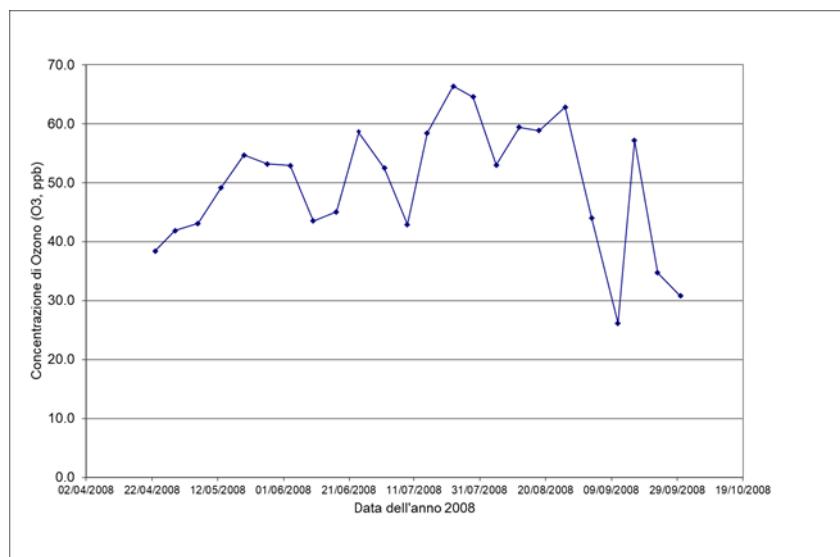


Fig. 3 - Andamento della concentrazione di Ozono misurata con i campionatori passivi nel corso del 2008 a Piano Limina

Da fine aprile a metà settembre, i valori si collocano sopra alle 40 ppb, limite che viene usualmente utilizzato per indicare la possibilità di insorgenza di danni da ozono.

Divulgazione

Durante l'evento di disseminazione e comunicazione del progetto LIFE Smart4Action, il 17 ottobre 2018 presso il sito Piano Limina CAL1, 70 bambini di una scuola elementare del paese di Giffone (RC) hanno effettuato un percorso nella faggeta, durante il quale i ricercatori ed i Carabinieri Forestali hanno offerto occasioni di studio ed osservazione, utilizzando come guida il “Manuale del Cittadino per l'osservazione delle condizioni degli alberi, del loro accrescimento e della biodiversità forestale” preparato dal progetto (Fig. 4).



Fig. 4 - Evento di divulgazione a Piano Limina (foto dal Layman Report del progetto LIFE Smart4Action)

Prospettive future

Il sito di Piano Limina – CAL1 è entrato a far parte della Rete NEC Italia, insieme ad altri 5 siti della rete ICP Forests – CONECOFOR di II Livello e sarà incluso nelle azioni di un nuovo progetto LIFE, finalizzata allo studio degli impatti dell'inquinamento atmosferico e dell'ozono sugli ecosistemi forestali, secondo quanto previsto dalla citata Direttiva NEC.

A questo proposito, L'Arma dei Carabinieri sta predisponendo le azioni necessarie all'attivazione del monitoraggio dei licheni in un sottogruppo selezionato di aree ICP Forests – CONECOFOR di II Livello, tra cui l'area IT03-003-T Monte Rufeno (LAZ1), in collaborazione con ricercatori esperti nel biomonitoraggio ed in accordo con i protocolli previsti da ICP Forests.

Il sito ha previsioni di mantenimento a lungo termine di tutte le attività attualmente in corso.

Abstract

Since 1995, the CAL1 – Piano Limina site has been a permanent forest monitoring area of the CONECOFOR Level II National Network, which represents the national branch of the ICP Forests International Network. The CAL1 area is located at an altitude of 1100 m asl, in the territory of Giffone (RC), at the edge of the Aspromonte National Park. The site was installed to monitor a high-stand beech forest (*Fagus sylvatica* L.) with specific features of southern Italy forests of this species. Piano Limina constitutes the extreme south of a monitoring transect on beech from north (PIE1, Val Sessera; VEN1, Cansiglio) to center (ABR1), down to Piano Limina. Since 2017 the CONECOFOR Program is coordinated by the Department of Studies and Projects of the Carabinieri Command for the Protection of Biodiversity and Parks and. Data collection activities are carried out in collaboration with numerous organizations and universities.

Bibliografia

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Alberti G., Vicca S., Inglima I., Belelli-Marchesini L., Genesio L., Miglietta F., Marjanovic H., Martinez C., Matteucci G., D'Andrea E., Peressotti A., Petrella F., Rodeghiero M., Cotrufo MF. (2015). Soil C:N stoichiometry controls carbon sink partitioning between above-ground tree biomass and soil organic matter in high fertility forests. *iForest* 8: 195-206 [online2014-08-26] URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor1196-00>.
- Andreetta A., Cecchini G., Bonifacio E., Comolli B., Vingiani S., Carnicelli S. (2016). Tree or soil? Factors influencing humus form differentiation in Italian forests; *Geoderma*, 264(A), 195-204.
- Andreetta A., Ciampalini R., Moretti P., Vingiani S., Poggio G., Matteucci G., Tescari F., Carnicelli S. (2011). Forest humus forms as potential indicators of soil carbon storage in Mediterranean environments. *Biology and Fertility of Soils*, 47 (1), 31-40. 2-s2.0-79952186743.
- Arisci S., Rogora M., Marchetto A., Dichiaro F. (2012). The role of forest type in the variability of DOC in atmospheric deposition at forest plots in Italy. *Environ Monit Assess* 184:3415-3425.
- Balzarolo M., Anderson K., Nichol C., Rossini M., Vescovo L., Arriga N., Calvet J.-C., Carrara A., Cerasoli S., Cogliati S., Eklundh L., Elbers J.A., Evrendilek F., Handcock R., Klumpp K., Longdoz B., Matteucci G., Meroni M., Moya I., Montagnani L., Ourcival J.-M., Pontailler J.-Y., Juszczak R., Scholes R.J., Wohlfahrt G., Martín M.P. (2011). Ground-based optical measurements at European flux sites: a review of methods, instruments and current controversies. *Sensors*: 11, 7954-7981, DOI: 10.3390/s11087954.
- Ballelli S., Pennesi R., Campetella G., Cervellini M., Chelli S., Cianfaglione K., Lucarini D., Piermarteri K., Tardella F.M., Catorci A., Canullo R. (2020). An updated checklist of the vascular flora of Montagna di Torricchio State Nature Reserve (Marche, Italy). *Italian Botanist* 9: 87-100. <https://doi.org/10.3897/italianbotanist.9.50032>.
- Bartha S., Canullo R., Chelli S., Campetella G. (2020). Unimodal relationships of understory alpha and beta diversity along chronosequence in coppiced and unmanaged beech forests. *Diversity*, 12(3), 101.
- Bartha S., Merolli A., Campetella G., Canullo R. (2008). Changes of vascular plant diversity along a chronosequence of beech coppice stands, central Apennines, Italy. *Plant Biosystems*, 142(3): 572-583. <https://doi.org/10.1080/11263500802410926>.
- Bartsch S., Stegehuis AI, Boissard C., Lathière J., Peterschmitt JY, Reiter IM, Gauquelin T., Baldy V., Genesio L., Matteucci G., Fernandez C., Guenet B. (2020). Impact of precipitation, air temperature and abiotic emissions on gross primary production in Mediterranean ecosystems in Europe. *European Journal of Forest Research* 139 (1), 111-126.
- Bascietto M., Bajocco S., Mazzenga F., Matteucci G. (2018). Assessing spring frost effects on beech forests in Central Apennines from remotely-sensed data. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 240-250, ISSN: 0168-1923, DOI: 10.1016/j.agrformet.2017.10.007.
- Bertini G., Amoriello T., Fabbio G., Piovosi M. (2011). Forest growth and climate change: evidences from the ICP-Forests intensive monitoring in Italy. *iForest* 4: 262-267.
- Camino-Serrano M., Graf Pannatier E., Vicca S., Luyssaert S., Jonard M., Ciais P., Guenet B., Gielen B., Peñuelas J., Sardans J., Waldner P., Etzold S., Cecchini G., Clarke N., GaliÄ Z., Gandois L., Hansen K., Johnson J., Klinck U., Lachmanová Z., Lindroos A.J., Meesenburg H., Nieminen T.M., Sanders T.G.M., Sawicka K., Seidling W., Thimonier A., Vanguelova E., Verstraeten A., Vesterdal L., Janssens I.A. (2016). Trends in soil solution dissolved organic carbon (DOC) concentrations across European forests. *Biogeosciences*, 13(19) 5567-5585.

-
- Campetella G., Botta-Dukat Z., Wellstein C., Canullo R., Gatto S., Chelli S., Mucina L., Bartha S. (2011). Patterns of plant trait-environment relationship along a forest succession chronosequence. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 145(1): 38-48.
- Campetella G., Canullo R., Gimona A., Garadnai J., Chiarucci A., Giorgini D., Angelini E., Cervellini M., Chelli S., Bartha S. (2016). Scale dependent effects of coppicing on the species pool of late-successional beech forests in the central Apennines (Italy). *Applied Vegetation Science*, 19 (3). pp. 474-485. <https://doi.org/10.1111/avsc.12235>.
- Campioli M., Verbeeck H., Van den Bossche J., Wuc J., Ibrom A., D'Andrea E., Matteucci G., Samson R., Steppe K., Granier A. (2013). Can decision rules simulate carbon allocation for years with contrasting and extreme weather conditions? A case study for three temperate beech forests. *Ecological Modelling* 263: 42-55.
- Canullo R., Campetella G., Mucina L., Chelli S., Wellstein C., Bartha S. (2011). Patterns of clonal growth modes along a chronosequence of post-coppice forest regeneration in beech forest of Central Italy. *Folia Geobotanica*. Vol. 46, Issue 2-3: 271-288.
- Canullo R., Simonetti E., Cervellini M., Chelli S., Bartha S., Wellstein C., Campetella G. (2017). Unravelling mechanisms of short-term vegetation dynamics in complex coppice forest systems. *Folia Geobotanica*, 52(1): 71-81. <https://doi.org/10.1007/s12224-016-9264-x>.
- Catorci A., Lulli R., Malatesta L., Tavoloni M. & Tardella F.M. (2021). How the interplay between management and interannual climatic variability influences the NDVI variation in a sub-Mediterranean pastoral system: Insight into sustainable grassland use under climate change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 314, 107372.
- Catorci A., Antolini E., Tardella F.M., Scocco P. (2014). Assessment of interaction between sheep and poorly palatable grass: a key tool for grassland management and restoration. *Journal of Plant Interactions* 9: 112-121. <https://doi.org/10.1080/17429145.2013.776706>.
- Catorci A., Piermarteri K., Penszka K., Házi J., Tardella F.M. (2017). Filtering effect of temporal niche fluctuation and amplitude of environmental variations on the trait-related flowering patterns: lesson from sub-Mediterranean grasslands. *Scientific Reports* 7: 12034. DOI: 10.1038/s41598-017-12226-5.
- Cervellini M., Fiorini S., Cavicchi A., Campetella G., Simonetti E., Chelli S., Canullo R., Gimona A. (2017). Relationships between understory specialist species and local management practices in coppiced forests – Evidence from the Italian Apennines. *Forest Ecology and Management* 385: 35-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.027>.
- Cescatti A., Marcolla B., Santhana Vannan S.K., Pan J.Y., Román M.O., Yang X., Ciais P., Cook R.B., Law B.E., Matteucci G., Migliavacca M., Moors E., Richardson A.D., Seufert G., Schaaf C.B. (2012) Intercomparison of MODIS albedo retrievals and in situ measurements across the global FLUXNET network. *Remote Sensing of Environment* 121: 323-334 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.019>).
- Chelli S., Ottaviani G., Simonetti E., Campetella G., Wellstein C., Bartha S., Cervellini M., Canullo R. (2021). Intraspecific variability of specific leaf area fosters the persistence of understorey specialists across a light availability gradient. *Plant Biology*, 23(1), 212-216.
- Chelli S., Canullo R., Campetella G., Schmitt A.O., Bartha S., Cervellini M., Wellstein C. (2016). The response of Sub-Mediterranean grasslands to rainfall variation is influenced by early season precipitation. *Applied Vegetation Science*, 19(4): 611-619. <https://doi.org/10.1111/avsc.12247>.
- Chelli S., Simonetti E., Campetella G., Chiarucci A., Cervellini M., Tardella F.M., Tomasella M., Canullo R. (2019). Plant diversity changes in a Nature Reserve: a probabilistic sampling method for quantitative assessments. *Nature Conservation*, 34: 145-161. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30043>.
- Chiesi M., Chirici G., Marchetti M., Hasenauer H., Moreno A., Knohl A., Matteucci G., Pilegaard K., Granier A., Longdoz B., Maselli F. (2016). Testing the applicability of BIOME-BGC to simulate

- beech gross primary production in Europe using a new continental weather dataset. *Annals of Forest Science* 73: 713-727, ISSN: 1286-4560, DOI: 10.1007/s13595-016-0560-7.
- Chirici G., Chiesi M., Corona P., Salvati R., Papale D., Fibbi L., Sirca C., Spano D., Duce P., Marras S., Matteucci G., Cescatti A., Maselli F. (2016). Estimating daily forest carbon fluxes using a combination of ground and remotely sensed data. *Journal Geophysical Research Biogeosciences*, 121, DOI: 10.1002/2015JG003019.
- Chiti T., Papale D., Smith P., Dalmonech D., Matteucci G., Yeluripati J., Rodeghiero M., Valentini R. (2010). Predicting changes in soil organic carbon in Mediterranean and Alpine forests during Kyoto Protocol commitment periods using the Century model. *Soil Use and Management* 26: 475–484 (DOI: 10.1111/j.1475-2743.2010.00300.x).
- Cocciufa C., Cerretti P., Matteucci G., Carpaneto G.M. (2011). Basic concepts and research activities at Italian forest sites of the Long Term Ecological Research network. *iForest* 4: 233-241 [online 2011-11-03] URL: <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=576>. DOI: 10.3832/ifor0576-004.
- Collalti A., Marconi S., Ibrom A., Trotta C., Anav A., D'Andrea E., Matteucci G., Montagnani L., Gielen B., Mammarella I., Grunwald T., Knohl A., Berninger F., Zhao Y., Valentini R., Santini M. (2016). Validation of 3D-CMCC Forest Ecosystem Model (v.5.1) against eddy covariance data for 10 European forest sites. *Geoscientific Model Development* 9: 479-504, ISSN: 1991-959X, DOI: 10.5194/gmd-9-479-2016.
- D'Andrea E., Rezaie N., Battistelli A., Gavrichcova O., Kuhlmann I., Matteucci G., Moscatello S., Proietti S., Scartazza A., Trumbore S., Muhr J. (2019). Winter's bite: Beech trees survive complete defoliation due to spring late-frost damage by mobilizing old C reserves. *New Phytologist* <https://doi.org/10.1111/nph.16047>.
- D'Andrea E., Rezaie N., Prislan P., Gričar J., Collalti A., Muhr J., Matteucci G. (2020). Frost and drought: Effects of extreme weather events on stem carbon dynamics in a Mediterranean beech forest. *Plant, Cell and Environment* 43(10) 2365-2379. <https://doi.org/10.1111/pce.13858>.
- D'Andrea E., Scartazza A., Battistelli A., Collalti A., Proietti S., Rezaie N., Matteucci G., Moscatello S. (2021). Unravelling resilience mechanisms in forests: role of non-structural carbohydrates in responding to extreme weather events. *Tree Physiology*, tpab044, <https://doi.org/10.1093/treephys/tpab044>.
- D'Andrea E., Guidolotti G., Scartazza A., De Angelis P., Matteucci G. (2020). Small-Scale Forest Structure Influences Spatial Variability of Belowground Carbon Fluxes in A Mature Mediterranean Beech Forest. *Forests* 11 (3), 255 <https://doi.org/10.3390/f11030255>.
- De Vos B., Cools N., Ilvesniemi H., Vesterdal L., Vanguelova E., Carnicelli, S. (2015). Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma*, 251-252, 33-46
- Fernandez-Martinez M., Vicca S., Janssens I.A., Ciais P., Obersteiner M., Bartrons M., Sardans J., Verger A., Canadell J.G., Chevallier F., Wang X., Bernhofer C., Curtis P.S., Gianelle D., Grubwald T., Heinesch B., Ibrom A., Knohl A., Laurila T., Law B.E., Limousin J.M., Longdoz B., Loustau D., Mammarella I., Matteucci G., Monson R.K., Montagnani L., Moors E.J., Munger J.W., Papale D., Piao S.L., Penuelas J. (2017). Atmospheric deposition, CO₂, and change in the land carbon sink. *Scientific Reports* 7: 9632, ISSN: 2045-2322, DOI: 10.1038/s41598-017-08755-8.
- Ferrara C., Marchi M., Fares S., Salvati L. (2017). Sampling strategies for high quality time-series of climatic variables in forest resource assessment. *iForest* 10, pp. 739-745.
- Ferretti M. (2010). Harmonizing forest inventories and forest condition monitoring – the rise or the fall of harmonized forest condition monitoring in Europe? *iForest* 3:1-4.
- Ferretti M., Marchetto A., Arisci S., Bussotti F., Calderisi M., Carnicelli S., Cecchini G., Fabbio G., Bertini G., Matteucci G., De Cinti B., Salvati L., Pompei E. (2014). On the tracks of Nitrogen deposition effects on temperate forests at their southern European range – an observational study from Italy. *Global Change Biology* 20: 3423-3438 (DOI: 10.1111/gcb.12552).

Fischer R., Aas W., De Vries W., Clarke N., Cudlin P., Leaver D., Lundin L., Matteucci G., Matyssek R., Mikkelsen T.N., Mirtl M., Öztürk Y., Papale D., Potocic N., Simpson D., Tuovinen L.-P., Vesala T., Wieser G., Paoletti E. (2011). Towards a transnational system of supersites for forest monitoring and research in Europe – an overview on present state and future recommendations. *iForest* 4: 167-171. [online 2011-08-15] URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents/?id=ifor0582-004> (Commentary & Perspectives) DOI: 10.3832/ifor0582-004.

Fraser L.H., Pither J., Jentsch A., Sternberg M., Zobel M., Askarizadeh D., Bartha S., Beierkuhnlein C., Bennett J.A., Bittel A., Boldgiv B., Boldrini I.I., Bork E., Brown L., Cabido M., Cahill J., Carlyle C.N., Campetella G., Chelli S., Cohen O., Csergo A.M., Díaz S., Enrico L., Ensing D., Fidelis A., Fridley J.D., Foster B., Garris H., Goheen J.R., Henry H.A.L., Hohn M., Hassan Jouri M., Kliromos J., Koorem K., Lawrence-Lodge R., Long R., Manning P., Mitchell R., Moora M., Müller S.C., Nabinger C., Naseri K., Overbeck G.E., Palmer T.M., Parsons S., Pesek M., Pillar V.D., Pringle R.M., Roccaforte K., Schmidt A., Shang Z., Stahlmann R., Stotz G.C., Sugiyama S., Szentes S., Thompson D., Tungalag R., Undrakhbold S., van Rooyen M., Wellstein C., Bastow Wilson J., Zupo T. (2015). Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. *Science*, 349, 302. <https://doi.org/10.1126/science.aab3916>.

Gavrichkova O., Proietti S., Moscatello S., Portarena S., Battistelli A., Matteucci G., Brugnoli E. (2011). Short-term natural $\delta^{13}\text{C}$ variations in pools and fluxes in a beech forest: the transfer of isotopic signal from recent photosynthates to soil respired CO₂. *Biogeosciences* 8, 2833-2846 doi:10.5194/bg-8-2833-2011 (<http://www.biogeosciences.net/8/2833/2011/bg-8-2833-2011.pdf>).

Guidolotti G., Rey A., D'Andrea E., Matteucci G., De Angelis P. (2013). Effect of environmental variables and stand structure on ecosystem respiration components in a Mediterranean beech forest. *Tree Physiology* 33: 960-972 (DOI: 10.1093/treephys/tpt065).

Haeni M., Zweifel R., Eugster W., Gessler A., Zielis S., Bernhofer C., Carrara A., Grunwald T., Havrankova K., Heinesch B., Herbst M., Ibrom A., Knohl A., Lagergren F., Law B.E., Marek M., Matteucci G., McCaughey J.H., Minerbi S., Montagnani L., Moors E., Olejnik J., Pavelka M., Pilegaard K., Pita G., Rodrigues A., Sanchez M.J.S., Schelhaas M.J., Urbaniak M., Valentini R., Varlagin A., Vesala T., Vincke C., Wu J., Buchmann N. (2017). Winter respiratory C losses provide explanatory power for net ecosystem productivity. *Journal of Geophysical Research. Biogeosciences* 122: 243-260, ISSN: 2169-8953, DOI: 10.1002/2016JG003455.

Janssens I.A., Dieleman W., Luyssaert S., Subke J.-A., Reichstein M., Ceulemans R., Ciais P., Dolman A.J., Grace J., Matteucci G., Papale D., Piao S.L., Schulze E.D., Tang J., Law B.E. (2010). Reduction of forest soil respiration in response to nitrogen deposition. *Nature Geoscience* 3: 315-322 (DOI: 10.1038/ngeo844).

Jonard M., Fürst A., Verstraeten A., Thimonier A., Timmermann V., Potočić N., Waldner P., Benham S., Hansen K., Merilä P., Ponette Q., de la Cruz A.C., Roskams P., Nicolas M., Croisé L., Ingerslev M., Matteucci G., De Cinti B., Bascietto M., Rautio P. (2015). Tree mineral nutrition is deteriorating in Europe. *Global Change Biology*, 21: 418-430 (DOI: 10.1111/gcb.12657).

Lin H., Chen Y.J., Song Q.H., Fu P.L., Cleverly J., Magliulo V., Law B.E., Gough C.M., Hortnagl L., Di Gennaro F., Matteucci G., Montagnani L., Duce P., Shao C.L., Kato T., Bonal D., Paul-Limoges E., Beringer J., Grace J., Fan Z.X. (2017). Quantifying deforestation and forest degradation with thermal response. *Science of the Total Environment* 607: 1286-1292, ISSN: 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.062.

Luyssaert S., Reichstein M., Schulze E.-D., Janssens I.A., Law B.E., Papale D., Dragoni D., Goulden M., Granier A., Kutsch W.L., Linder S., Matteucci G., Moors E., Munger J.W., Pilegaard K., Saunders M., Falge E.M. (2009). Towards a consistency cross-check of eddy covariance flux based and biometric estimates of ecosystem carbon balance. *Global Biogeochemical Cycles* Vol 23, GB3009 (1-13) (DOI: 10.1029/2008GB003377, 2009).

Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L., Bartolozzi L., Basset A., Bassignana M., Campanaro A., Canullo R., Carruggio F., Cavallaro V., Cianferoni F., Cindolo C., Cocciafa C., Corriero G.,

-
- D'Amico F.S., Forte L., Freppaz M., Mantino F., Matteucci G., Pierri C., Stanisci A., Colangelo P. (2018). Plant invasions in Italy: An integrative approach using the European LifeWatch infrastructure database. *Ecological Indicators* 91: 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.038>.
- Marchetto A., Rogora M., Arisci S. (2013). Trend analysis of atmospheric deposition data: A comparison of statistical approaches. *Atmospheric Environment* 64: 95-102.
- Marchi M., Ferrara C., Bertini G., Fares S., Salvati L. (2017). A sampling design strategy to reduce survey costs in forest monitoring. *Ecological Indicators* 81: 182-191.
- Maselli F., Papale D., Chiesi M., Matteucci G., Angeli L., Raschi A., Seufert G. (2014). Operational monitoring of daily evapotranspiration by the combination of MODIS NDVI and ground meteorological data: Application and evaluation in Central Italy. *Remote Sensing of the Environment* 152: 279-290. (DOI: 10.1016/j.rse.2014.06.021).
- Nestola E., Sanchez-Zapero J., Latorre C., Mazzenga F., Matteucci G., Calfapietra C., Camacho F. (2017). Validation of PROBA-V GEOV1 and MODIS C5 & C6 fAPAR Products in a Deciduous Beech Forest Site in Italy. *Remote Sensing* 9(2), 126, ISSN: 2072-4292, DOI: 10.3390/rs9020126.
- Nestola E., Scartazza A., Di Baccio D., Castagna A., Ranieri A., Cammarano M., Mazzenga F., Matteucci G., Calfapietra C. (2018). Are optical indices good proxies of seasonal changes in carbon fluxes and stress-related physiological status in a beech forest?. *Science of the Total Environment* 612: 1030-1041, ISSN: 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.167.
- Niu S., Luo Y., Fei S., Montagnani L., Bohrer G., Janssens I.A., Gielen B., Rambal S., Moors E., Matteucci G. (2011) Seasonal hysteresis of net ecosystem exchange in response to temperature change: patterns and causes. *Global Change Biology* 17: 3102-3114. Article first published online: 1 Jun 2011 DOI: 10.1111/j.1365-2486.2011.02459.x.
- Niu S., Luo Y., Fei S., Yuan W., Schimel D., Law B.E., Ammann C., Altaf Arain M., Arneth A., Aubinet M., Barr A., Beringer J., Bernhofer C., Andrew Black T., Buchmann N., Cescatti A., Chen J., Davis K.J., Dellwik E., Desai A.R., Etzold S., Francois L., Ganelle D., Gielen B., Goldstein A., Groenendijk M., Gu L., Hanan N., Helfter C., Hirano T., Hollinger D.Y., Jones M.B., Kiely G., Kolb T.E., Kutsch W.L., Lafleur P., Lawrence D.M., Li L., Lindroth A., Litvak M., Loustau D., Lund M., Marek M., Martin T.A., Matteucci G., Migliavacca M., Montagnani L., Moors E., William Munger J., Noormets A., Oechel W., Olejnik J., U K.T.P., Pilegaard K., Rambal S., Raschi A., Scott R.L., Seufert G., Spano D., Stoy P., Sutton M.A., Varlagin A., Vesala T., Weng E., Wohlfahrt G., Yang B., Zhang Z., Zhou X. (2012). Thermal optimality of net ecosystem exchange of carbon dioxide and underlying mechanisms. *New Phytologist* 194: 775-783. (DOI: 10.1111/j.1469-8137.2012.04095.x).
- Nolè A., Law B.E., Magnani F., Matteucci G., Ferrara A., Ripullone F., Borghetti M. (2009). Application of the 3-PGS model to assess carbon accumulation in forest ecosystems at a regional level. *Canadian Journal of Forest Research* 39(9): 1647-1661.
- Petraglia A., Cacciatori C., Chelli S., Fenu G., Calderisi G., Gargano D., Abeli T., Orsenigo S., Carbognani M. (2019). Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type. *Plant and Soil*, 435: 187-200. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3889-x>.
- Pither J., Fraser L.H., Jentsch A., Sternberg M., Zobel M., Cahill J., Beierkuhnlein C., Bartha S., Bennett J.A., Boldgiv B., Brown L.R., Cabido M., Campetella G., Carlyle C.N., Chelli S., Csergő A.M., Diaz S., Enrico L., Ensing D., Fidelis A., Garris H.W., Henry H.A.L., Höhn M., Klironomos J., Koorem K., Lawrence-Lodge R., Manning P., Mitchell R.J., Moora M., Pillar V.D., Stotz G.C., Sugiyama S., Szentes S., Tungalag R., Undrakhbold S., Wellstein C., Zupo T. (2016). Response to Comment by Tredennick et al. on “Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness”. *Science*, 351, 457.
- Puletti N., Giannetti F., Chirici G., Canullo R. (2017). Deadwood distribution in european forests. *Journal of Maps* Vol. 13, N. 2, 733-736.

Rezaie N., D'Andrea E., Bräuning A., Matteucci G., Bombi P., Lauteri M. (2018). Do atmospheric CO₂ concentration increase, climate and forest management affect iWUE of common beech? Evidences from carbon isotope analyses in tree rings. *Tree Physiology* 38(8): 1110-1126. DOI: 10.1093/treephys/tpy025.

Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey J., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment* 624:1429-1442. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.155.

Ruschioni S., Riolo P., Minuz R.L., Stefano M., Cannella M., Porrini C., & Isidoro N. (2013). Biomonitoring with honeybees of heavy metals and pesticides in nature reserves of the Marche Region (Italy). *Biological trace element research*, 154(2), 226-233.

Scarascia Mugnozza G., Callegari G., Veltri A., Matteucci G. (2010). Water balance and forest productivity in Mediterranean mountain environments. *Italian Journal of Agronomy* 5(2): 217-222.

Scarascia-Mugnozza G., Matteucci G. (2014). The impact of temperature and drought on the carbon balance of forest ecosystems: the case of a beech forest in central Italy. *Agrochimica* 58 (1), 34-39.

Scartazza A., Di Baccio D., Bertolotto P., Gavrichkova O., Matteucci G. (2016). Investigating the European beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf characteristics along the vertical canopy profile: leaf structure, photosynthetic capacity, light energy dissipation and photoprotection mechanisms. *Tree Physiology* 36: 1060-1076, ISSN: 0829-318X, DOI: 10.1093/treephys/tpw038.

Scartazza A., Moscatello S., Matteucci G., Battistelli A., Brugnoli E. (2015). Combining stable isotope and carbohydrate analyses in phloem sap and fine roots to study seasonal changes of source-sink relationships in a Mediterranean beech forest. *Tree Physiology* 35: 829-839 DOI: 10.1093/treephys/tpv048.

Scartazza A., Moscatello S., Matteucci G., Battistelli A., Brugnoli E. (2013). Seasonal and inter-annual dynamics of growth, non-structural carbohydrates and C stable isotopes in a Mediterranean beech forest. *Tree Physiology* 33: 730-742 (DOI: 10.1093/treephys/tpt045).

Scocco P., Piermarteri K., Malfatti A., Tardella F.M., Catorci A. (2016). Increase of drought stress negatively affects the sustainability of extensive sheep farming in sub-Mediterranean climate. *Journal of Arid Environments* 128: 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.01.006>.

Scocco P., Piermarteri K., Malfatti A., Tardella F.M., Catorci A. (2016). Effects of summer rainfall variations on sheep body state and farming sustainability in sub-Mediterranean pastoral systems. *Spanish Journal of Agricultural Research* 14(3) e03SC02. <https://doi.org/10.5424/sjar/2016143-9230>.

Tardella F.M., Bricca A., Chelli S., Campetella G., Canullo R., Cutini M., Goia I.G., Postiglione N., Catorci A. (2021). Species trait syndrome drives the leaves' functional variations of dominant grasses to modifications in summer water supply. *Plant Ecology*, 222(10): 1113-1128.

Tardella F.M., Catorci A. (2015). Context-dependent effects of abandonment vs. grazing on functional composition and diversity of sub-Mediterranean grasslands. *Community Ecology* 16 (2): 254-266.

Toderi M., Francioni M., Seddaiu G., Roggero P.P., Trozzo L. & D'Ottavio P. (2017). Bottom-up design process of agri-environmental measures at a landscape scale: Evidence from case studies on biodiversity conservation and water protection. *Land use policy*, 68, 295-305.

Vitale M., Mancini M., Matteucci G., Francesconi F., Valenti R., Attorre F. (2012). Model-based assessment of ecological adaptations of three forest tree species growing in Italy and impact on carbon and water balance at national scale under current and future climate scenarios. *iForest* 5: 235-

246 [online 2012-10-24] (URL: <http://www.sisef.it/iforest/contents? id=ifor0634-005>) DOI: 10.3832/ifor0634-005.

Waldner P., Marchetto A., Thimonier A., Schmitt M., Rogora M., Granke O., Mues V., Hansen K., Karlsson G.P., Zlindra D., Clarke N., Verstraeten A., Lazdins A., Schimming C., Iacoban C., Lindroos A.-J., Vanguelova E., Benham S., Meesenburg H., Nicolas M., Kowalska A., Apuhtin V., Napa U., Lachmanov Z., Kristoefel F., Bleeker A., Ingerslev M., Vesterdal L., Molina J., Fischer U., Seidling W., Jonard M., O'Dea P., Johnson J., Fischer R., Lorenz M. (2014). Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment* 95 (2014) 363-374.

Wang T., Ciais P., Piao S., Ottle C., Brender P., Maignan F., Arain A., Gianelle D., Gu L., Lafleur P., Laurila T., Margolis H., Montagnani L., Moors E., Nobuko S., Vesala T., Wohlfahrt G., Reichstein M., Migliavacca M., Ammann C., Aubinet M., Barr A., Bernacchi C., Bernhofer C., Black T., Davis K., Dellwik E., Dragoni D., Don A., Flanagan L., Foken T., Granier A., Hadley J., Hirata R., Hollinger D., Kato T., Kutsch W., Marek M., Matamala R., Matteucci G., Meyers T., Monson R., Munger J., Oechel W., Paw U.K.P., Rebmann C., Tuba Z., Valentini R., Varlagin A., Verma S. (2010). Controls on winter ecosystem respiration at mid- and high-latitudes. *Biogeosciences Discussion* 7, 6997-7027, 2010 (www.biogeosciences-discuss.net/7/6997/2010/; DOI: 10.5194/bgd-7-6997-2010).

Wellstein C., Campetella G., Spada F., Chelli S., Mucina L., Canullo R., Bartha S. (2014). Context-dependent assembly rules and the role of dominating grasses in semi-natural abandoned sub-Mediterranean grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 182: 113-122. ISSN: 0167-8809. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.12.016>.

Wellstein C., Chelli S., Campetella G., Bartha S., Galie' M., Spada F., Canullo R. (2013). Intraspecific phenotypic variability of plant functional traits in contrasting mountain grasslands habitats. *Biodiversity and Conservation*, 22(10): 2353-2374.

Wellstein C., Poschlod P., Gohlke A., Chelli S., Campetella G., Rosbakh S., Canullo R., Kreyling J., Jentsch A., Beierkuhnlein C. (2017). Effects of extreme drought on specific leaf area of grassland species: a meta-analysis of experimental studies in temperate and sub-Mediterranean systems. *Global Change Biology* 23(6), 2473-2481. <https://doi.org/10.1111/gcb.13662>.

Yi C., Ricciuto D., Li R., Wolbeck J., Xu X., Nilsson M. e altri 111 in ordine alfabetico tra cui Matteucci G. (2010). Climate control of terrestrial carbon exchange across biomes and continents. *Environmental Research Letters* 5 034007 (10pp) (DOI: 10.1088/1748-9326/5/3/034007).

Yuan W., Luo Y., Liang S., Yu G., Niu S., Stoy P., Chen J., Desai A.R., Lindroth A., Gough C.M., Ceulemans R., Arain A., Bernhofer C., Cook B., Cook D.R., Dragoni D., Gielen B., Janssens I., Longdoz B., Liu H., Lund M., Matteucci G., Moors E., Scott R.L., Seufert G., Varner R.: (2011) Thermal adaptation of net ecosystem exchange, *Biogeosciences* 8: 1453-1463. doi:10.5194/bg-8-1453-2011 (www.biogeosciences.net/8/1453/2011/).

Zhou Y.L., Wu X.C., Ju W.M., Chen J.M., Wang S.Q., Wang H.M., Yuan W.P., Black T.A., Jassal R., Ibrom A., Han S.J., Yan J.H., Margolis H., Roupsard O., Li Y.N., Zhao F.H., Kiely G., Starr G., Pavelka M., Montagnani L., Wohlfahrt G., D'Odorico P., Cook D., Arain M.A., Bonal D., Beringer J., Blanken P.D., Loubet B., Leclerc M.Y., Matteucci G., Nagy Z., Olejnik J., U K.T.P., Varlagin A. (2016). Global parameterization and validation of a two-leaf light use efficiency model for predicting gross primary production across FLUXNET sites. *Journal Geophysical Research Biogeosciences*, vol. 121, p. 1045-1072, ISSN: 2169-8953, DOI: 10.1002/2014JG002876.

Lavori non-**ISI**

Bertini G., Amoriello T., Piovosi M., Fabbio G. (2013). Alcune evidenze dal monitoraggio intensivo delle foreste italiane. L'accrescimento radiale degli alberi come indice di risposta ai disturbi e le sue relazioni con la struttura del soprassuolo. *Forest@* 10: 68-78.

-
- Cianfaglione K. & Pedrotti F. (2019). The Red Beech at the “Montagna di Torricchio”, Marche Region, Central Italy. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(3), 860-866.
- Conte A., Fares S., Salvati L., Savi F., Matteucci G., Mazzenga F., Spano D., Sirca C., Marras S., Galvagno M., Cremonese E., Montagnani L. (2019). Ecophysiological responses to rainfall variability in grassland and forests along a latitudinal gradient in Italy. *Frontiers in Forests and Global Change* 2, 16, <https://doi.org/10.3389/ffgc.2019.00016>.
- Dick J., Al-Assaf A., Andrews C., Díaz-Delgado R., Groner E., Halada L., Izakovičová Z., Kertész M., Khouri F., Krasic D., Krauze K., Matteucci G., Melecis V., Mirtl M., Orenstein D.E., Preda E., Santos-Reis M., Smith R.I., Vadineanu A., Veselić S., Vihervaara P. (2014). Ecosystem Services: A Rapid Assessment Method Tested at 35 Sites of the LTER-Europe Network. *Ekologia (Bratislava)* 33(3): 217-231 (DOI: 10.2478/eko-2014-0021).
- Garadnai J., Gimona A., Angelini E., Cervellini M., Campetella G., Canullo R. (2010). Scales and Diversity Responses to Management in Beech Coppice of Central Apennines (Marches, Italy): From Floristic Relevés to Functional Groups, vol. 46. Braun - Blanquetia.
- Iannetta M., Borfecchia F., Ciucci L., Compagnone L., Dibari C., Pedrotti F., Schino G. & Enea V.A. (2011). Mapping Real Vegetation in the Sibillini National Park (Central Italy): An Application of Satellite Remote Sensing. *Colloques Phytosociologiques*, 29, 347-360.
- Marchetto A., Arisci S., Tartari G.A., Balestrini R., Tait D. (2014). Stato ed evoluzione temporale della composizione chimica delle deposizioni atmosferiche nelle aree forestali della rete CONECOFOR. *Forest@ 11*: 72-85 [online 2014-04-22] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor1003-011>.
- Marchetto A., Mosello R., Tartari G., Tornimbeni O., Derome J., Derome K., Sorsa P., Keonig N., Clark N., Ulriche E., Kowalska A. (2009). Influence of QA/QC procedures on non-sampling error in deposition monitoring in forests.
- Matteucci G. (2009). Il bilancio del carbonio in ecosistemi forestali mediterranei. Atti del Terzo Congresso Nazionale di Selvicoltura. Taormina (ME), 16-19 ottobre 2008. Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, p. 551-557. ISBN 978-88-87553-16-1.
- Matteucci G., Pompei E., Canullo R. (2012). Foreste degli Appennini. In Bertone R. (a cura di), La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011): 73-82. Aracne editrice, Roma. ISBN: 978-88-548-4661-6.
- Pedrotti F. (2013). Mapping Environments. In Plant and Vegetation Mapping, pp. 261-274. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Pedrotti F. (2013). Mapping Populations. In Plant and Vegetation Mapping, pp. 7-25. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Piovesan G., Alessandrini A., Baliva M., Chiti T., D’Andrea E., De Cinti B., Di Filippo A., Hermanin L., Lauteri M., Scarascia Mugnozza G., Schirone B., Ziaco E., Matteucci G. (2010). Structural patterns, growth processes, carbon stocks in an Italian network of old-growth beech forests. *L’Italia Forestale e Montana/Italian Journal of Forest and Mountain Environments* 65(5): 557-590. (DOI: 10.4129/ifm.2010.5.07).

Libri o capitoli di libro

- Baraldi R., Rapparini F., Facini O., Kemper Pacheco C.J., Matteucci G., Brancaleoni E., Ciccioli P. (2015). Biogenic Volatile Organic Compound Emissions. In: Valentini R., Miglietta F. (edit.) *The Greenhouse Gas Balance of Italy. An Insight on Managed and Natural Terrestrial Ecosystems. Environmental Sciences and Engineering*, Springer, Berlin-Heidelberg (Germany), pp. 47-57 (DOI 10.1007/978-3-642-32424-6_3). ISBN 978-3-642-32424-6 (on line); ISBN 978-3-642-32423-9 (print).
- Chiarucci A., Campetella G., Chelli S., Giorgini D., Landi S., Canullo R. (2014). Biogeography is the major determinant of plant diversity in European forests. *Frontiers of Biogeography* vol.6 suppl.1 (ISSN – 1948-6596).

-
- Fischer R., Beck W., Calatayud V., Cools N., De Vos B., Dobbertin M., Fleck S., Giordani P., Granke O., Kindermann G., Lorenz M., Meesenburg H., Meining S., Nagel H.D., Neumann M., Scheuschner T., Stofer S. (2011). The condition of forests in Europe. ICP Forests and European Commission. Hamburg and Brussels, pp. 21, <http://icp-forests.org/RepEx.htm>.
- Hansen K., Thimonier A., Clarke N., Staelens J., Žlindra D., Waldner P., Marchetto A. (2013). Atmospheric Deposition to Forest Ecosystems. In Marco Ferretti and Richard Fischer, editors: Developments in Environmental Science, Vol. 12, Amsterdam, The Netherlands, pp. 337-374. ISBN: 978-0-08-098222-9.
- Maesano M., Matteucci G., Corona P., Scarascia Mugnozza G. (2017). Ecosystem services in mountain forests: the interaction of carbon and water balance in a beech stand in Central Italy. In: Tognetti R., Scarascia Mugnozza G., Hofer T. (editors). Mountain Watersheds and Ecosystem Services: Balancing multiple demands of forest management in head-watersheds. EFI Technical Report 101, pp. 53-62. European Forest Institute.
- Matteucci G., Manca G. (2012). Measuring CO₂ exchange at canopy scale: the eddy covariance technique. In: J. Flexas, F. Loreto, H. Medrano (edit) Terrestrial Photosynthesis in a Changing Environment, Cambridge University Press, United Kingdom, pp. 206-218. ISBN 978-0-521-89941-3.
- Matteucci G., Pompei E., Canullo R. (2012). Foreste degli Appennini. In Bertone R. (a cura di), La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011): 73-82. Aracne editrice, Roma. ISBN: 978-88-548-4661-6.
- Papale D., Migliavacca M., Cremonese E., Cescatti A., Alberti G., Balzarolo M., Belelli Marchesini L., Canfora E., Casa R., Duce P., Facini O., Galvagno M., Genesio L., Gianelle D., Magliulo V., Matteucci G., Montagnani L., Petrella F., Pitacco A., Seufert G., Spano D., Stefani P., Vaccari F.P., Valentini R. (2015). Carbon, water and energy fluxes of terrestrial ecosystems in Italy. In: Valentini R., Miglietta F. (edit.) The Greenhouse Gas Balance of Italy. An Insight on Managed and Natural Terrestrial Ecosystems. Environmental Sciences and Engineering, Springer, Berlin-Heidelberg (Germany), pp. 11-45 (DOI 10.1007/978-3-642-32424-6_2). ISBN 978-3-642-32424-6 (on line); ISBN 978-3-642-32423-9 (print).
- Waldner P., Thimonier A., Graf Pannatier E., Etzold S., Schmitt M., Marchetto A., Rautio P., Derome K., Maileena Nieminen T., Nevalainen S., Lindroos A.-J., Merilä P., Kindermann G., Neumann M., Cools N., de Vos B., Roskams P., Verstraeten A., Hansen K., Pihl Karlsson G., Dietrich H.-P., Raspe S., Fischer R., Lorenz M., Iost S., Granke O., Sanders T.G.M., Michel A., Nagel H.-D., Scheuschner T., Simončič P., von Wilpert K., Meesenburg H., Fleck S., Benham S., Vanguelova E., Clarke N., Ingerslev M., Vesterdal L., Gundersen P., Stupak I., Jonard M., Potočić N., Minaya M. (2015). Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. Annals of Forest Science, 72:929-939.

Poster e comunicazioni a congressi

- Bartha S., Campetella G., Canullo R., Chelli S., Mucina L. (2009). Clonal growth modes in a beech coppice context: social behaviour type and clonal strategy changes along a chronosequences. In: Coles S. & Dimopoulos P. (Eds.) (2009). Vegetation processes and Human Impact in a Changing World. 52st Annual Symposium of IAVS, Abstracts, University of Ioannina, Agrinio, Greece, p. 138. Poster.
- Bartha S., Canullo R., Campetella G., Merolli A., Garadnai J., Gatto S., Chelli S. (2008). Assessing the effect of landuse in beech forests - an example from central Apennines, Italy. In Chytrý M. (Ed): Abstracts of 17th International Workshop, European Vegetation Survey, "Using phytosociological data to address ecological questions", 1-5 May 2008, Masaryk University, Brno, Czech Republic, p. 11. ISBN: 978-80-210-4589-9. Poster.
- Campetella G., Gatto S., Chelli S., Canullo R., Bartha S., Merolli A., Angelini E. (2008). Effects on vascular plant diversity and functional traits after coppicing disturbance in beech forests, central

-
- Apennines, Italy. In: Mucina L. *et al.* (Eds). *Frontiers of vegetation science – An evolutionary angle*. pp. 29-30. Keith Phillips Images, Somerset West. ISBN: 978-0-9584766-9-0. Poster.
- Cervellini M., Fiorini S., Gimona A., Campetella G., Chelli S., Cavicchi A., Canullo R. (2014). A first approach to the Social-Ecological System of Central Apennines coppice forests (Sibillini and Torricchio protected areas). Ottava Assemblea nazionale della Rete LTER Italia. 14-15 Maggio, Università di Torino. Comunicazione orale.
- Cervellini M., Fiorini S., Gimona A., Campetella G., Chelli S., Cavicchi A., Canullo R. (2013). Identifying social ecological key variables in the beech coppice forest system in Central Italian Apennine. Paper to the international workshop Perspectives on Forest Conservation – Tackling the Frontier between Policy and Conservation Science. Reviewed. Freiburg, Germany. Comunicazione orale.
- Cervellini M., Fiorini S., Gimona A., Campetella G., Chelli S., Cavicchi A., Canullo R. (2013). Identifying social ecological key variables in the beech coppice forest system in Central Italian Apennine. Paper to the international workshop Perspectives on Forest Conservation - Tackling the Frontier between Policy and Conservation Science. Reviewed. Freiburg, Germany. Poster.
- Cervellini M., Gimona A., Campetella G., Simonetti E., Chelli S., Fiorini S., Canullo R. (2013). Plant community changes along a chronosequence of Beech coppice stands, Central Apennines, Italy. In: Pussa K., Kalamees R., Hallop K. (Eds), 56th Symposium of the International Association for Vegetation Science: Abstracts. University of Tartu. ISBN: 978-9985-4-0754-7. Poster.
- Chelli S., Campetella G., Canullo R. (2012). E-Changes experiment: effect of climate change on Apennine grasslands. Methods and first results. Rete LTER Italia, sesta assemblea nazionale. Roma, CNR, 29-30 Marzo 2012. Comunicazione orale.
- Chelli S., Campetella G., Cervellini M., Quintero G., Canullo R., Bartha S., Wellstein C. (2012). Effetti dei cambiamenti climatici sulle praterie montane dell'Appennino. Primi risultati. Giornata di studio "Cambiamento climatico: analisi ed impatti sugli ecosistemi vegetali". Società Botanica Italiana, Gruppo di Ecologia. Varese, 18 Aprile 2012. Comunicazione orale.
- Chelli S., Campetella G., Cervellini M., Quintero G., Canullo R., Bartha S., Wellstein C. (2012). Effetti dei cambiamenti climatici sulle praterie montane dell'Appennino. Primi risultati. In: Atti del Convegno "Cambiamento climatico: Analisi ed impatti su specie ed ecosistemi vegetali". A cura di: Cannone N., Barni E., Marignani M. (Ed). Gruppo di Ecologia della Società Botanica Italiana, Varese, 18 aprile 2012, 87 pp. ISBN 978-88-904708-2-0. Poster.
- Chelli S., Canullo R., Campetella G., Schmitt A.O., Bartha S., Cervellini M., Wellstein C. (2015). The importance of early season precipitation conditioning sub-mediterranean grassland responses to rainfall variation. In: Chytry M., Zeleny D., Hettenbergerova E. (eds), Understanding broad-scale vegetation patterns. 58th Symposium of the International Association for Vegetation Science. Brno, Czech Republic 19-24 July 2015. ISBN: 978-80-2107860-4. Poster.
- Chelli S., Simonetti E., Campetella G., Cervellini M., Canullo R. (2019). Intraspecific variability of specialist species drives SLA changes in the understory of Beech coppice forests. 38th meeting of the Eastern Alpine and Dinaric Society for Vegetation Ecology. Colfiorito (Italy) – 8th-12th May 2019. ISBN: 9788867680399. Comunicazione orale.
- Chelli S., Wellstein C., Campetella G., Bartha S., Cervellini M., Canullo R. (2013). The effects of extreme climate changes on the productivity of Apennines mountain grasslands. 2013 Palinology: the bridge between paleoecology and ecology for the understanding of human-induced global changes in the Mediterranean area. Modena, 27-29 May 2013. Comunicazione orale.
- Chelli S., Wellstein C., Campetella G., Bartha S., Cervellini M., Canullo R. (2013). Effects of extreme weather events on Apennines grasslands productivity. 5th Symposium for Research in Protected Areas, 10-12 June 2013 – Hohe Tauern National Park Center, Mittersill, Salzburg, Austria, pp 97-102. Poster.

-
- Chelli S., Wellstein C., Campetella G., Bartha S., Spada F., Canullo R. (2011). Variability in leaf functional traits in contrasting mountain grassland, central Apennines, Italy. In: Bornette G. & Puijalon S. (Eds), 54th Symposium of the International Association for Vegetation Science: Abstracts. Université Lyon 1 Service Formation Continue et Alternance. ISBN: 978-2-9539515-1-6. Poster.
- Chiarucci A., Giorgini D., Campetella G., Chelli S., Canullo R. (2014). The diversity of Italian forests: a interactive product of biogeography and ecology. 23rd EVS-Workshop, Ljubljana 8-12 May 2014 (oral presentation).
- Corriero G., Acosta A., Allegrini M.C., Austoni M., Barbone N., Bartolozzi L., Bassett A., Bastianini M., Bavestrello G., Bernardi Aubry F., Boero F., Boggero A., Buia M.C., Cabrini M., Campanaro A., Campetella G., Canullo R., Frine C., Carranza M.L., Cataletto B., Cattaneo A., Cattaneo Vietti R., Cavraro F., Cecere E., Cervellini M., Cesaroni D., Chelli S., Chiapparelli S., Cianferoni F., Cibic T., Coccia C., Elia A.C., De Felici S., De Olazabal A., D'Onghia G., Finotto S., Fiore N., Fontaneto D., Fornasaro D., Franzoi P., Fraschetti S., Frate L., Fuentes D., Gaino E., Gaudiano L., Giangrande A., Goretti E., In-grosso W., Keppel E., Labadessa R., La Porta G., Longo C., Lorenti M., Lorenzoni M., Lucarini D., Ludovisi A., Malavasi S., Manca M., Maiorano P., Marchetto A., Marra M., Martin Dorr A., Mastrototaro F., Mazzocchi M.G., Minari E., Mistri M., Monti M., Morabito G., Munari C., Nonnis M.C., Oggioni A., Patti F.P., Pelino G., Petrocelli A., Pierri C., Pugnetti A., Riccarducci G., Rosati I., Riccardi N., Santoro R., Sarno D., Sbordoni V., Sorino R., Scipione B., Sigovini M., Sion L., Stanisci A., Tagliapietra D., Tirelli V., Tursi A., Ungaro N., Volta P., Zingone A., Zucchetta M., Zupo V. (2012). Ecosystem fragility to alien and invasive species. Riassunti XXII Congresso S.It.E. vol. 1, p. 40. Poster.
- Forconi P. (2012). Il monitoraggio del gatto selvatico e del lupo con foto-videotrappole in un'area dell'Appennino centrale. Atti del Convegno "Il foto-video trappolaggio in Italia: primi risultati di una nuova tecnica di ricerca scientifica per la fauna selvatica". 9 luglio 2011-Pettorano sul Gizio (AQ), 34. Poster.
- Simonetti E., Chelli S., Campetella G., Chiarucci A., Cervellini M., Tardella F.M., Tomasella M., Peconi C., Canullo R. (2018). Cambiamenti della diversità vegetale nella Riserva Naturale Montagna di Torricchio: un metodo di campionamento probabilistico per valutazioni quantitative. XII Assemblea Nazionale della Rete LTER-Italia. Bolzano, 28-30 Maggio 2018. Comunicazione orale.
- Tardella F.M., Bricca A., Piermarteri K., Postiglione N., Goia I., Chelli S., Campetella G., Canullo R., Catorci A. (2017). Functional response of graminoid species to changing summer water availability: insight into the effects of climate change in sub-Mediterranean meadows. First international conference on community ecology. Budapest, Hungary, 28-29 September 2017. ISBN: 978-963-454-170-7. Comunicazione orale.
- Wellstein C., Campetella G., Spada F., Chelli S., Mucina L., Canullo R., Bartha S. (2013). Does functional diversity show maximum in fine-scale diversity hotspots? 56th Symposium of the International Association for Vegetation Science: Abstracts. University of Tartu. 25-30/06/2013. Comunicazione orale.
- Wellstein C., Campetella G., Spada F., Chelli S., Mucina L., Canullo R., Bartha S. (2013). Does functional diversity show maximum in fine-scale diversity hotspots? In: Pussa K., Kalamees R., Hallop K. (Eds), 56th Symposium of the International Association for Vegetation Science: Abstracts. University of Tartu. ISBN: 978-9985-4-0754-7. Poster.

Tesi di laurea e dottorato

Antinori T. (A.A. 2016-2017). Risposta della produzione epigea di una faggeta sottoposta a differenti livelli di fertilizzazione. Tesi di laurea. Università degli Studi della Tuscia – DIBAF.

-
- Belfiori D. (A.A. 2012) Biomonitoraggio ambientale dei parchi e delle riserve naturali delle Marche mediante l'utilizzo dell'ape domestica (*Apis mellifera* L.). Tesi di Dottorato. Università Politecnica delle Marche.
- Caucci F. (A.A. 2011-2012). Il seed bank di una cronosequenza delle faggete cedue dell'Appennino marchigiano: primi risultati. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Cervellini M. (A.A. 2014). Socio-Ecological system of coppiced forests in the Italian Marche Region's central Apennine. Tesi di Dottorato. Università degli studi di Camerino.
- Chelli S. (A.A. 2013). Plant functional traits and environmental variations. Tesi di Dottorato. Università degli studi di Camerino.
- Consorti E. (A.A. 2017-2018). Plant assembly rules in two different grasslands in the nature reserve of Torricchio: the use of spatial point pattern analyses. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Corradini C. (A.A. 2010-2011). Rilevamento dell'avifauna della Riserva Naturale "Montagna di Torricchio" attraverso l'approccio bioacustico. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Di Carlo M. (A.A. 2015-2016). Analisi della crescita intra-annuale in una faggeta sperimentale. Tesi di laurea. Università degli Studi della Tuscia – DIBAF.
- Ferrara A. (A.A. 2017-2018). Misurazione di caratteri fenotipici della flora dei pascoli di Torricchio ed implementazione della DataBase della Bioflora. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Graterol C.E.A. (A.A. 2017-2018). Analisi e validazione del portale metadati della Riserva naturale Montagna di Torricchio (ricerche ed azioni 1991-2018). Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Kinuthia M.W. (A.A. 2016-2017). Plant functional traits in a beech forest ecosystem. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Laurenzi E. (2008-2009). Gestione e accessibilità dei dati in un'area ILTER: linee guida per la Riserva naturale "Montagna di Torricchio. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Lingxing M. (A.A. 2018-2019). Community-level Trait Comparison in Post-logged vs. Old-coppice Forests. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Lucarelli M. (A.A. 2017-2018). Valutazione di "Soft Traits" a scala fine in due pascoli della Riserva naturale "Montagna di torricchio". Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Matalucci A. (A.A. 2010-2011). Variabilità intraspecifica dei traits funzionali in risposta a diverse condizioni ambientali nei pascoli della Riserva Naturale Montagna di Torricchio. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Mazzenga F. (A.A. 2017). Analisi di lungo termine sui fattori di controllo dello scambio di carbonio in una faggeta dell'Italia centro meridionale. Tesi di dottorato. Università degli Studi della Tuscia – DIBAF.
- Panico S. (2017-2018). Phenotypic variability and environmental factors for an endemic plant species along a light and water availability gradient. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Peci V. (A.A. 2018-2019). Variation of anatomical traits across species and forests stands. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Peconi C. (A.A. 2012-2013). Il rapporto tra ricchezza specifica e produttività dei pascoli sub-mediterranei nella Riserva Naturale "Montagna di Torricchio. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Satta P. (A.A. 2015-2016). Effetti indotti dalla fertilizzazione azotata sui pool labili del carbonio e dell'azoto nel suolo di una faggeta, correlatore del Dott. Pietro Satta, Tesi di laurea. Università degli Studi della Tuscia – DIBAF.
- Simonetti E. (A.A. 2010-2011). Analisi comparativa (2006-2011) sui cambiamenti della diversità di specie vascolari in una cronosequenza di boschi cedui di faggio dell'appennino marchigiano. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.

-
- Sperandio G. (A.A. 2010-2011). Studio della dinamica di popolazione della specie arbustiva *Cytisus sessilifolius*. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Tolu F. (A.A. 2017-2018). Effect of iterated mowing on functional traits of *Brachypodium rupstre* and their interplay with the fine-scale plant community functional structure. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Trippetta S. (A.A. 2009-2010). Struttura, diversità e modelli spaziali in due stazioni contrastanti di pascolo nella Riserva Naturale di Torricchio. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Wasim M. (A.A. 2015-2016). Beech forest stand dynamics in natural reserve Montagna di Torricchio. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Xinfang X. (A.A. 2018-2019). How context-dependent fine-scale variations affect coenological structure of un-managed sub-Mediterranean grasslands. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.
- Zhang T. (A.A. 2018-2019). Intraspecific trait variability of clonal plants in beech forest understory. Tesi di laurea. Università degli studi di Camerino.

Database

Reyer C.P.O., Silveyra Gonzalez R., Dolos K., Hartig F., Hauf Y., Noack M., Lasch-Born P., Rötzer T., Pretzsch H., Meesenburg H., Fleck S., Wagner M., Bolte A., Sanders T., Kolari P., Mäkelä A., Vesala T., Mammarella I., Pumpanen J., Matteucci G., Collalti A., D'Andrea E., Foltýnová L., Krejza J., Ibrom A., Pilegaard K., Loustau D., Bonnefond J.-M., Berbigier P., Picart D., Lafont S., Dietze M., Cameron D., Vieno M., Tian H., Palacios A., Cicuendez V., Recuero L., Wieze K., Büchner M., Lange S., Volkholz J., Kim H., Weedon G.P., Sheffield J., Vega del Valle I., Suckow F., Horemans J., Martel S., Bohn F., Steinkamp J., Chikalanov A., Frieler K. (2019). The PROFOUND database for evaluating vegetation models and simulating climate impacts on forests V.0.1.12. GFZ Data Services. <http://doi.org/10.5880/PIK.2019.008>.

Report

Giorgini D., Chelli S., Campetella G., Chiarucci A., Canullo R. (2014). Validation of *a priori* forest type classifications to predict floristic composition. X Convegno Nazionale sulla Biodiversità. 3-5 settembre 2014, Consiglio Nazionale delle Ricerche (Roma).

IT04-T FORESTE MEDITERRANEE

Autori

Giancarlo Papitto¹, Cristiana Cocciafa¹, Silvano Fares², Luca Salvati³, Tiziano Sorgi⁴, Valerio Moretti⁴, Roberto Canullo⁵, Stefano Carnicelli⁶, Guia Cecchini⁶, Anna Andreetta⁶, Filippo Bussotti⁷, Martina Pollastrini⁷, Giorgio Matteucci⁸, Bruno De Cinti⁹, Giancarlo Fabbio¹⁰, Andrea Cutini¹⁰, Giada Bertini¹⁰, Maurizio Piovosi¹⁰, Luca Marchino¹⁰, Elena Paoletti¹¹, Aldo Marchetto¹², Giorgio Brunialti¹³, Luisa Frati¹³

Affiliazione

- ¹ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via dei Taurini, 19 – 00100 Roma, Italia.
- ³ Università di Macerata, Dipartimento di Economia e Diritto, Via Armaroli, 43 – 60200 Macerata, Italia
- ⁴ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Via Valle della Quistione 27, 00166 Roma, Italia.
- ⁵ Università di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC), Italia.
- ⁶ Università di Firenze (UNIFI-DST), Dipartimento di Scienze della Terra, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze (Italia).
- ⁷ Università di Firenze (UNIFI-DAGRI), Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Via G. Donizetti 6, 50144 Firenze (Italia).
- ⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Salaria km 29.300, 00016 Monterotondo (RM), Italia.
- ¹⁰ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo, Italia.
- ¹¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (CNR-IRET), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia.
- ¹² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR – IRS), Largo Tonolli 50, 28922 Verbania-Pallanza (VB), Italia.
- ¹³ TerraData environmetrics, Spin-off dell'Università degli Studi di Siena, Via L. Bardelloni 19, 58025 Monterotondo Marittimo (GR).

Tipologia di ecosistema: terrestre.

Referenti macrosito: Ten. Col. Giancarlo Papitto; App. Sc. Cristiana Cocciafa

Siti di ricerca nel Macrosito:

Monte Rufeno (LAZ1), IT04-001-T

Colognole (TOS1), IT04-002-T

Ficuzza (SIC1), IT04-003-T

DEIMS: ID: <https://deims.org/5355f2c8-2f10-440d-9faf-72611855a259>

Citare questo capitolo come segue: Papitto G., Cocciafa C., Fares S. *et al.* (2021). IT04-T Foreste Mediterranee, p. 179-198. DOI: 10.5281/zenodo.5584735. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito LTER Foreste Mediterranee (IT 04 000 T Foreste Mediterranee) è costituito da tre aree di monitoraggio forestale intensivo ICP Forests di II Livello (<http://icp-forests.net/>), appartenenti al Programma Nazionale CONECOFOR (dal 1995; Papitto *et al.* 2018). I tre Siti di ricerca sono localizzati in Toscana (Colognole – LI, TOS1), Lazio (Acquapendente – VT, LAZ1) e Sicilia (Godrano – PA, SIC1). Ogni area è un quadrato recintato di 50 m di lato, all'interno del quale si trovano campionatori passivi e centraline di rilievo automatiche, che hanno lo scopo di raccogliere dati sui processi fisiologici

che riflettono le interazioni degli alberi con il loro ambiente di vita e capaci di fornire preziose informazioni sugli impatti dell'inquinamento atmosferico sulle foreste e sulle alterazioni prodotte dai composti inquinanti sull'accrescimento delle piante, sul bilancio dei loro nutrienti fogliari e sulla funzionalità dei suoli, dimostrando di possedere anche la giusta flessibilità richiesta dalle attuali sfide conoscitive sul funzionamento degli ecosistemi forestali semi-naturali. Le tre aree, seppure disgiunte sul territorio nazionale, sono state incluse in questo Macrosito LTER perché rappresentanti le censi boschive della fascia Mediterranea, con prevalenza delle specie arboree cerro (*Quercus cerris* L.) e leccio (*Quercus ilex* L.). Tali censi sono soggetti al tipico andamento climatico mediterraneo (estati calde ed asciutte, inverni miti e piovosità autunnale), presenza di specie vegetali sempreverdi o sclerofille, nonostante la localizzazione non solo costiera, ma anche submontana e pre-appenninica (come nel caso del sito di Viterbo, Monte Rufeno).

Il monitoraggio forestale ha un costo piuttosto elevato che, quando non assicurato da fondi come i progetti europei LIFE (https://ec.europa.eu/easme/en/life); tra questi, l'ultimo LIFE+ ENV13IT000813 "Smart4Action" (Sustainable Monitoring and Reporting to Inform Forest and Environmental Awareness and Protection") ha permesso di svolgere una "spending review" della rete nazionale di monitoraggio. Sulla base dei risultati elaborati, è stato possibile calcolare quali modifiche nelle tempistiche dei protocolli di monitoraggio, nelle frequenze di campionamento e nel numero delle repliche sarà possibile applicare per ottenere significativi risparmi di spesa, pur mantenendo la validità scientifica dei dati raccolti. Tali risultati hanno consentito, altresì, di operare una selezione, assegnando una priorità alle aree ICP

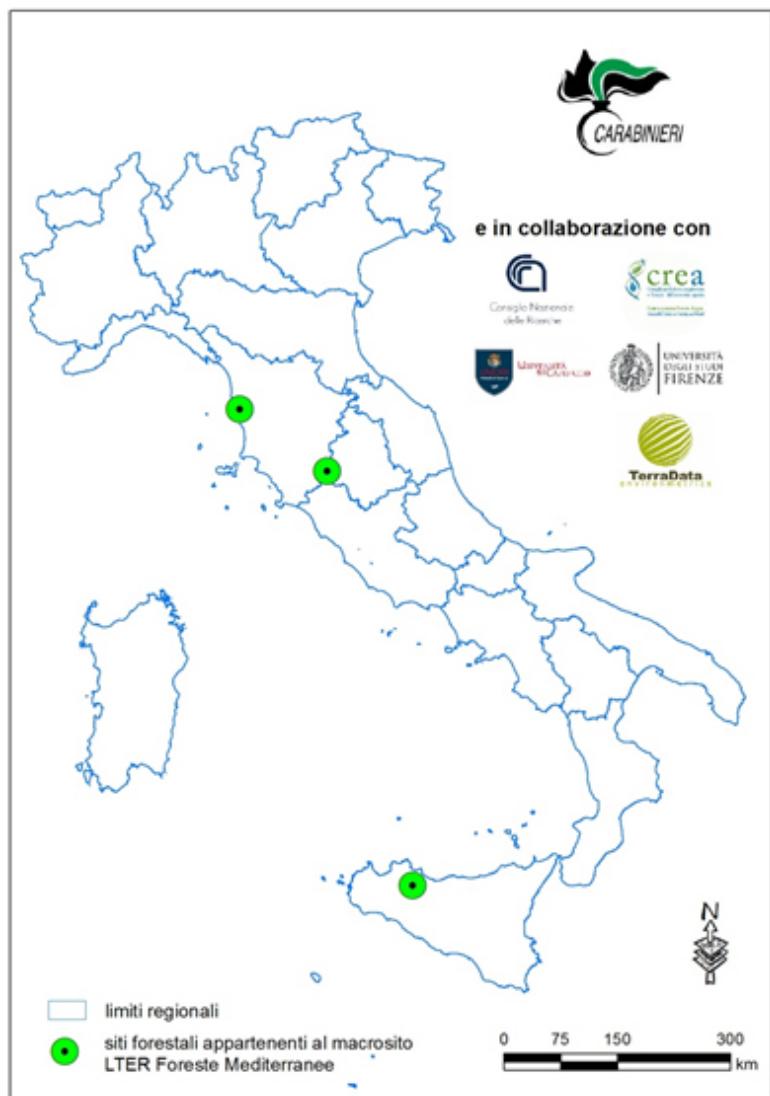


Fig. 1 - Localizzazione GIS dei siti forestali appartenenti al Macrosito LTER Foreste Mediterranee

nazionali, è ricercato in altre fonti di finanziamento, (<https://ec.europa.eu/easme/en/life>); tra questi, l'ultimo LIFE+ ENV13IT000813 "Smart4Action" (Sustainable Monitoring and Reporting to Inform Forest and Environmental Awareness and Protection") ha permesso di svolgere una "spending review" della rete nazionale di monitoraggio. Sulla base dei risultati elaborati, è stato possibile calcolare quali modifiche nelle tempistiche dei protocolli di monitoraggio, nelle frequenze di campionamento e nel numero delle repliche sarà possibile applicare per ottenere significativi risparmi di spesa, pur mantenendo la validità scientifica dei dati raccolti. Tali risultati hanno consentito, altresì, di operare una selezione, assegnando una priorità alle aree ICP

Forests-CONECOFOR, che rispondono meglio ai criteri utili ad ottenere la massima efficacia di monitoraggio con la minore spesa. Il sito LAZ1 Monte Rufeno appartiene a tale categoria.

Abstract

The LTER site “Mediterranean Forests” (IT 04 000 T Mediterranean Forests) consists of three ICP Forests Level II intensive monitoring plots (<http://icp-forests.net/>), belonging to the CONECOFOR National Program (since 1995). The three Research Sites are located in Tuscany (Colognole – LI, TOS1), Lazio (Acquapendente – VT, LAZ1) and Sicily (Godrano – PA, SIC1). Each area is a 50m fenced square area, where passive samplers and automatic survey units are located, which are designed to collect data on the physiological processes that reflect the interactions of trees with their living environment and provide valuable information on the impacts of atmospheric pollution on forests and the alterations produced by polluting compounds on plant growth, on the balance of their foliar nutrients and on the functionality of soils, proving to also possess the right flexibility required by the current knowledge challenges on functioning of semi-natural forest ecosystems. The three areas, so far apart from each other on the national territory, have been included in this LTER macrosite because they represent the woody cenoses of the Mediterranean belt, with a prevalence of tree species from Turkey (*Quercus cerris* L.) and holm oak (*Quercus ilex* L.). These woods are characterized by the typical Mediterranean climate (hot and dry summers, mild winters and autumn rainfall), presence of evergreen or sclerophyllous plant species, despite submontane and pre-Apennine location (as in the case of the site of Monte Rufeno). However, forest monitoring has a rather high cost that, when not insured by national funds, is sought in other sources of funding, such as European projects. The ICP Forests-CONECOFOR areas have been included in several LIFE projects (<https://ec.europa.eu/easme/en/life>), including the last one LIFE + ENV13EN000813 “Smart4Action” (Sustainable Monitoring and Reporting to Inform Forest and Environmental Awareness and Protection”) which enabled to carry out a “spending review” on the national monitoring network. On the basis of the results obtained, it was possible to calculate which changes in the timing of the monitoring protocols, in the sampling frequencies and in the number of replicas will be feasible in order to obtain significant cost savings, while maintaining the scientific value of the collected data. These results also allowed to select and prioritize the ICP Forests-CONECOFOR areas, better responding to the criteria needed to achieve the maximum monitoring efficiency with the least expense. The LAZ1 Monte Rufeno site turned out to belong to this category.

Monte Rufeno (LAZ1)

Autori

Giancarlo Papitto¹, Cristiana Cocciafa¹, Silvano Fares², Luca Salvati³, Tiziano Sorgi⁴, Valerio Moretti⁴, Roberto Canullo⁵, Stefano Carnicelli⁶, Guia Cecchini⁶, Anna Andreetta⁶, Filippo Bussotti⁷, Martina Pollastrini⁷, Giorgio Matteucci⁸, Bruno De Cinti⁹, Giancarlo Fabbio¹⁰, Andrea Cutini¹⁰, Giada Bertini¹⁰, Maurizio Piovosi¹⁰, Luca Marchino¹⁰, Elena Paoletti¹¹, Aldo Marchetto¹², Giorgio Brunialti¹³, Luisa Frati¹³

Affiliazione

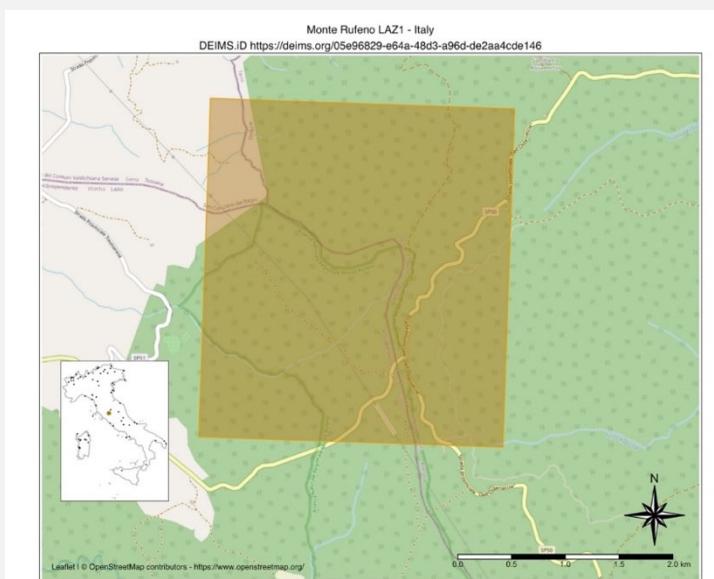
- ¹ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via dei Taurini, 19 – 00100 Roma, Italia.
- ³ Università di Macerata, Dipartimento di Economia e Diritto, Via Armaroli, 43 – 60200 Macerata, Italia
- ⁴ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Via Valle della Quistione 27, 00166 Roma, Italia.
- ⁵ Università di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC), Italia.
- ⁶ Università di Firenze (UNIFI-DST), Dipartimento di Scienze della Terra, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze (Italia).
- ⁷ Università di Firenze (UNIFI-DAGRI), Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Via G. Donizetti 6, 50144 Firenze (Italia).
- ⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano, 10 - 50019 Sesto Fiorentino (FI)
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Salaria km 29.300, 00016 Monterotondo (RM), Italia.
- ¹⁰ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo, Italia.
- ¹¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (CNR-IRET), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia.
- ¹² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR – IRSA), Largo Tonolli 50, 28922 Verbania-Pallanza (VB), Italia.
- ¹³ TerraData environmetrics, Spin-off dell'Università degli Studi di Siena, Via L. Bardelloni 19, 58025 Monterotondo Marittimo (GR).

Sigla: IT04-001-T

Responsabile sito: Ten. Col. Giancarlo Papitto Arma dei Carabinieri – Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari.

DEIMS.ID:

<https://deims.org/05e96829-e64a-48d3-a96d-de2aa4cde146>



Descrizione del sito e finalità

Il sito di ricerca di Monte Rufeno (690 m slm) si inserisce nel tipico paesaggio collinare dell'alto Lazio, che ha subito in passato un intenso sfruttamento da parte dell'uomo. La specie arborea dominante è il cerro (*Quercus cerris* L.). Per lungo tempo e fino agli anni '60 dello scorso secolo, gli estesi boschi di cerro sono stati sottoposti a taglio ceduo per la produzione di legna da ardere. Con l'interruzione della pratica del taglio, i popolamenti forestali hanno subito un progressivo invecchiamento e si presentano oggi come boschi prevalentemente monospecifici e monoplani. Sono inoltre presenti rimboschimenti di conifere. Peculiarità del territorio sono la ricchezza idrica e l'accentuato dinamismo legato ai fenomeni franosi, in corrispondenza degli strati argillosi del terreno. Il plot di monitoraggio forestale intensivo è stato istituito nel 1995. Le ricerche ICP Forests attive sono riepilogate nella tabella 1.



Fig. 2 - Bosco di Monte Rufeno (Acquapendente, VT); dettaglio tabelle esplicative e campionatori delle deposizioni atmosferiche "in the plot" gennaio 2018 (Foto Arma dei Carabinieri)

Tab. 1 - Attività di ricerca attualmente in corso nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno (LAZ1), con indicazione dell'Ente responsabile, della frequenza di campionamento e della lunghezza della serie storica disponibile; (*) a cura del progetto LIFE MOTTLIES. Il sito di ricerca è incluso nella Riserva naturale Regionale Monte Rufeno. Questa localizzazione arriccia idealmente il sito alle ricerche sulla biodiversità animale e vegetale in corso nell'area protetta: lo studio della biodiversità infatti è svolto nel sito solo in occasione di specifici progetti, ma rappresenta una delle sue evidenti potenzialità per il futuro. L'area fa parte inoltre parte del SIC IT6010004

RICERCHE	Valutazione condizione delle chiome	Chimica Soluzione nei suoli	Analisi Nutrienti Fogliari	Deposizioni Bulk	Conc. Ozono (*)	Meteo OF	Meteo IP	Diversità Vegetale	Accrescimenti Arborei	Bande di accrescimento	Lettiera
Ente Responsabile	Arma dei Carabinieri; Università di Firenze; Linnaea Ambiente	Università di Firenze	CNR IRET CNR IBE	CNR IRSIA	CNR IRET	CREA FL (Roma)	CREA FL (Roma)	Università di Camerino	CREA FL (Arezzo)	CREA FL (Arezzo)	CREA FL (Arezzo)
Frequenza di Campionamento	Annuale (Luglio-Agosto)	sett./bisett. (Aprile-Settembre)	ogni 2 anni	sett.	Settimanale (Aprile-Settembre)	giornal.	giornal.	annuale	ogni 5 anni	annuale	annuale
Serie Storica	1996-oggi	1997-oggi	1997-oggi	1998-oggi	1996-2014 +LIFE Mottles	1997-oggi	1997-oggi	1997-oggi	1996-2014	2010-2018	1998-2017

Risultati

Le ricerche nel sito LTER di Monte Rufeno risultano ulteriormente strutturate grazie alla partecipazione dell'area di studio al progetto **LIFE MOTTLES** “MOonitoring ozone injury for seTTing new critical LevelS” (<http://mottles.ipsp.cnr.it/>) per lo studio degli impatti dell'ozono sugli ecosistemi forestali. Mottles ha creato una rete stazioni di monitoraggio con campionatori attivi di O₃, sensori meteorologici e dendrometri. Il gruppo di lavoro esegue una valutazione annuale per il danno visibile da O₃, la defogliazione, la fenologia, la conduttanza stomatica a livello fogliare e l'analisi microscopica, insieme a descrizioni fitosociologiche e pedologiche. Gli indicatori di risposta registrati sono quindi basati sui flussi stomatici di ozono e valutati per stabilire le soglie per la protezione delle foreste da O₃.

Inoltre, il sito di Monte Rufeno è entrato a far parte della **Rete NEC Italia**, insieme ad altri 5 siti della rete ICP Forests – CONECOFOR di II Livello (Fig. 3), alcuni siti forestali e siti di ambiente lacustre appartenenti ad altre infrastrutture ed enti.

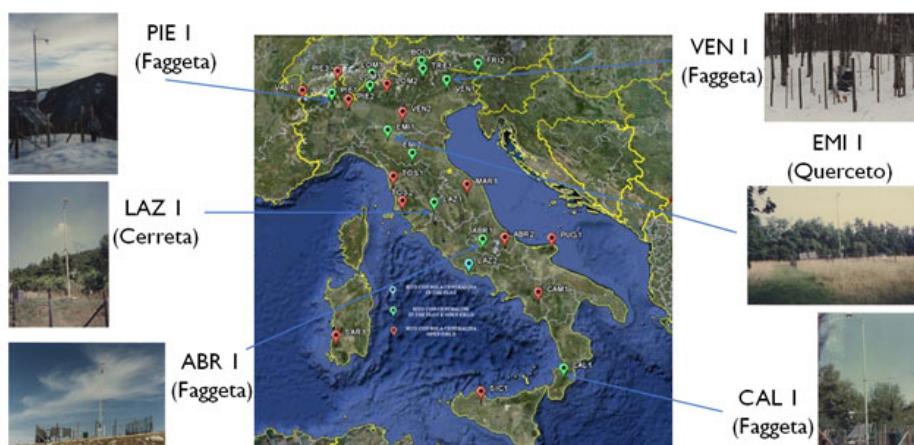


Fig. 3 - Siti ICP Forests – CONECOFOR appartenenti alla Rete NEC Italia, tra i quali il sito LTER IT04 001 T Monte Rufeno (LAZ1)

RAPPORTI DI COLLABORAZIONE RETE NEC ITALIA

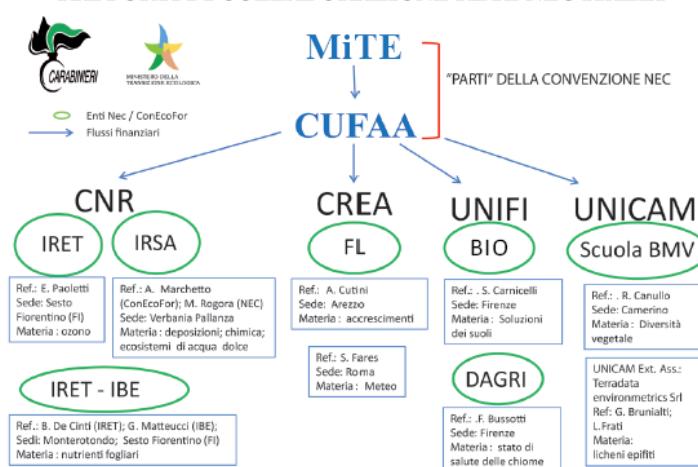


Fig. 4 - Struttura dei rapporti di collaborazione all'interno della Rete NEC Italia, di cui il sito LTER IT04 001 T Monte Rufeno (LAZ1) fa parte

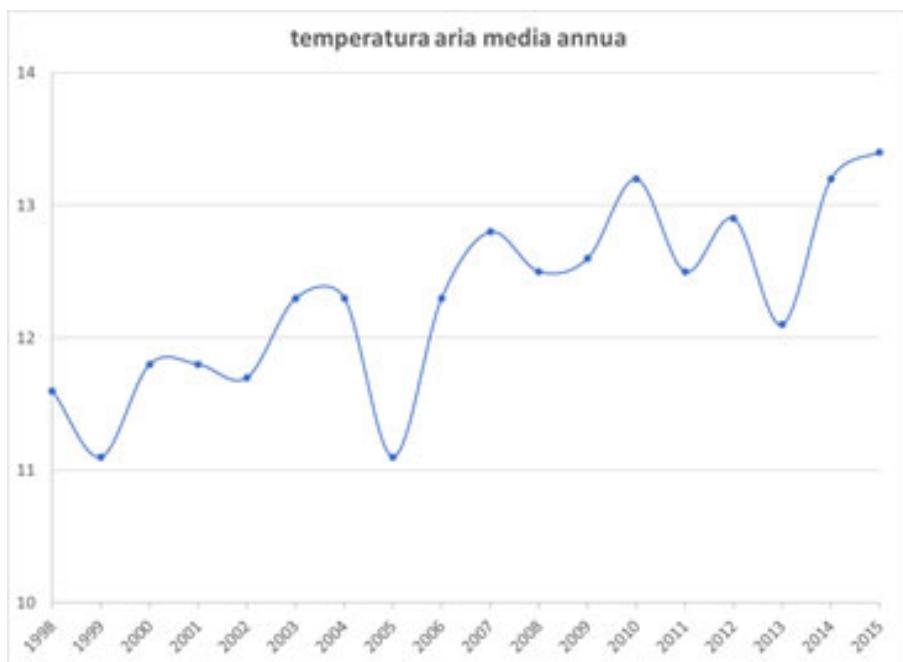
La Rete NEC Italia risponde alle esigenze nazionali relative agli obblighi previsti dalla Direttiva (UE) 2016/2284 concernente la riduzione delle emissioni nazionali di inquinanti atmosferici (National Emission Ceiling, NEC), in particolare riguardo gli impatti di tali inquinanti sugli ecosistemi. La Fig. 4

mostra i rapporti di collaborazione all'interno della Rete, a supporto degli obblighi internazionali del Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare (dal 22 aprile 2021 Ministero della Transizione Ecologica, MiTE).

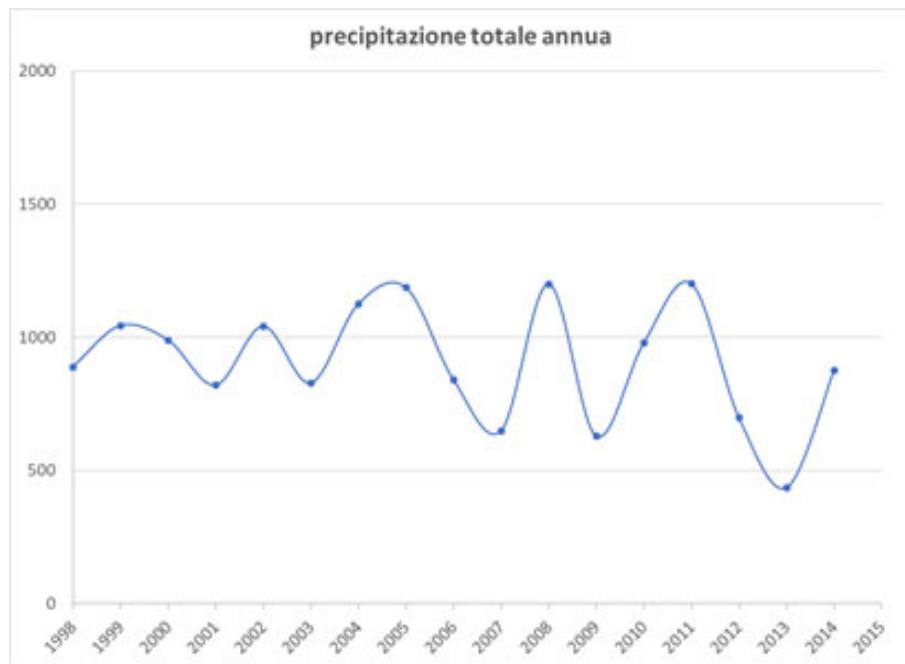
Nell'ambito della Rete NEC Italia, è stato attivato il monitoraggio della biodiversità dei licheni epifiti, che risponde perfettamente alle esigenze dettate dall'art. 9 della Direttiva NEC, in quanto questi organismi, sensibili ai composti atmosferici fitotossici (in particolare SO₂ ed NO_x) possono essere utilizzati per studiare gli impatti dell'inquinamento atmosferico sulle foreste (Nimis *et al.* 2002; Brunialti *et al.* 2009; Papitto *et al.* 2019).

Nel 2019, il sito LAZ1 (Monte Rufeno) è risultato quello con i valori maggiori di biodiversità lichenica (media= 107, min= 86, max= 163) e il maggior numero medio di specie per albero (16). I rilievi sono caratterizzati da comunità licheniche ricche in specie caratteristiche di boschi cedui di querce decidue. Molto interessanti sono le segnalazioni di due specie crostose caratteristiche di aree dal clima caldo umido, distribuite principalmente sul versante tirrenico della penisola: Arthonia stellaris Kremp. e Blastenia herbidella (Hue) Servít, incluse nella lista rossa italiana dei licheni epifiti rispettivamente come "Endangered" (a rischio di estinzione) e "Near-threatened" (quasi minacciata) (Brunialti *et al.* 2020a, 2020b).

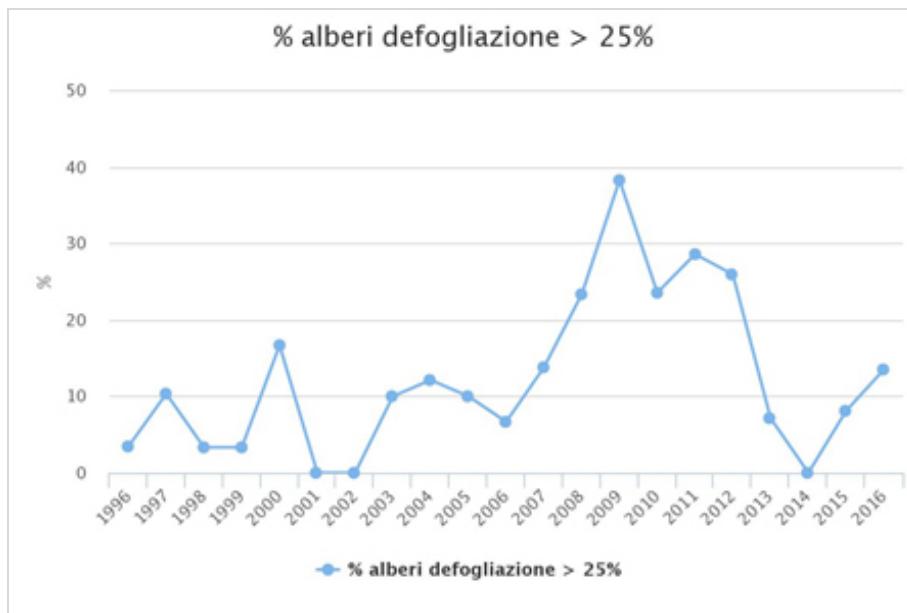
I protocolli di monitoraggio ICP Forests per il monitoraggio forestale nelle aree CONECOFOR di II Livello hanno mostrato nel tempo la giusta flessibilità necessaria ad affrontare anche le domande di ricerca poste dalle sfide ambientali più recenti come i cambiamenti climatici. Il set dei parametri studiati nelle aree rappresenta infatti una valida base per l'approfondimento di specifici "casi studio" riguardanti le risposte fisiologiche della vegetazione alle variazioni del loro ambiente fisico-chimico e biologico di vita (da qui la denominazione di monitoraggio "intensivo" in riferimento al monitoraggio di II livello). Gli estremi climatici, la cui frequenza e intensità è prevista in aumento localmente, a causa dei cambiamenti globali, hanno un impatto crescente sulla salute e sulla vitalità delle foreste. Eventi significativi si sono verificati nelle primavere del 2016 e 2017, quando estese gelate tardive hanno colpito le faggete appenniniche, e nell'estate 2017 con estesi disseccamenti e mortalità nelle foreste dell'Italia centrale a seguito di una forte ondata di calore e siccità. Questi eventi costituiscono un segnale d'allarme per la salute e l'integrità delle foreste.



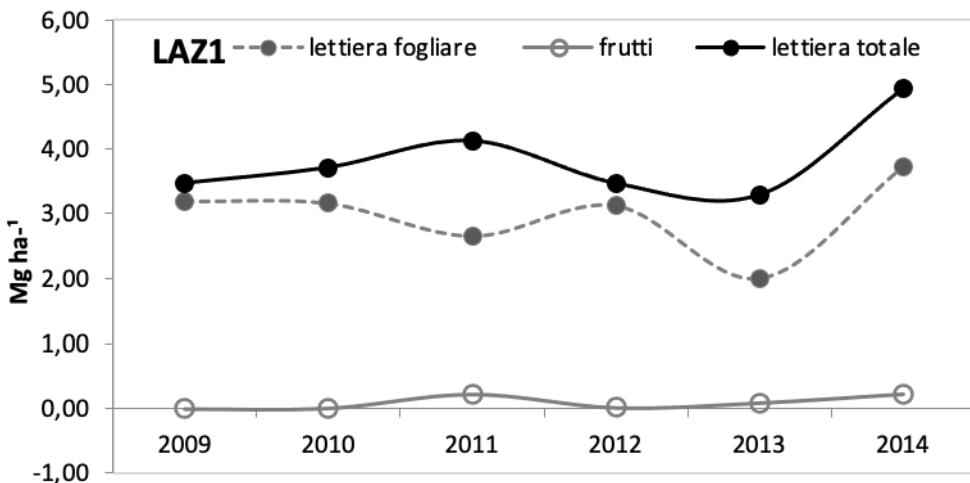
Graf. 1 - Andamento della Temperatura media annua dell'aria nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno LAZ1 dal 1998 al 2015
(Fonte CREA Foreste e Legno, Roma)



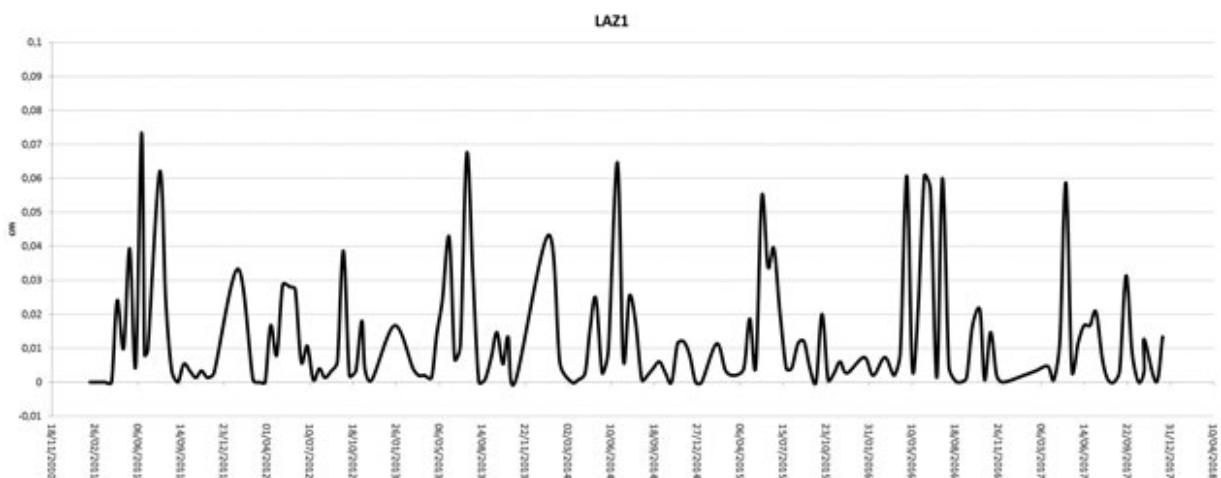
Graf. 2 - Andamento della precipitazione totale annua nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno LAZ1 dal 1998 al 2015
(Fonte CREA Foreste e Legno, Roma)



Graf. 3 - Andamento della defogliazione degli alberi nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno LAZ1 dal 1996 al 2017. La defogliazione è espressa come percentuale di alberi con defogliazione superiore al 25%. La defogliazione è un indice sintetico che esprime la condizione delle chiome degli alberi. Indica la percentuale di foglie che mancano rispetto ad un ideale albero di riferimento considerato sano.
(Fonte: <http://smart4action.ise.cnr.it/smart4action/>. Dati Arma dei Carabinieri, in collaborazione con Università di Firenze)



Graf. 4 - Andamento annuale delle componenti della lettiera presso nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno LAZ1.
 (Fonte: CREA Foreste e Legno, Arezzo)



Graf. 5 - Incremento intra-annuale misurato con bande di accrescimento su un campione di 15 alberi dominanti, nel sito LTER IT04-001-T Monte Rufeno LAZ1. (Fonte: CREA Foreste e Legno, Arezzo)

Attività di divulgazione

Nel mese di ottobre del 2016, il sito LTER di Monte Rufeno è stato coinvolto in un evento divulgativo dedicato agli studenti, nell'ambito delle azioni di divulgazione previste dal progetto LIFE Smart4Action. Data la sua localizzazione, servita da buona accessibilità e da strutture ricettive nei comuni limitrofi, l'area si presta favorevolmente ad essere visitata anche dal pubblico non esperto, ad esempio in occasione di iniziative di Citizen Science.

Prospettive future

Il sito IT04001-T Monte Rufeno (LAZ1) sarà incluso nelle azioni di una nuova proposta di progetto LIFE che sarà sottoposta in occasione della prossima **call LIFE 2019** e sarà finalizzata allo studio degli impatti dell'inquinamento atmosferico e dell'ozono sugli ecosistemi forestali, secondo quanto previsto dalla citata Direttiva NEC e su una rete più estesa di siti ICP Forests – CONECOFOR, quali siti utili allo svolgimento di casi studio mirati da riprodurre in altri paesi europei partner.

L'Arma dei Carabinieri sta predisponendo le azioni necessarie all'attivazione del **monitoraggio dei licheni** in un sottogruppo selezionato di aree ICP Forests – CONECOFOR di II Livello, tra cui l'area

IT04001-T Monte Rufeno (LAZ1), in collaborazione con ricercatori esperti nel biomonitoraggio ed in accordo con i protocolli previsti da ICP Forests.

Il sito ha previsioni di mantenimento a lungo termine di tutte le attività attualmente in corso.

Abstract

The Monte Rufeno research site (690 asl) is part of the typical hilly landscape of northern Lazio, which in the past has undergone intense exploitation by man. For a long time and until the 60s of the last century, the extensive forests of Turkey oak were subjected to coppice cutting for the production of firewood. With the interruption of the practice of cutting, the forest populations have undergone a progressive aging and present themselves today as predominantly monospecific forests and monoplane. There are also reforestation of conifers. Peculiarities of the territory are the water richness and the accentuated dynamism linked to the landslides, in correspondence with the clayey layers of the ground. The intensive forest monitoring plot, since 1995, is part of the CONECOFOR Program, which is coordinated by the Department of Studies and Projects of the Carabinieri Command for the Protection of Biodiversity and Parks and represents the national branch of the ICP Forests International Network. Data collection activities are carried out in collaboration with numerous organizations and universities. The research site is included in the Monte Rufeno Regional natural Reserve.

Colognole (TOS1)

Autori

Giancarlo Papitto¹, Cristiana Coccufa¹, Silvano Fares², Luca Salvati³, Tiziano Sorgi⁴, Valerio Moretti⁴, Roberto Canullo⁵, Stefano Carnicelli⁶, Guia Cecchini⁶, Anna Andreetta⁶, Filippo Bussotti^{6,7}, Martina Pollastrini⁷, Giorgio Matteucci⁸, Bruno De Cinti⁹, Giancarlo Fabbio¹⁰, Andrea Cutini¹⁰, Giada Bertini¹⁰, Maurizio Piovosi¹⁰, Luca Marchino¹⁰, Elena Paoletti¹¹, Aldo Marchetto¹², Giorgio Brunialti¹³, Luisa Frati¹³

Affiliazione

¹ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via dei Taurini 19, 00100 Roma, Italia

³ Università di Macerata, Dipartimento di Economia e Diritto, Via Armaroli, 43, 60200 Macerata, Italia

⁴ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria, Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Via Valle della Quistione 27, 00166 Roma, Italia.

⁵ Università di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC), Italia.

⁶ Università di Firenze (UNIFI-DST), Dipartimento di Scienze della Terra, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze (Italia).

⁷ Università di Firenze (UNIFI-DAGRI), Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Via G. Donizetti 6, 50144 Firenze (Italia).

⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Salaria km 29.300, 00016 Monterotondo (RM), Italia.

¹⁰ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo, Italia.

¹¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia.

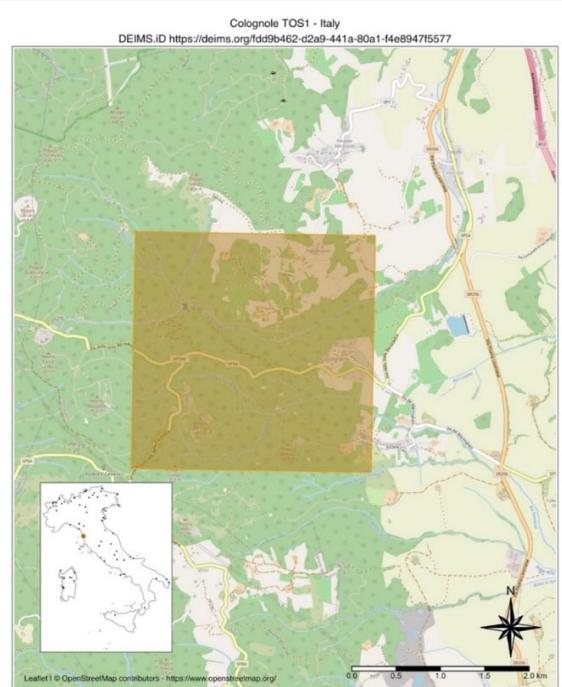
¹² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR – IRSA), Largo Tonolli 50, 28922 Verbania-Pallanza (VB), Italia.

¹³ TerraData environmetrics, Spin-off dell'Università degli Studi di Siena, Via L. Bardelloni 19, 58025 Monterotondo Marittimo (GR).

Sigla: IT04-002-T

Responsabile sito: Ten. Col. Giancarlo Papitto
Arma dei Carabinieri – Comando Unità Forestali, Ambientali e Agro-alimentari.

DEIMS.ID: <https://deims.org/fdd9b462-d2a9-441a-80a1-f4e8947f5577>



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Il sito di ricerca di Colognole è rappresentato da Bosco ceduo invecchiato, con prevalenza di leccio (*Quercus ilex* L.) e si inserisce nel tipico paesaggio collinare della provincia di Livorno (Toscana). Il bosco di cui fa parte il sito di ricerca si estende con prevalente esposizione a Nord e precipitazioni medie



annue relativamente abbondanti (900 mm/anno). Pertanto, peculiari condizioni climatiche si uniscono alla tipica conformazione del bosco mediterraneo. La ceduazione del bosco si è interrotta intorno agli anni '60 del secolo scorso. Il plot di monitoraggio forestale intensivo, dal 1995 fa parte del Programma CONECOFOR, che è coordinato dall'Ufficio Studi e Progetti del Comando Carabinieri per la Tutela della Biodiversità e dei Parchi. La Tab. 2 mostra le attività attualmente in corso presso il sito LTER di Colognole.

Fig. 5 - Sito LTER IT04 002 T Colognole (TOS1), particolare della recinzione del plot e del tipo di ecosistema forestale rappresentato (Foto Arma dei Carabinieri)

Tab. 2 - Attività di ricerca in corso presso il sito LTER di Colognole

Ricerche	Valutazione condizione delle chiome	Analisi Nutrienti Fogliari	Accrescimenti Arborei
Ente Responsabile	Arma dei Carabinieri; Università di Firenze; Linnaea Ambiente	CNR IRET CNR IBE	CREA FL (Arezzo)
Frequenza di Campionamento	Annuale (Luglio-Agosto)	ogni 2 anni	ogni 5 anni
Serie Storica	1995/1997 -oggi	1995/1997 -oggi	1995/1997 -oggi

Risultati



Graf. 6 - Andamento della defogliazione degli alberi nel sito LTER IT04-002-T Colognole TOS1 dal 1996 al 2015. La defogliazione è espressa come percentuale di alberi con defogliazione superiore al 25%. (Fonte <http://smart4action.ise.cnr.it/smart4action/>).
Dati Arma dei Carabinieri, in collaborazione con Università di Firenze)

Prospettive future

È in corso una ristrutturazione della Rete ICP Forests di II Livello, al termine della quale potranno essere fornite informazioni più dettagliate sulla sostenibilità a lungo termine di quest'area di monitoraggio. Data la scarsa rappresentatività, anche a livello internazionale, dei siti di monitoraggio forestale in ambiente termo-mediterraneo, è auspicabile il potenziamento futuro delle attività in questo sito, come ad esempio rappresentato in ambito europeo per la realizzazione della Rete NEC.

Abstract

The research site of Colognole is represented by an aged coppice, with a prevalence of holm oak (*Quercus ilex* L.) and is part of the typical hilly landscape of the province of Livorno (Tuscany). The forest of which the research site is part extends with prevalent North exposure and relatively abundant average annual precipitation (900 mm/year). Therefore, peculiar climatic conditions are combined with the typical conformation of the Mediterranean forest. The coppicing of the wood was interrupted around the 60s of the last century. The intensive forest monitoring plot, since 1995, is part of the CONECOFOR Program, which is coordinated by the Department of Studies and Projects of the Carabinieri Command for the Protection of Biodiversity and Parks.

Ficuzza (SIC1)

Autori

Giancarlo Papitto¹, Cristiana Cocciafa¹, Silvano Fares², Luca Salvati³, Tiziano Sorgi⁴, Valerio Moretti⁴, Roberto Canullo⁵, Stefano Carnicelli⁶, Guia Cecchini⁶, Anna Andreetta⁶, Filippo Bussotti⁷, Martina Pollastrini⁷, Giorgio Matteucci⁸, Bruno De Cinti⁹, Giancarlo Fabbio¹⁰, Andrea Cutini¹⁰, Giada Bertini¹⁰, Maurizio Piovosi¹⁰, Luca Marchino¹⁰, Elena Paoletti¹¹, Aldo Marchetto¹², Giorgio Brunialti¹³, Luisa Frati¹³

Affiliazione

¹ Arma dei Carabinieri (CUFAA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari (CUFAA) SM – Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via dei Taurini 19, 00100 Roma, Italia

³ Università di Macerata, Dipartimento di Economia e Diritto, Via Armaroli, 43 – 60200 Macerata, Italia

⁴ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Via Valle della Quistione 27, 00166 Roma, Italia.

⁵ Università di Camerino (UNICAM-SBMV), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC), Italia.

⁶ Università di Firenze (UNIFI-DST), Dipartimento di Scienze della Terra, Via G. La Pira 4, 50121 Firenze (Italia).

⁷ Università di Firenze (UNIFI-DAGRI), Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Via G. Donizetti 6, 50144 Firenze (Italia).

⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per la BioEconomia (CNR – IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI)

⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Salaria km 29.300, 00016 Monterotondo (RM), Italia.

¹⁰ Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo, Italia.

¹¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca per gli Ecosistemi Terrestri (CNR – IRET), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI), Italia.

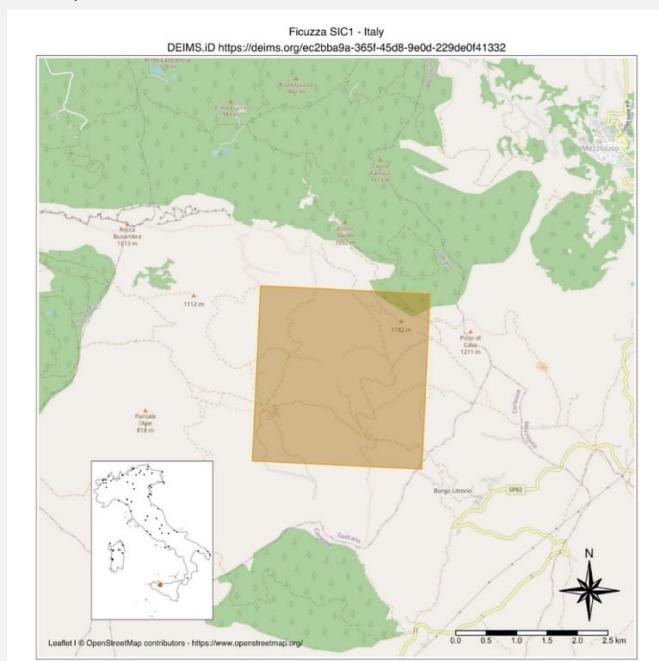
¹² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR – IRSa), Largo Tonolli 50, 28922 Verbania-Pallanza (VB), Italia.

¹³ TerraData environmetrics, Spin-off della Università degli Studi di Siena, Via L. Bardelloni 19, 58025 Monterotondo Marittimo (GR).

Responsabile sito: Ten. Col. Giancarlo Papitto
Arma dei Carabinieri – Comando Unità Forestali, Ambientali e Agro-alimentari.

Sigla: IT04-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/ec2bba9a-365f-45d8-9e0d-229de0f41332>



Descrizione del Sito e delle sue finalità

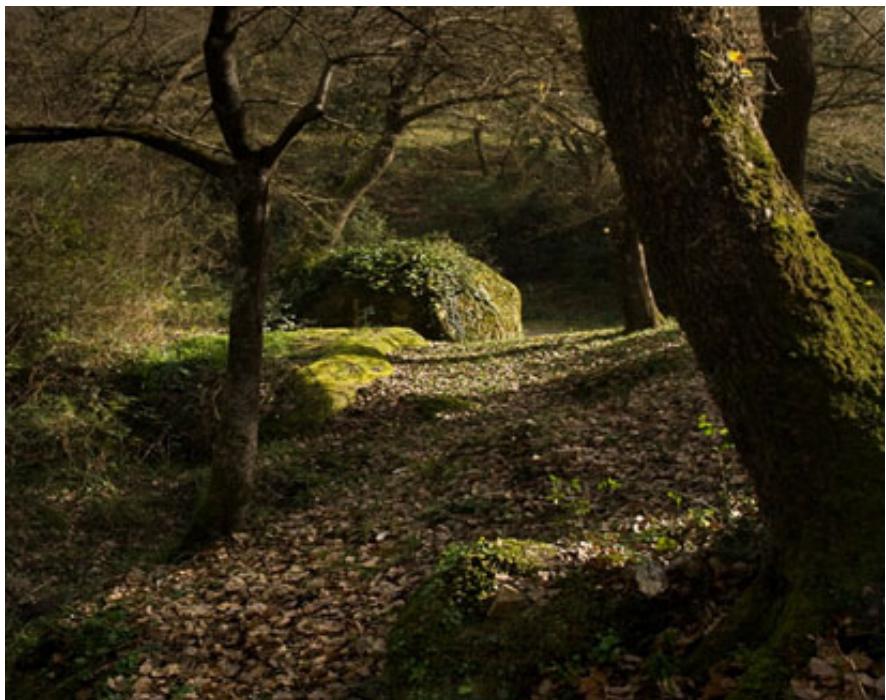


Fig. 6 - Sito LTER IT04 003 T Ficuzza (SIC1) (Foto dalla Rete Internet)

Il bosco di Ficuzza è un bosco ceduo invecchiato, con prevalenza di cerro (*Quercus cerris* L.) e nacque come riserva di caccia reale di Re Ferdinando I delle Due Sicilie. Alla morte del Re (1825), il bosco fu profondamente sfruttato per il pascolo e la produzione di legname. Con alterne vicende legate all'Unità d'Italia ed ai due conflitti mondiali del secolo scorso, il bosco di Ficuzza attraversò periodi di intenso sfruttamento da parte di privati, degrado ed abbandono e rimboschimenti. Nel 1948 l'area divenne proprietà dell'Azienda Foreste Demaniali della Regione Siciliana. Con Decreto dell'Assessorato

Territorio e Ambiente del 26 luglio 2000, n. 365 venne istituita la riserva naturale “Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere e Gorgo del Drago”. Il sito di ricerca si colloca all'interno di tale area protetta, che attualmente è l'area boschiva protetta della Sicilia occidentale più vasta e ricca di biodiversità. Si segnala ad esempio la presenza nel bosco della sughera (*Q. suber* L.).

La Tab. 3 mostra le attività attualmente in corso presso il sito LTER di Ficuzza.

Tab. 3 - Attività di ricerca in corso presso il sito LTER di Ficuzza

Ricerche	Valutazione condizione delle chiome	Accrescimenti Arborei
Ente Responsabile	Università di Firenze; Linnaea Ambiente	CREA FL (Arezzo)
Frequenza di Campionamento	Annuale (Luglio-Agosto)	ogni 5 anni
Serie Storica	1995/1997 -oggi	1995/1997 -oggi

Risultati

Il sito possiede una lunga serie storica di dati sulla defogliazione, rilevata attraverso il protocollo ICP Forests. Considerando il tipo di ambiente tipicamente termo-mediterraneo, i dati di defogliazione superiore al 25%, in deciso aumento a partire dall'anno 2012, assumono particolare rilievo (Grafico 7).



Graf. 7 - Andamento della defogliazione degli alberi nel sito LTER IT04-003-T Ficuzza SIC1 dal 1996 al 2016. La defogliazione è espressa come percentuale di alberi con defogliazione superiore al 25%. Fonte <http://smart4action.ise.cnr.it/smart4action/> (Dati Arma dei Carabinieri, in collaborazione con Università di Firenze)

Prospettive future

È in corso una ristrutturazione della Rete ICP Forests di II Livello, al termine della quale potranno essere fornite informazioni più dettagliate sulla sostenibilità a lungo termine di quest'area di monitoraggio. Data la scarsa rappresentatività, anche a livello internazionale, dei siti di monitoraggio forestale in ambiente termo-mediterraneo, è auspicabile il potenziamento futuro delle attività in questo sito, come ad esempio rappresentato in ambito europeo per la realizzazione della Rete NEC.

Abstract

The forest of Ficuzza is an aged coppice, with prevalence of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) and was born as a royal hunting reserve of King Ferdinand I of the Two Sicilies. At the death of the King (1825), the wood was deeply exploited for grazing and timber production. With alternating events related to the Unification of Italy and the two world conflicts of the last century, the Ficuzza wood crossed periods of intense exploitation by private individuals, degradation and abandonment and reforestation. In 1948 the area became property of the State Forests Company of the Sicilian Region. With Decree of the Department of Land and Environment of July 26, 2000, n. 365 was established the nature reserve “Bosco della Ficuzza, Rocca Busambra, Bosco del Cappelliere and Gorgo del DragoW. The research site is located within this protected area, which is currently the protected forest area of western Sicily, which is wider and rich in biodiversity.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Andreetta A., Ciampalini R., Moretti P., Vingiani S., Poggio G., Matteucci G., Tescari F., Carnicelli S. (2011). Forest humus forms as potential indicators of soil carbon storage in Mediterranean environments. *Biology and Fertility of Soils*, 47 (1), 31-40. 2-s2.0-79952186743.
- Andreetta A., Dignac M.-F., Carnicelli S. (2011). Biological and physico-chemical processes influence cutin and suberin biomarker distribution in two Mediterranean forest soil profiles. *Biogeochemistry*, 112(1-3), 41-58.
- Andreetta A., Macci C., Ceccherini M.T., Cecchini G., Masciandaro G., Pietramellara G., Carnicelli S. (2012). Microbial dynamics in Mediterranean Moder humus. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 259-270.
- Andreetta A., Macci C., Giansoldati V., Masciandaro G., Carnicelli S. (2013). Microbial activity and organic matter composition in Mediterranean humus forms. *Geoderma*, 209-210, 198-208.
- Andreetta A., Cecchini G., Bonifacio E., Comolli B., Vingiani S., Carnicelli S. (2016). Tree or soil? Factors influencing humus form differentiation in Italian forests; *Geoderma*, 264(A), 195-204.
- Arisci S., Rogora M., Marchetto A., Dichiaro F. (2012). The role of forest type in the variability of DOC in atmospheric deposition at forest plots in Italy. *Environ Monit Assess* 184:3415-3425.
- Bertini G., Fabbio G., Piovosi M., Calderisi M. (2010). Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui di cerro in evoluzione naturale in Toscana. *Forest@* 7: 88-103.
- Bertini G., Amoriello T., Fabbio G., Piovosi M. (2011). Forest growth and climate change: evidences from the ICP-Forests intensive monitoring in Italy. *iForest* 4: 262-267.
- Bertini G., Amoriello T., Piovosi M., Fabbio G. (2013). Alcune evidenze dal monitoraggio intensivo delle foreste italiane. L'accrescimento radiale degli alberi come indice di risposta ai disturbi e le sue relazioni con la struttura del soprassuolo. *Forest@* 10: 68-78.
- Camino-Serrano M., Graf Pannatier E., Vicca S., Luyssaert S., Jonard M., Ciais P., Guenet B., Gielen B., Peñuelas J., Sardans J., Waldner P., Etzold S., Cecchini G., Clarke N., GaliÄ Z., Gandois L., Hansen K., Johnson J., Klinck U., Lachmanová Z., Lindroos A.-J., Meesenburg H., Nieminen T.M., Sanders T.G.M., Sawicka K., Seidling W., Thimonier A., Vanguelova E., Verstraeten A., Vesterdal L., Janssens I.A. (2016). Trends in soil solution dissolved organic carbon (DOC) concentrations across European forests. *Biogeosciences*, 13(19) 5567-5585.
- Cocciufa C., Cerretti P., Matteucci G., Carpaneto G.M. (2011). Basic concepts and research activities at Italian forest sites of the Long Term Ecological Research network. *iForest* 4: 233-241 online 2011-11-03 URL: <http://www.sisef.it/iforest/show.php?id=576>.
- Cocciufa C., Gerth W., Luiselli L., Cerretti P., Carpaneto G.M. (2014). Survey of saproxylic beetle assemblages at different forest plots in central Italy. *Bulletin of Insectology* 67(2): 295-306.
- De Vos B., Cools N., Ilvesniemi H., Vesterdal L., Vanguelova E., Carnicelli S. (2015). Benchmark values for forest soil carbon stocks in Europe: Results from a large scale forest soil survey. *Geoderma*, 251-252, 33-46.
- Ferrara C., Marchi M., Fares S., Salvati L. (2017). Sampling strategies for high quality time-series of climatic variables in forest resource assessment. *iForest* 10, pp. 739-745.
- Ferretti M. (2010). Harmonizing forest inventories and forest condition monitoring – the rise or the fall of harmonized forest condition monitoring in Europe? *iForest* 3:1-4.
- Ferretti M., Marchetto A., Arisci S., Bussotti F., Calderisi M., Carnicelli S., Cecchini G., Fabbio G., Bertini G., Matteucci G., De Cinti B., Salvati L., Pompei E. (2014). On the tracks of Nitrogen deposition effects on temperate forests at their southern European range – an observational study from Italy. *Global Change Biology* (20): 3423-3438.

-
- Marchetto A., Rogora M., Arisci S. (2013). Trend analysis of atmospheric deposition data: A comparison of statistical approaches. *Atmospheric Environment* 64: 95-102.
- Marchetto A., Arisci S., Tartari G.A., Balestrini R., Tait D. (2014). Stato ed evoluzione temporale della composizione chimica delle deposizioni atmosferiche nelle aree forestali della rete CONECOFOR. *Forest@* 11: 72-85 online 2014-04-22 URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor1003-011>.
- Marchi M., Ferrara C., Bertini G., Fares S., Salvati L. (2017). A sampling design strategy to reduce survey costs in forest monitoring. *Ecological Indicators* 81: 182-191.
- Puletti N., Giannetti F., Chirici G., Canullo R. (2017). Deadwood distribution in european forests. *Journal of Maps* Vol. 13, N. 2, 733-736.
- Romerman M.R., Gray A., Vanbergen A.J., Berge` s L., Bohner A., Brooker R.W., De Bruyn L., De Cinti B., Dirnbo“ ck T., Grandin U., Hester A.J., Kanka R., Klotz S., Loucugaray G., Lundin L., Matteucci G., Me‘ sza‘ ros I., Ola‘h V., Preda E., Pre‘ vosto B., Pyka“ la“ J., Schmidt W., Taylor M.E., Vadineanu A., Waldmann T., Stadler J. (2011). Functional traits and local environment predict vegetation responses to disturbance: a pan-European multi-site experiment. *Journal of Ecology* 99:777-787.
- Waldner P., Marchetto A., Thimonier A., Schmitt M., Rogora M., Granke O., Mues V., Hansen K., Karlsson G.P., Zlindra D., Clarke N., Verstraeten A., Lazdins A., Schimming C., Iacoban C., Lindroos A-J., Vanguelova E., Benham S., Meesenburg H., Nicolas M., Kowalska A., Apuhtin V., Napa U., Lachmanov Z., Kristoefel F., Bleeker A., Ingerslev M., Vesterdal L., Molina J., Fischer U., Seidling W., Jonard M., O'Dea P., Johnson J., Fischer R., Lorenz M. (2014). Detection of temporal trends in atmospheric deposition of inorganic nitrogen and sulphate to forests in Europe. *Atmospheric Environment* 95 (2014) 363-374.

Riviste NON ISI

- Allavena S., Isopi R., Petriccione B. & Pompei E. (1999). Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali. Primo rapporto. 1999. Ministero per le Politiche Agricole (Roma).
- Allavena S., Isopi R., Petriccione B. & Pompei E. (2000). Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali. Secondo rapporto. 2000. Ministero delle Politiche Agricole e Forestali (Roma).
- Allavena S., Petriccione B., Pompei E. (1999). Il monitoraggio degli ecosistemi forestali italiani – Il Programma CONECOFOR. In: Basset A. & Fedele L. (a cura di). Ecologia. Edizioni del Grifo (Lecce).
- Brunialti G., Frati L., Giordani P., Nascimbene J., Canullo R., Cindolo C., Coccifera C., Papitto G. (2020a). Rete NEC Italia: i risultati della prima campagna di monitoraggio della diversità dei licheni epifiti. Not.Soc.Lich.Ital. 33, in stampa.
- Brunialti G., Frati L., Giordani P., Nascimbene J. (2020b). Attività di supporto e collaborazione alle ricerche sulla biodiversità vegetale connesse al progetto denominato ‘Gestione della Rete NEC Italia’. Stato di avanzamento dell’indagine 2019. Rapporto Tecnico TDe R 123-2019/06 (V1 R1), pp. 24.
- Canullo R., Campetella G. (1996). Il dinamismo della vegetazione del sottobosco in aree permanenti di studio. *Giorn. Bot. Ital.*, 130 (1).
- Ferretti M. (1999). Integrated and Combined (I&C) Evaluation of Intensive Monitoring of Forest Ecosystems in Italy – Concepts, Methods and First Results. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, Special Issues* (Arezzo), 30.
- Ferretti M., Bussotti F., Cenni E. & Cozzi A. (1999). Implementation of quality assurance procedures in the Italian Programs of Forest Condition Monitoring. *Water, Air and Soil Pollution*, 116.

-
- Ferretti M., Bussotti F., Fabbio G., Petriccione B. (2003). Ozone and forest ecosystems in Italy. Second report of the Task Force on Integrated and Combined (I&C) evaluation of the CONECOFOR programme. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Special Issue (Arezzo), 30, Suppl. 1: p. 128.
- Ferretti M., Petriccione B., Fabbio G., Bussotti F. (2006). Aspects of biodiversity in selected forest ecosystems in Italy: status and changes over the period 1996-2003. Third Report of the Task Force on Integrated and Combined (I&C) evaluation of the CONECOFOR programme. *Annali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura*, Special Issue, Vol. 30, Suppl. 2, p. 112.
- Marchetto A., Mosello R., Tartari G., Tornimbeni O., Derome J., Derome K., Sorsa P., König N., Clark N., Ulriche E., Kowalska A. (2009). Influence of QA/QC procedures on non-sampling error in deposition monitoring in forests.
- Mosello R., Marchetto A., Brizzio M.C., Leyendeker W., Rembges D., Abruzzese D. (2001). La chimica delle deposizioni atmosferiche nelle aree del Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali. *Inquinamento*, 23: 46-53.
- Nimis P.L., Scheidegger C., Wolseley P.A. (2002). Monitoring with Lichens: Monitoring Lichens. Kluwer Academic Published in Association with the NATO Scientific Affairs Division, Dordrecht, London.
- Papitto G., Quatrini V., Cindolo C., Cocciafa C., Brunialti G., Frati L. (2019). Rilevamento della diversità dei licheni epifiti nell'ambito del monitoraggio in continuo dell'inquinamento atmosferico nei siti della rete CON.ECO.FOR. di Livello II ICP- Forests. #Natura: Luglio 2019.

Libri

- Brunialti G., Frati L., Incerti G., Rizzi G., Vinci M., Giordani P. (2009). Lichen Biomonitoring of air pollution: issues for applications in complex environments. In: Romano, G.C., Conti, A.G. (Eds.), *Air Quality in the 21st Century*, Nova Science Publishers, Inc., New York.
- Papitto G., Cindolo C., Cocciafa C., Brunialti G., Frati L., Pollastrini M., Bussotti F. (a cura di) (2018). Lo stato di salute delle foreste italiane (1997 – 2017). 20 anni di monitoraggio della condizione delle chiome degli alberi. Arma dei Carabinieri, Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari. Roma. Pag. 205. Edizione aggiornata 2020.
- Petriccione B., Pugnetti A., Cocciafa C., Rossi de Gasperis S., Carpaneto G.M. (submitted in 2009). Towards development and implementation of harmonised approaches to biodiversity and ecosystem measurements in LTER Europe. In: LTER Europe – The next generation of ecosystem research. A guide through European Long-Term Ecological Research Networks, Sites and Processes. K. Krauze, M. Mirtl, M. Frenzel (eds.). Oxford University Press.
- Hansen K., Thimonier A., Clarke N., Staelens J., Žlindra D., Waldner P., Marchetto A. (2013) Atmospheric Deposition to Forest Ecosystems. In Marco Ferretti and Richard Fischer, editors: *Developments in Environmental Science*, Vol. 12, Amsterdam, The Netherlands, pp. 337-374. ISBN: 978-0-08-098222-9.
- Chiarucci A., Campetella G., Chelli S., Giorgini D., Landi S., Canullo R. (2014). Biogeography is the major determinant of plant diversity in european forests. *Frontiers of Biogeography* vol.6 suppl.1 (ISSN: 1948-6596).
- Fischer R., Beck W., Calatayud V., Cools N., De Vos B., Dobbertin M., Fleck S., Giordani P., Granke O., Kindermann G., Lorenz M., Meesenburg H., Meining S., Nagel H.D., Neumann M., Scheuschner T., Stofer S. (2011). The condition of forests in Europe. ICP Forests and European Commission. Hamburg and Brussels, pp. 21 <http://icp-forests.org/RepEx.htm>.
- Waldner P., Thimonier A., Graf Pannatier E., Etzold S., Schmitt M., Marchetto A., Rautio P., Derome K., Maileena Nieminen T., Nevalainen S., Lindroos A.-J., Merilä P., Kindermann G., Neumann M., Cools N., de Vos B., Roskams P., Verstraeten A., Hansen K., Pihl Karlsson G., Dietrich H.-P., Raspe S., Fischer R., Lorenz M., Iost S., Granke O., Sanders T.G.M., Michel A., Nagel H.-D.,

Scheuschner T., Simončič P., von Wilpert K., Meesenburg H., Fleck S., Benham S., Vanguelova E., Clarke N., Ingerslev M., Vesterdal L., Gundersen P., Stupak I., Jonard M., Potočić N., Minaya M. (2015). Exceedance of critical loads and of critical limits impacts tree nutrition across Europe. Annals of Forest Science, 72:929-939.

Report

Allavena S., Petriccione B., Isopi R., Pompei E., Mosello R., Boggero A., Tartari G.A., Piazza S., Serrini G., Andreotti A., De Mei M., Collina M. & Serra F. (1997). Programma Nazionale Integrato per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (CON.ECO.FOR.): studio della chimica delle deposizioni atmosferiche. C.N.R.-Istituto Italiano di Idrobiologia, Report CNR-III-02.97.

Giorgini D., Chelli S., Campetella G., Chiarucci A., Canullo R. (2014). Validation of *a priori* forest type classifications to predict floristic composition. X Convegno Nazionale sulla Biodiversità. 3-5 settembre 2014, Consiglio Nazionale delle Ricerche (Roma).

Petriccione B. (2004). First results of the ICP Forests biodiversity test-phase in Italy. In: Marchetti M. (ed.) Monitoring and Indicators of Forest Biodiversity in Europe – From Ideas to Operability. EFI Proceedings, 51: 445-454.

Presentazioni

Chiarucci A., Giorgini D., Campetella G., Chelli S., Canullo R. (2014). The diversity of Italian forests: a interactive product of biogeography and ecology. 23rd EVS-Workshop, Ljubljana 8-12 May 2014 (oral presentation).

IT05-T FORESTE PLANIZIALI

Autori

Emma Minari¹, Ilaria Toni¹, Alessandro Campanaro²

Affiliazione

¹ Reparto Carabinieri Biodiversità di Verona, Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale “Bosco Fontana”, Marmirolo (MN), Italia.

² Consiglio per la ricerca in agricoltura e l’analisi dell’economia agraria – Centro di ricerca Difesa e Certificazione (CREA – DC), Via di Laciola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze, Italia.

Referenti Macrosito: Alessandro Campanaro, Emma Minari, Ilaria Toni

Siti di ricerca: IT05-001-T Bosco Fontana

Tipologia di ecosistema: terrestre

Deims ID: <https://deims.org/7ec3f9ee-1da5-4e03-acb0-135c010c7ee3>



Fig. 1 - I principali ecosistemi del macrosito IT05 (prateria, foresta e corsi d’acqua) e la palazzina gonzaghesca

Citare questo capitolo come segue: Minari E., Toni I., Campanaro A. (2021). IT05-T Foreste Planiziali, p. 199-205. DOI: 10.5281/zenodo.5584737. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

La Riserva Naturale Statale “Bosco della Fontana” (Fig. 1) è localizzata nella bassa Pianura Padana in prossimità della città di Mantova, nel comune di Marmirolo (vedi mappa nella pagina successiva) e rappresenta un tipico ambiente residuale. Si tratta di uno degli ultimi relitti di una foresta ben più vasta che si estendeva, a metà del XVII sec., per 1.200 ettari ed era in connessione con le foreste ripariali del Mincio e quelle delle colline moreniche del Garda.

La foresta costituisce circa l'85 % della superficie della Riserva ed è una variante orientale del quercocarpinetto della Pianura Padana. Le specie arboree caratterizzanti sono *Quercus robur* (Farnia), *Carpinus betulus* (Carpino bianco), *Quercus cerris* (Cerro) e *Q. rubra* (Quercia rossa), quest'ultima specie alloctona. La foresta ospita una ricca e diversificata comunità di specie saproxiliche (fra cui *Cerambyx cerdo* – Cerambice della quercia e *Lucanus cervus* – Cervo volante, entrambe specie di interesse Comunitario).

Il centro della Riserva è occupato da una prateria che rappresenta una delle ultime formazioni semi-naturali esistenti nella Provincia di Mantova e garantisce habitat per specie anche rare e di interesse Comunitario come la farfalla *Lycaena dispar* (Licena delle paludi).

I corpi idrici presenti, il Rio Begotta, la Roggia Sgarzabella, le risorgive e le zone con acque ferme temporanee, arricchiscono ulteriormente il quadro ecosistemico. Fra le specie di interesse conservazionistico si annoverano: il mollusco *Anisus vorticulus*, i pesci *Leuciscus souffia muticellus* (Vairone), *Cobitis taenia bilineata* (Cobite) e *Padogobius mertensii* (Ghiozzo padano), la libellula *Oxygastra curtisii* (Smeralda di fiume).

L'erpetofauna è caratterizzata soprattutto da una ricchissima comunità di serpenti (grazie alla quale è stato conferito il riconoscimento di “Area di rilevanza erpetologica nazionale”) e da una importante popolazione di *Rana latastei* (Rana di Lataste), specie di interesse Comunitario, in buone condizioni di conservazione.

Molto ricca l'ornitofauna e, nel quadro provinciale, la Riserva è l'unica area di nidificazione di specie legate ad ambienti forestali: circa 100 specie segnalate, di cui 43 nidificanti.

Le specie di interesse Comunitario sono 21 e tra queste *Mihlus migrans* (Nibbio bruno), con numeri in drastica diminuzione.

Le specie di mammiferi censite sono 22, di interesse biogeografico è la popolazione di *Apodemus agrarius* (Topo selvatico dal dorso striato), la più occidentale del suo areale. Fra i mammiferi terrestri, l'unica specie protetta a livello Comunitario è il Moscardino, *Muscardinus avellanarius*. La chiroterofauna è costituita da 8 specie; di notevole importanza conservazionistica è la presenza di nursery di *Pipistrellus pygmaeus* (Pipistrello pigmeo), *P. pipistrellus* (Pipistrello nano) e *Myotis daubentonii* (Vespertilio di Daubenton). L'isolamento della Riserva rimane la principale problematica dal punto di vista della conservazione degli habitat e delle specie animali e vegetali.

La Riserva è sede del Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale, gestito dal Reparto Carabinieri Biodiversità di Verona; il Centro coordina e gestisce tutte le ricerche che vengono effettuate all'interno del Sito (Campanaro 2014; Cavalli & Mason 2003).

Abstract

Bosco Fontana is an ancient primary woodland and represents one of the last remnants of the original Po plain forest. The historic events that have influenced the area are the fragmentation and the decrease of the forest habitat surface, the modification in the forest composition and structure. One of the most relevant events happened is the heavy storm in 1949, which uprooted more than 1500 m³ of wood, leaving “naked” a 50 ha area. The consequent reforestation with allochthonous species (plane tree and red oak) constitutes another alteration of the natural ecosystem. The allochthonous species are progressively eliminated to reconstitute the original oak-hornbeam woodland. From a faunistic point of view, the area represents a “tank” of forest species disappeared or extremely rare in the other areas. The central grassland, used for grazing till 70s, is now treated with scheduled mows.

Bosco Fontana

Autori

Emma Minari¹, Ilaria Toni¹, Alessandro Campanaro²

Affiliazione

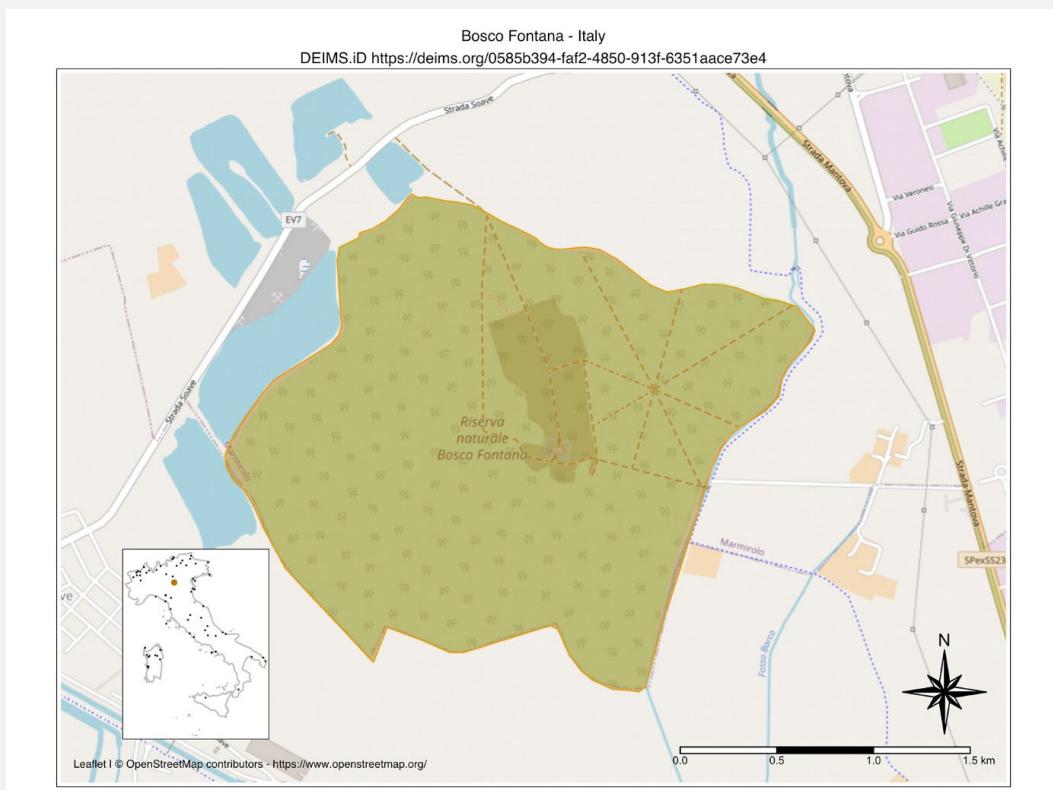
¹ Reparto Carabinieri Biodiversità di Verona, Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale “Bosco Fontana”, Marmirolo (MN), Italia.

² Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria – Centro di ricerca Difesa e Certificazione (CREA – DC), Via di Laciola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze, Italia.

Sigla: IT05-001-T

Responsabile del Sito: Ten. Col. Riccardo Corbini Reparto Carabinieri Biodiversità di Verona

DEIMS.ID: <https://deims.org/0585b394-faf2-4850-913f-6351aace73e4>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Vedi sopra (descrizione del macrosito).

Risultati

Si introducono i metodi e i risultati di 3 principali ricerche attive che sono svolte nel sito LTER di Bosco Fontana:

Da giugno 2012 nel sito è presente una torre micrometeorologica (gestita da un gruppo di ricerca dell'Università Cattolica di Brescia) che permette di misurare i flussi di ozono e di anidride carbonica tra foresta, atmosfera e suolo. Da poco è stato presentato il risultato delle prime analisi sul triennio 2013-2015: la foresta risulta un assorbitore netto di ozono e per quanto riguarda il carbonio la quantità rilasciata pareggia la quantità assorbita, indicando una condizione di equilibrio tipica di una foresta matura (Finco *et al.* 2018).

Lo studio dei metodi di monitoraggio della popolazione di Cervo volante è condotto nella Riserva dal 2008 e diversi metodi sono stati messi a punto negli ultimi anni grazie al progetto LIFE11 NAT/IT/000252 MIPP. Dai risultati ottenuti dai ricercatori nel triennio 2014-2016 il metodo degli avvistamenti di adulti lungo transetti al crepuscolo si è rivelato essere il metodo più adatto per questa specie in termini di costi e benefici (Campanaro *et al.* 2016).

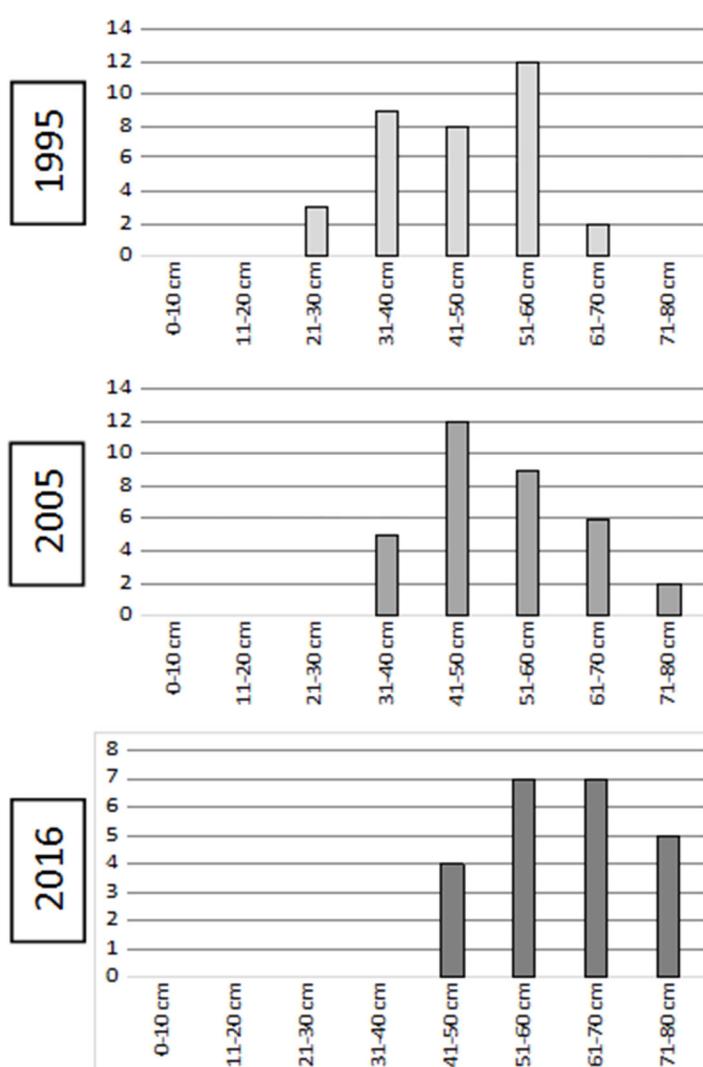


Fig. 2 - Distribuzione diametrica delle piante di farnia rilevate nei tre monitoraggi in una delle Core area, si nota l'evidente regressione della farnia

Il monitoraggio del Cervo volante nell'ambito del progetto MIPP ha permesso inoltre di definire la fenologia degli adulti nei tre anni di ricerca presso il sito di Bosco Fontana: gli adulti possono essere avvistati in volo a partire dalla fine di maggio fino a metà luglio, con un picco di avvistamenti a cavallo tra i mesi di giugno e luglio (Carpaneto *et al.* 2017; Bardiani *et al.* 2018).

Nel sito inoltre si monitora l'evoluzione della foresta attraverso uno studio in aree nidificate secondo il protocollo di Koop (1989), interpretato secondo la teoria silvigenetica di Oldeman (1990). Si tratta di un monitoraggio nidificato strutturato su diversi livelli. Il livello più di dettaglio è quello della Core Area (140 x 70 m). Sono tre le Core area permanenti su cui si basa l'interpretazione delle eco-unità e del mosaico silvatico e sono installate in altrettante associazioni fitosociologiche rappresentative della foresta. Il protocollo prevede il rilievo decennale di otto parametri biometrici e le coordinate di ogni soggetto arboreo, sia vivo sia morto all'interno di ciascuna Core area. Questo monitoraggio è attivo dal 1995 e permette di capire diverse dinamiche in atto, tra cui il successo della rinnovazione delle principali specie edafiche del quercocarpinetto (Mason 2002).

Ad oggi, a distanza di venti anni dal primo monitoraggio, un’informazione importante che abbiamo è quella della tendenza alla regressione della farnia, completamente mancante negli stadi giovanili (Figura 2).

Attività di divulgazione

Le regolari attività di divulgazione e didattica previste nella Riserva di Bosco Fontana (visite guidate a scuole di ogni ordine e grado, partecipazioni a fiere tematiche e a convegni del settore) prevedono cenni alle ricerche di lungo termine attive nel sito, talvolta entrando più specificatamente nel merito di alcune indagini. Non si manca di puntualizzare l’appartenenza alla Rete anche nei contenuti delle tesi di Laurea che sono svolte all’interno della Riserva in collaborazione con il Centro.

Prospettive future

Si conferma e si prevede la raccolta dei dati a lungo termine per le tematiche elencate in precedenza. Altre prospettive future del sito riguardano le nuove attività di ricerca, grazie al progetto finanziato dalla regione Lombardia “Interventi per la salvaguardia della biodiversità nel sito di Rete Natura 2000” e a due progetti europei: ESC360 (LIFE 17/ESC/IT/001) e GoProFor (LIFE17/GIE/IT/000561).

Nell’ambito del progetto “Interventi per la salvaguardia della biodiversità nel sito di Rete Natura 2000” è previsto il monitoraggio delle aperture della volta forestale realizzate nel 2018, per la salvaguardia di *Quercus robur*. In alcune delle aperture create sono state piantate piante di farnia nate da semi di Bosco Fontana e cresciute in vivaio, nelle rimanenti aperture si prevede la crescita di nuove plantule da disseminazione naturale: sia le piante provenienti da vivaio che i selvaggioni saranno seguiti e monitorati per molti anni con lo scopo di ottenere informazioni sulla crescita e la sopravvivenza delle piante soprattutto riguardo alla disponibilità di luce e acqua (Campanaro *et al.* 2014).

Il progetto LIFE ESC360 ha offerto a volontari, di età compresa tra i 18 e i 30 anni, la possibilità di partecipare attivamente alla conservazione della natura attraverso il monitoraggio di specie e habitat protetti, all’interno di siti italiani della Rete Natura 2000 gestiti dall’Arma dei Carabinieri raggruppati in sei macro-aree. Bosco Fontana ha rappresentato una delle aree interessate dal progetto nel 2019, anno in cui ha ospitato due squadre di volontari che hanno affiancato il personale della Riserva in attività di monitoraggio di insetti, anfibi, uccelli e mammiferi e nel corso di rilievi forestali. I dati raccolti hanno ulteriormente incrementato le informazioni biologiche raccolte nella Riserva negli anni.

Il Progetto LIFE GoProFor ha lo scopo di individuare e diffondere strumenti di gestione forestale atti ad aumentare gli usi compatibili alle tematiche di conservazione all’interno della Rete Natura 2000. Tali strumenti deriveranno prevalentemente da buone pratiche ricavate dall’esperienza venticinquennale del Programma LIFE e dai progetti d’interesse forestale da esso cofinanziati. Il progetto favorirà lo scambio di esperienze e di buone pratiche per la gestione della biodiversità degli habitat forestali nella rete Natura 2000, con l’obiettivo di aumentare il livello di consapevolezza sia da parte dei gestori istituzionali di queste aree, sia da parte di tutti gli operatori che esercitano con le loro attività un’influenza sulla conservazione di habitat e specie. Il sito LTER di Bosco Fontana è entrato nel progetto come palestra formativa, in esso alcune delle buone pratiche messe a punto nell’ambito di progetti LIFE sono state divulgate ai gestori e agli operatori.

Abstract

In the LTER site Bosco Fontana, the main long term researches are: forest dynamics, analysis of vegetation, monitoring of species of insects listed in the Habitats Directive, measurement of gas fluxes between atmosphere and forest using a micrometeorological tower (wind, carbon dioxide, water, ozone, solar radiation, temperature, humidity).

Sitografia

<https://rgpbio.it/cncb/bosco-fontana/>
<https://www.life360esc.eu/it/>
<https://www.lifegoprofor.eu/it/>

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Finco A., Coyle M., Nemitz E., Marzuoli R., Chiesa M., Loubet B., Fares S., Diaz-Pines E., Gasche R., Gerosa G. (2018). Characterization of ozone deposition to a mixed oak-hornbeam forest – flux measurements at five levels above and inside the canopy and their interactions with nitric oxide. *Atmos. Chem. Phys.*, 18, 17945-17961.
- Fardusi M.J., Castaldi C., Chianucci F., Corona P., Mason F., Minari E., Puletti N. (2018). A spatio-temporal dataset of forest mensuration for the analysis of tree species structure and diversity in semi-natural mixed floodplain forests. *Annals of Forest Science*, 75(1), 11.

Libri o capitoli di libro

- Campanaro A., Hardersen S., Minari E., Toni I. & Mason F. (eds.) (2014). Piano di gestione della Riserva Naturale Statale e Sito Natura 2000 “Bosco Fontana”. Aggiornamento 2014 – 2020. Quaderni Conservazione Habitat, 8. Cierre Edizioni, Verona, pp. 265.
- Carpaneto G.M., Audisio P., Bologna M.A., Roversi P.F., Mason F. (2017). Linee Guida per il monitoraggio dei coleotteri saproxilici protetti in Europa. Pensoft Publishers, Sofia, Bulgaria.
- Bardiani M., Bianchi E., Campanaro A., Corezzola S., Hardersen S., Maurizi E., Mosconi F., Redolfi De Zan L., Sabbatini Peverieri G., Toni I. & Zapponi L. (2018). Insetti protetti dalla Direttiva Habitat: Citizen Science e monitoraggio. Manuale Tecnico. Quaderni Conservazione Habitat, 8. Centro Nazionale Biodiversità Forestale Carabinieri “Bosco Fontana”. Cierre Grafica, Verona, pp. 48.
- Mason F. (2002). Dinamica di una foresta della Pianura Padana. Bosco della Fontana – Primo contributo Monitoraggio 1995. Gianluigi Arcari Editore, Mantova, pp. 224.
- Cavalli R. & Mason F. (2003). Tecniche di ripristino del legno morto per la conservazione della fauna saproxilica. Il progetto LIFE Natura NAT/IT/99/6245 di “Bosco della Fontana” (Mantova, Italia). Gianluigi Arcari Editore, Mantova, pp. 112.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Bardiani M., Chiari S., Maurizi E., Tini M., Toni I., Zauli A., Campanaro A., Carpaneto G.M., Audisio P. (2017). Guidelines for the monitoring of *Lucanus cervus*. In: Carpaneto G.M., Audisio P., Bologna M.A., Roversi P.F., Mason F. (Eds) Guidelines for the Monitoring of the Saproxylic Beetles protected in Europe. *Nature Conservation* 20: 37-78.
- Bardiani M., Tini M., Carpaneto G.M., Audisio P., Bussola E., Campanaro A., Cini A., Maurizi E., Mason F., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F., Toni I., Chiari S. (2017). Effects of trap baits and height on stag beetles and flower chafers monitoring: ecological and conservation implications. *Journal of Insect Conservation* 21:157-168.
- Chiari S., Bardiani M., Zauli A., Hardersen S., Mason F., Spada L., Campanaro A. (2013). Monitoring of the saproxylic beetle *Morimus asper* (Sulzer, 1776) (Coleoptera: Cerambycidae) with freshly cut log piles. *Journal of Insect Conservation* 17: 1255-1265.

Redolfi De Zan L., Bardiani M., Antonini G., Campanaro A., Chiari S., Mancini E., Maura M., Sabatelli S., Solano E., Zauli A., Sabbatini Peverieri G., Roversi P.F. (2017). Guidelines for the monitoring of Cerambyx cerdo. In: Carpaneto G.M., Audisio P., Bologna M.A., Roversi P.F., Romiti F., Redolfi De Zan L., Ross de Gasperis S., Tini M., Scaccini D., Anacletio M., Carpaneto G.M. (2017). Latitudinal cline in weapon allometry and phenology of the European stag beetle. *Nature Conservation*, 19: 57-80.

Tini M., Bardiani M., Campanaro A., Chiari S., Mason F., Maurizi E., Toni I., Audisio P., Carpaneto G.M. (2017). A stag beetle's life: sex-related differences in daily activity and behaviour of *Lucanus cervus* (Coleoptera: Lucanidae). *Journal of Insect Conservation* 21(5-6): 897-906.

Tini M., Bardiani M., Campanaro A., Mason F., Audisio P.A., Carpaneto G.M. (2017). Detection of stag beetle oviposition sites by combining telemetry and emergence traps. In: Campanaro A., Hardersen S., Sabbatini Peverieri G., Carpaneto M.G. (Eds) Monitoring of saproxyllic beetles and other insects protected in the European Union. *Nature Conservation* 19: 81-96.

Tini M., Bardiani M., Chiari S., Campanaro A., Maurizi E., Toni I., Mason F., Audisio P., Carpaneto G.M. (2018). Use of space and dispersal ability of a flagship saproxyllic insect: a telemetric study of the stag beetle (*Lucanus cervus*) in a relict lowland forest. *Insect Conservation and Diversity*, 11: 116-129.

Libri

Bardiani M., Bianchi E., Campanaro A., Corezzola S., Hardersen S., Maurizi E., Mosconi F., Redolfi De Zan L., Sabbatini Peverieri G., Toni I., Zapponi L. (2018). Insetti protetti dalla Direttiva Habitat: Citizen Science e monitoraggio. Manuale Tecnico. Quaderni Conservazione Habitat 8, Centro Nazionale Biodiversità Forestale Carabinieri "Bosco Fontana". Cierre Grafica, Verona, pp. 48.

Bardiani M., Hardersen S., Redolfi De Zan L., Maura M., Mosconi F., Mancini E., Antonini G., Campanaro A., Mason F. (2017). Monitoring of Insects with Public Participation. Layman's Report. Advanced Books. Pensoft.

Papitto G., Cindolo C., Cocciufa C., Brunialti G., Frati L., Pollastrini M., Bussotti F. (2018). Lo stato di salute delle foreste italiane (1997-2017). 20 anni di monitoraggio della condizione delle chiome degli alberi. Arma dei Carabinieri, Comando Unità Forestali Ambientali e Agroalimentari, Roma, pag. 205.

Tesi di Laurea

Simonazzi D. (A.A. 2016-2017). Il quercocarpinetto di "Bosco della fontana" (MN). Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biologiche – Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia.

Bergamaschi F. (A.A. 2017-2018). Il quercocarpinetto di "Bosco della Fontana" (MN): studio sulla dinamica forestale delle cosiddette specie minori. Tesi di Laurea Triennale in Scienze Forestali e Ambientali – Università degli Studi di Padova.

Autori

Francesco Primo Vaccari¹, Franco Miglietta¹, Andrea Scartazza², Enrico Brugnoli²

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di BioEconomia (IBE-CNR), Via Giovanni Caproni 8, I-50145 Firenze, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET-CNR), Via G. Marconi 2, 05010 Porano (TR).

Referente macrosito: Francesco Primo Vaccari

Siti di ricerca: L'isola di Pianosa viene considerata come unico sito di ricerca.

DEIMS.ID: <https://deims.org/3c75a812-f53b-40b6-9743-4823e9860686>

Tipologia di ecosistema: Terrestre

Isola di Pianosa

(Lon. 10° 04' 44" E; Lat. 42° 35' 07" N).

Caratteristiche morfologiche e climatiche:

Area: 10.2 km²

Sviluppo costiero: 20 km

Altitudine media: 18 m a.s.l.

Altitudine max: 29 m a.s.l.

Temperatura media: 15.8° C

Piovosità media annua: 450 mm



Citare questo capitolo come segue: Vaccari F.P., Miglietta F., Scartazza A. *et al.* (2021). IT06-T Isola di Pianosa, p. 207-215. DOI: 10.5281/zenodo.5584739. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Studio del bilancio del carbonio dell'intera isola attraverso un approccio di ricerca interdisciplinare utilizzando tecniche di monitoraggio innovative. L'intera Isola di Pianosa si connota come un laboratorio, in quanto dopo la dismissione del carcere i terreni agricoli si stanno rinaturalizzando secondo un processo guidato solamente dal clima e da fattori ambientali. Lo studio e soprattutto il monitoraggio del ruolo dei cambiamenti dell'uso del suolo e della biodiversità è fondamentale per comprendere se la resilienza dell'ecosistema "isola" possa innescare fenomeni successionali verso condizioni di climax. La dinamica delle componenti forzanti e guidanti di questo processo, biodiversità residuale, fertilità del terreno, disponibilità di acqua e andamento climatico, risulterà in un processo di ricolonizzazione più o meno veloce. Sarà importante determinare la velocità con cui sta avvenendo questo cambiamento e studiare l'impatto sulla vegetazione esistente per capire se si sono instaurati dei meccanismi selettivi della popolazione naturale, ovvero se c'è una predominanza di specie vegetali a danno di altre.

Abstract

Study assess the carbon balance of the entire island's through an interdisciplinary research approach using innovative monitoring techniques. The Island of Pianosa must be considered as a laboratory, because after the closure of the agricultural penal colony activities the agricultural fields have been abandoned and now an active process of re-naturalization is occurring forced only by climate and other environmental factors without any human perturbations. The study and the monitoring activities of the changes in land use and biodiversity is fundamental to understand if the resilience of the "island ecosystem" can trigger successional phenomena towards climax conditions. The dynamics of the forcing and guiding components of this process, residual biodiversity, soil fertility, availability of water and climatic conditions, will result in a more or less rapid recolonization process. It will be important to determine the speed with which this change is taking place and to study the impact on existing vegetation to understand if selective mechanisms of the natural population have been established, or if there is a predominance of plant species to the detriment of others.



Fig. 1 - Foto aerea di Pianosa in falsi colori

Isola di Pianosa

Autori

Francesco Primo Vaccari¹, Franco Miglietta¹, Andrea Scartazza², Enrico Brugnoli²

Affiliatione

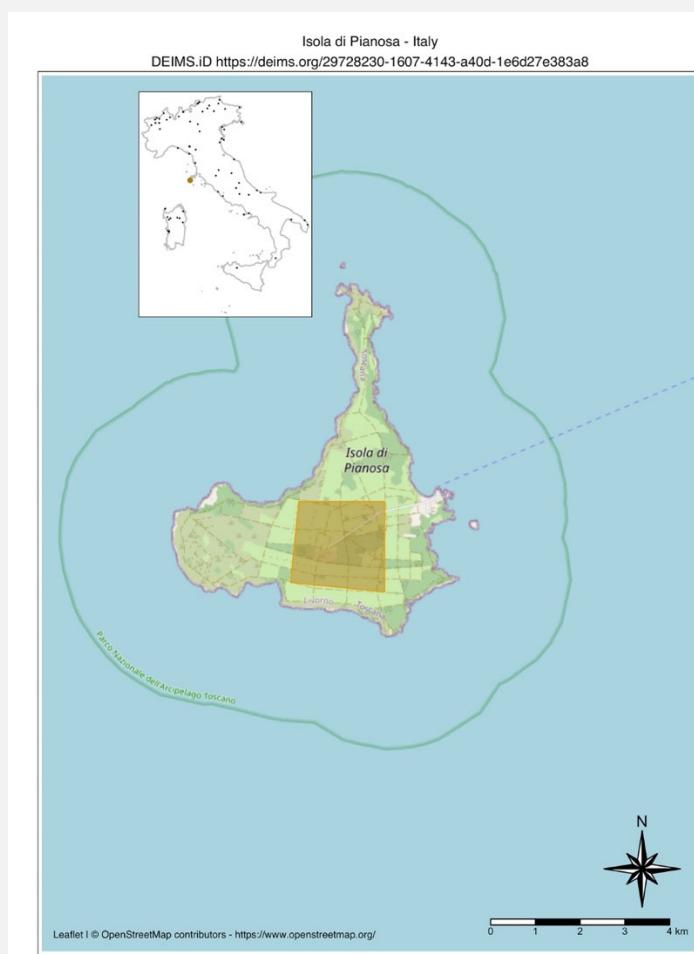
¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di BioEconomia (IBE-CNR), Via Giovanni Caproni 8, I-50145 Firenze, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET-CNR), Via G. Marconi 2, 05010 Porano (TR).

Sigla: IT06-001-T

Responsabile sito: Francesco Primo Vaccari

DEIMS.ID: <https://deims.org/3c75a812-f53b-40b6-9743-4823e9860686>



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Dal 1858 l'Isola di Pianosa è stata una colonia agricola penale e nel 1997 è entrata a far parte del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano. Il Carcere è stato definitivamente chiuso nel 1998. Lo sfruttamento agricolo dell'isola è stato bruscamente interrotto agli inizi del 1990, lasciando all'ecosistema "isola" l'opportunità di ricrearsi. Le ricerche effettuate evidenziano un attivo processo di rinaturalizzazione dell'isola, la macchia mediterranea presente nella fascia costiera sta lentamente invadendo i campi abbandonati dall'attività agricola. Questo processo di ricolonizzazione, a fronte dell'in-tenso sfruttamento agricolo ed alla luce delle recenti proiezioni sui Cambiamenti del Clima, fa di Pianosa un vero e proprio laboratorio naturale a cielo aperto. Tutto l'Arcipelago, compresa l'isola di Pianosa è Parco Nazionale e fa parte della rete MAB dell'Unesco.

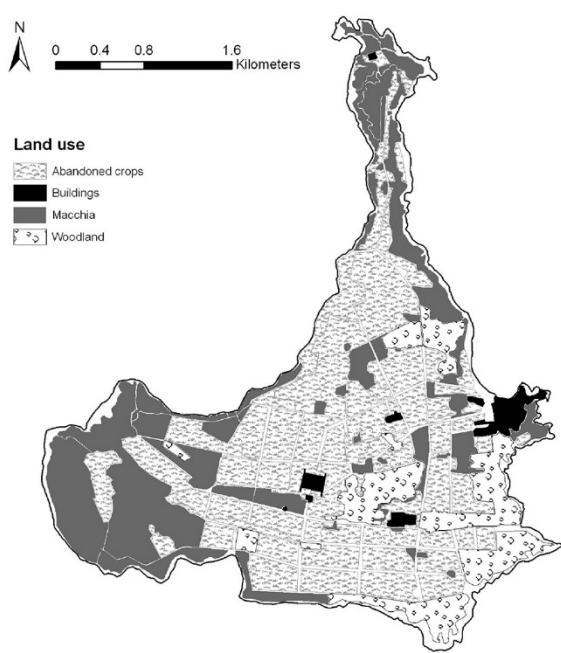


Fig. 2 - La torre di eddy covariance installata nel 2002

L'isola di Pianosa è la quinta, per estensione, delle sette isole del Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano. L'isola "Planasia", deve il suo nome alla morfologia completamente piatta, con alcune piccole ondulazioni, la più alta elevazione sul livello del mare è di circa 29 m, mentre l'altitudine media è di circa 18 m. Il clima di Pianosa differisce da quello delle altre isole dell'Arcipelago Toscano, per via della sua morfologia piatta. Infatti, la forma piatta non offre alle masse d'aria umide, la possibilità di condensare e le precipitazioni sono notevolmente inferiori a quelle che si verificano nelle altre isole. Inoltre, a causa della grande permeabilità dei terreni di Pianosa, la pioggia viene drenata rapidamente e sull'isola non si trovano acque superficiali. Un'analisi climatologica completa su un insieme di dati meteorologici storici (dal 1951 al 2002), raccolti dall'Istituto di Biometeorologia del CNR, è stata ottenuta raccogliendo dati reali raccolti e dati interpolati da stazioni meteorologiche situate nella vicina isola d'Elba.

Sulla base di questa storica serie meteorologica è stato determinato il Palmer Drought Severity Index (PDSI) che combina gli effetti della temperatura e delle precipitazioni, in particolare l'effetto accumulato del deficit / surplus delle precipitazioni mensili rispetto alle precipitazioni climatiche mensilmente appropriate, definite come precipitazioni necessarie per mantenere un contenuto adeguato di acqua del suolo per la normale crescita delle piante in una regione. Questa pioggia appropriata è una funzione del tempo e i suoi valori mensili sono calcolati dal bilancio idrico della superficie e del suolo tra evaporazione, traspirazione delle piante, deflusso e acqua del suolo disponibile per evaporazione e traspirazione.

La temperatura media dell'aria nel periodo 1951 – 2002 era di 15,8°C sull'isola di Pianosa, mentre la media delle precipitazioni annuali registrate sull'isola nello stesso periodo è di 496,6 mm, che varia tra un minimo di 176 mm (1999) e un massimo di 716,2 mm (1984). L'isola di Pianosa è formata quasi interamente da calcari organogenetici e arenarie plioceniche che sovrastano, a una profondità di circa 30 m, un complesso di sedimenti marnosi risalenti al Miocene. Sono presenti depositi quaternari eolici, spessi circa 2 m costituiti da sabbia gialla cementata, marginalmente sulla costa orientale. Sopra la formazione del Pliocene, ci sono depositi pleistocenici di diversa composizione, come l'arenaria calcarea biancastra ricca di gasteropodi e bivalvi e materiali ghiaiosi rossi e gialli, sabbiosi e limo provenienti dalla terraferma. I terreni dell'isola, sviluppati con il contributo dei sedimenti marini e continentali, sono sottili e principalmente classificabili come Leptosols secondo la World Reference Base for Soil Resources. In ogni caso, i terreni sono alcalini, ricchi di carbonati, sabbia argillosa o sabbia e con un contenuto moderato di frammenti di roccia. La vegetazione originaria dell'isola di Pianosa era presumibilmente rappresentata da una macchia mediterranea, dominata da una miscela di alberi sclerofilli e decidui, cespugli e prati. Questa vegetazione è stata fortemente influenzata dalle attività agricole della Colonia Penale e oggi sopravvive principalmente lungo il perimetro costiero. Infatti, è solo nel perimetro costiero che è possibile identificare l'associazione Crithmo-Limonietea caratterizzata dalla presenza di specie endemiche come il *Limonium planesiae*. Il bosco mediterraneo trovato sull'isola è tipico del suolo calcareo dominato dalla presenza di *Rosmarinus officinalis*, *Cistus* spp. e *Juniperus phoenicia*. Patch di questa comunità vegetale esistono in diverse fasi evolutive come conseguenza del progressivo processo di rinaturalizzazione che l'isola sta attualmente attraversando. Inoltre, i boschi di piccole dimensioni, caratterizzati dalla presenza di *Pinus halepensis*, *Quercus ilex* e *Arbutus unedo*, sono ben rappresentati. La parte più a Nord dell'isola è rappresentata da pascoli abbandonati e campi agricoli abbandonati ora coperti da un'associazione di specie tipica del degradato terreno agricolo mediterraneo dominato da: *Bromus fasciatus*, *Daucus carota*, *Lagurus ovatus*, *Asphodelus ramosus*, *Avena barbata*, *Dactylis glomerata*, *Plantago lanceolata*, *Rostraria cristata*, *Asparagus acutifolius*, *Petrorrhiza saxifraga* e *Scabiosa maritima*.



	Sup (ha)	Biomassa (t in ss)	Area (%)
Macchia Mediterranea	257.6	5422	25
Terreni abbandonati	536.4	3100.4	52
Boschi	137.2	3559.7	13

Banche Dati

- serie meteorologica ricostruita dal 1951 ad oggi, giornaliera;
- flussi di anidride carbonica e vapor acqueo, semiorari, dal 2002 al 2010 in due ecosistemi più rappresentativi dell'isola;

-
- temperature del suolo, flusso di calore del suolo, umidità del suolo, radiazione netta e globale, temperatura dell'aria, pioggia, semiorari, dal 2002 al 2010 in due ecosistemi più rappresentativi dell'isola.

Dati morfologici e fisici

- mappa del contenuto di carbonio del suolo;
- uso del suolo;

Dati chimici

- analisi su campioni di biomassa, annuali;
- analisi su campioni di terreno, ogni 10 anni su 130 plots.

Dati biotici

- attività microbica del suolo, campagne di misura annuali
- dati sui processi
- campagne di misura sulla dinamica della vegetazione, misure spot, annuali

Accesso ai dati: su richiesta con motivazione dell'uso, con obbligo di citazione della fonte.

Risultati

Le iniziative di ricerca su Pianosa ovvero il monitoraggio di lungo termine per lo studio del bilancio del carbonio dell'intera isola attraverso un approccio di ricerca interdisciplinare ed utilizzando tecniche di monitoraggio innovative ha non solo lo scopo di determinare la quantità di anidride carbonica che l'isola scambia con l'atmosfera, ma di comprendere il ruolo dei componenti dell'ecosistema; suolo, vegetazione, ed interazioni biosfera/atmosfera. Grazie al finanziamento iniziale del Consiglio Nazionale delle Ricerche, erogato nel quadro delle iniziative di Agenzia 2000, il Pianosa_LAB ha installato sull'isola una stazione meteorologica satellitare ed una strumentazione per la misura in continuo dei flussi di carbonio e vapore acqueo dell'intero ecosistema isola (torre di eddy covariance) consentendo di misurare la quantità di anidride carbonica che l'isola scambia annualmente con l'atmosfera andando ad incrementare la comprensione del ciclo del carbonio dell'isola non solo nella sua variabilità annuale, ma anche interannuale. Nel 2006 una seconda torre è stata installata una seconda torre sull'Isola sulla componente di macchia mediterranea.

Divulgazione

I risultati delle ricerche del Pianosa_LAB sono state presentate in più di 15 convegni scientifici nazionali ed internazionali e sono stati realizzati due volumi e più di 30 pubblicazioni scientifiche. I risultati delle ricerche sono stati inseriti nel Joint Carbon Project (IGBP-WCP-HDP) e nel GCCE (Global Change and Terrestrial Ecosystem) core project dell'IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme), ed ha contribuito alla stesura della III Relazione Nazionale dell'Italia all'UNFCCC (United Nation Framework Convention Climate Change). Le ricerche e le misure raccolte in questo sito contribuiscono ai seguenti networks internazionali: FluxNet (Integrating World Wide CO₂ Flux Measurements): https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset_lister.pl?p=9. Le principali prospettive future sono quelle legate alla ricerca scientifica per poter continuare il monitoraggio di lungo termine dei permanet plots che sono rimasti sull'isola e raccogliere delle importanti informazioni sulla dinamica del Ciclo del Carbonio.

Prospettive future

Attualmente è in corso per una iniziativa del Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente la realizzazione di una base operativa CNR sull'Isola di Pianosa che possa ospitare secondo un preciso protocollo i ricercatori scientifici. Si è costituito un Gruppo di Lavoro, nominato dal Dott. Provenzale di cui il referente del sito ne fa parte.

Abstract

The scientific activities on Pianosa, started in 2000 and continued actively until 2014, were interrupted in 2014 due to the impossibility of obtaining funding for the continuation of the observations, the instrumentation for measuring the eddy covariance flows installed on the site has been removed from the island, with the exception of the meteorological station installed at the old town. Obviously the permanent plots have remained on the island and are monitored every 10 years to understand the soil carbon dynamics.

However, the activity of scientific publications in spite of monitoring has been constantly renewed as demonstrated by recent scientific publications of the last 5 years.

Bibliografia

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Chiesi M. *et al.* (2012). Use of BIOME-BGC to simulate water and carbon fluxes within Mediterranean macchia. *iForest-Biogeosciences and Forestry* vol. 5, n.2.
- Chiesi M. *et al.* (2011). Integration of ground and satellite data to model Mediterranean forest processes. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* Volume: 13 Issue: 3 Pages: 504-515.
- Inglma I. *et al.* (2009). Precipitation pulses enhance respiration of Mediterranean ecosystems: the balance between organic and inorganic components of increased soil CO₂ efflux. *Global Change Biology* volume 15, issue 5, pages 1289-1301. 9.
- Jiang B. *et al.* (2015). Empirical estimation of daytime net radiation from shortwave radiation and ancillary information. *Agricultural Forest Meteorology* vol. 211, 25-36.
- Jung M. *et al.* (2011). Global patterns of land-atmosphere fluxes of carbon dioxide, latent heat, and sensible heat derived from eddy covariance, satellite, and meteorological observations. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences* Volume: 116 Pages: 16.
- Maselli F. *et al.* (2017). Modelling and analyzing the water and carbon dynamics of mediterranean macchia by the use of ground and remote sensing data. *Ecological Modelling* vol. 351, 1-13.
- Maselli F. *et al.* (2010). Validating an integrated strategy to model net land carbon exchange against aircraft flux measurements. *Remote Sensing of Environment*. Volume: 114 Issue: 5 Pages: 1108-1116.
- Moreno A. *et al.* (2014). Monitoring water stress in Mediterranean semi-natural vegetation with satellite and meteorological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* vol. 26, 246-255.
- Scartazza A. *et al.* (2014). Comparing integrated stable isotope and eddy covariance estimates of water-use efficiency on a Mediterranean successional sequence. *Oecologia*, vol. 176 n.2, pp. 581-594.
- Stoy PC. *et al.* (2013). A data-driven analysis of energy balance closure across FLUXNET research sites: The role of landscape scale heterogeneity. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 171, 137-152. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.11.004.
- Vaccari FP. *et al.* (2012). Land use change and soil organic carbon dynamics in Mediterranean agro-ecosystems: The case study of Pianosa Island. *Geoderma* vol. 175, 29-36. doi 10.1016/j.geoderma.2012.01.021.
- Verma M. *et al.* (2013). Remote sensing of annual terrestrial gross primary productivity from MODIS: an assessment using the FLUXNET La Thuile data set. *Biogeosciences* vol. 10, 11627-11669.
- Von Buttlar J. *et al.* (2018). Impacts of droughts and extreme-temperature events on gross primary production and ecosystem respiration: a systematic assessment across ecosystems and climate zones. *Biogeosciences* vl. 15 n.1, 1293-1318.
- Wang T. *et al.* (2012). State-dependent errors in a land surface model across biomes inferred from eddy covariance observations on multiple timescales. *Ecological Modelling*, vol. 246, 11-25. doi 10.1016/j.ecolmodel.2012.07.017.
- Xia J. *et al.* (2015). Joint control of terrestrial gross primary productivity by plant phenology and physiology. *PNAS*, vol. 112 n. 9, 2788-2793.

Libri o capitoli di libro

Papale D., Migliavacca D., Cremonese M., Cescatti E., Alberti A., Balzarolo G., Belelli Marchesini M., Canfora L., Casa E., Duce R., Facini P., Galvagno O., Genesio M., Gianelle D., Magliulo D., Matteucci V., Montagnani G., Petrella L., Pitacco F., Seufert A., Spano G., Stefani D., Vaccari F., Valentini R. (2015). Carbon, water and energy fluxes of terrestrial ecosystems in Italy. In: The greenhouse gas balance of Italy: an insight on managed and natural terrestrial ecosystems (editor(s) Valentini R., Miglietta F.). Berlin Heidelberg-Springer 11-45. ISBN: 9783642324239. DOI: 10.1007/978-3-642-32424-6_2.

IT07-M LAGUNE DEL DELTA DEL PO

Autori

Michele Mistri¹, Cristina Munari¹, Valentina Pitacco¹, Vanessa Infantini¹, Umberto Simeoni², Corinne Corbau, Carla Rita Ferrari³

Affiliazione

¹ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche.

² Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Fisiche e della Terra.

³ Struttura Oceanografica Daphne, ARPAE Cesenatico.

Referente Macrosito: Michele Mistri.

Siti di ricerca:

Sacca di Goro, IT07-001-M

Valli di Comacchio, IT07-002-M

Tipologia di ecosistema: Marino/ Acque di transizione

DEIMS.ID: <https://deims.org/b3ba9409-4953-446b-9890-5b977c4c1cb3>

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Questo sito (status di protezione: SIC-ZPS) è costituito da 2 siti di ricerca: la Sacca di Goro e le Valli di Comacchio. La Sacca di Goro è una delle lagune salmastre di maggiori dimensioni dell'Alto Adriatico. Il fondale interno della Sacca è caratterizzato da sedimenti fini (argillosi e limosi), mentre fondali sabbiosi si trovano presso le bocche a mare. Le Valli di Comacchio costituiscono il più vasto complesso di zone umide salmastre dell'Emilia-Romagna. I fondali sono costituiti da argille, limi e materiali bioclastici, raramente da sabbie. Le comunicazioni con il mare avvengono attraverso un sistema di canali. Le due lagune che costituiscono il macrosito sono diverse come tipologia, essendo la Sacca di Goro una "laguna aperta" (leaky), mentre le Valli di Comacchio sono una "laguna chiusa" (choked). Le finalità degli studi LTER sui due siti sono differenti. La Sacca di Goro è importante per lo studio delle specie aliene, in quanto è una laguna particolarmente vulnerabile a questo problema. Le valli di Comacchio sono importanti per lo studio dello stress ambientale sulla componente biotica dell'ecosistema.

Prospettive future

Il proseguimento acquisizione dei dati LTER avviene grazie all'attività istituzionale di ARPAE per quanto riguarda i dati abiotici in entrambi i siti di ricerca. L'acquisizione di dati biotici (principalmente riguardanti la macrofauna bentonica e prossimamente lo zooplancton) avviene grazie ai progetti europei LIFE. Attualmente, un progetto è in corso di svolgimento presso il sito LTER_EU_IT_040 (Sacca di Goro). Presso il sito LTER_EU_IT_041 (Valli di Comacchio) vengono raccolti istituzionalmente dati relativi alle rese di pesca nelle Valli da parte dell'Ente Parco.

Come citare questo capitolo: Mistri M., Munari C., Pitacco V. *et al.* (2021). IT07-M Lagune del Delta del Po, p. 217-227. DOI: 10.5281/zenodo.5584741. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Proseguimento acquisizione dati LTER: Analisi mesologiche della colonna d'acqua (ARPAE); censimenti biologici del macrobenthos (Università di Ferrara, Dip. Scienze Chimiche e Farmaceutiche); caratteristiche sedimentarie (Università di Ferrara, Dip. Fisica e Scienze della Terra).

Nuove ricerche: analisi delle microplastiche in ambiente (sedimenti-colonna d'acqua) e nel biota (Università di Ferrara, Dip. Scienze Chimiche e Farmaceutiche; Università Ca' Foscari Venezia).

Formazione e divulgazione

L'attività formativa avviene principalmente attraverso la preparazione di tesi di laurea sperimentali da parte di studenti di LT e LM dell'Università di Ferrara. Nel quinquennio di riferimento ne sono state prodotte oltre la decina.

La divulgazione avviene mediante la presentazione a congressi nazionali ed internazionali dei risultati conseguiti.

Abstract

This macrosite (protection status: SIC-ZPS) consists of 2 research sites: the Sacca di Goro and the Valli di Comacchio. The Sacca di Goro is one of the largest brackish lagoons in the Upper Adriatic. The internal part of the Sacca is characterized by fine sediments (clayey and silty), while sandy bottoms are found near the mouths at sea. The Valli di Comacchio are the largest complex of brackish wetlands in the Emilia-Romagna region. The seabed consists of clays, silts and bioclastic materials, rarely from sand. Communications with the sea occur through a system of channels. The two lagoons that constitute the macrosite are different as typology, being the Sacca di Goro an "open lagoon" (leaky), while the Valli di Comacchio are a "closed lagoon" (choked). The aims of the LTER studies on the two sites are different. The Sacca di Goro is important for the study of the introduction of alien species, as the lagoon is particularly vulnerable to this problem. The Valli di Comacchio are important for the study of environmental stress, also as a result of climate change, on the biotic component of the ecosystem.

Sacca di Goro

Autori

Michele Mistri¹, Cristina Munari¹, Valentina Pitacco¹, Vanessa Infantini¹, Umberto Simeoni², Corinne Corbau,
Carla Rita Ferrari³

Affiliazione

¹ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche.

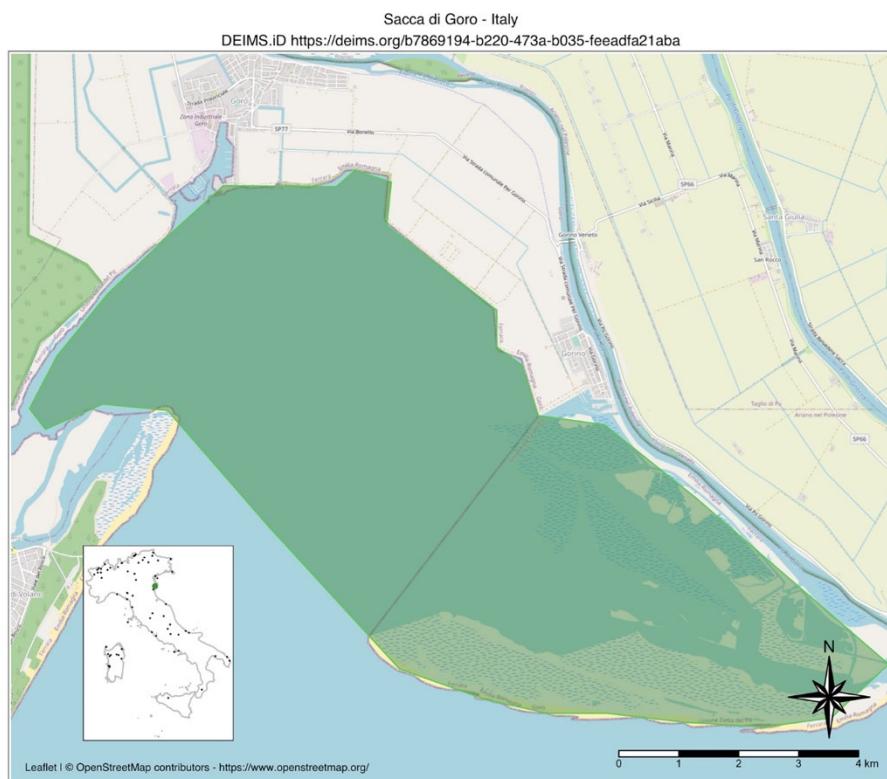
² Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Fisiche e della Terra.

³ Struttura Oceanografica Daphne, ARPAE Cesenatico.

Sigla: IT07-001-M

Responsabile sito: Michele Mistri.

DEIMS.ID: <https://deims.org/b7869194-b220-473a-b035-feeada21aba>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Status di protezione: SIC-ZPS (IT4060005)

La Sacca di Goro è una laguna costiera di tipo “leaky”, con superficie pari a 26 km² e profondità media di 1.5 m. La Sacca riceve acqua salata dal mare e acqua dolce dal Po di Goro, dal Po di Volano, dal Canal Bianco tramite idrovore, e dall’impianto di sollevamento di Valle Giralda. Lo scanno sabbioso esterno presenta un’elevata naturalità, mentre le acque aperte sono intensamente utilizzate per la venericoltura. Tipi di Habitat elencati nell’Allegato I di Natura 2000 (92/43/CEE): 1110, 1130, 1150. Nella parte riparata dalle correnti, a bassa profondità e suoli argillosi, delle Valli di Gorino e del confine tra la Sacca e il Po di Goro, la formazione palustre più diffusa è il canneto a fragmita (*Phragmites australis*). Nelle aree salmastre più profonde dell’interno della Sacca, dove maggiore è il disturbo delle onde e delle correnti, si trova una vegetazione sommersa dominata da alghe (Ulvetalia). Su substrati molli e fangosi s’insediano popolamenti algali fluttuanti di *Ulva* e *Gracilaria*, su substrati duri s’incontra invece *Enteromorpha*. La vegetazione sommersa si presenta povera di specie, ma raggiunge enormi quantità di biomassa, e in queste comunità vive un elevato numero di animali planctonici e bentonici. Le specie presenti nell’Allegato II di Natura 2000 (92/43/CEE) sono *Pomatoschistus canestrinii* e *Knipowitschia panizzae*. L’ambiente acquatico è fortemente disturbato, ed è a notevolissimo rischio di invasioni di specie aliene.



Fig. 1 - Sacca di Goro

La Sacca di Goro inizia a formarsi nella prima metà del XIX secolo, quando il Po di Maistra viene parzialmente chiuso ed assume maggior importanza il ramo del Po di Pila. Nella seconda metà del XX secolo viene importata ed inizia la coltivazione in ampie aree della Sacca della vongola filippina *Tapes philippinarum*. Attualmente la Sacca è uno dei maggiori produttori europei della vongola.

L’attività di ricerca continuativa nella Sacca è iniziata nei primi anni ’80 da parte dell’Università di Ferrara, a cui è seguito un notevole contributo, negli anni ’90 del secolo scorso, da parte dell’Università di Parma. Oltre alle serie di dati per numerose componenti biotiche dell’ecosistema (principalmente raccolti dall’Università di Ferrara), esistono importanti serie temporali relative ai parametri fisico-chimici dei sedimenti e della colonna d’acqua raccolte da ARPAE.

Enti coinvolti: ARPAE, Università di Ferrara.

Risultati

La Sacca di Goro (LTER_EU_IT_040) è una laguna poco profonda del Delta del Po, di superficie di 26 Km² e profondità media di 1,5 m. Le sue aree occidentali e centrali, che rappresentano la metà

della superficie totale, ospitano un allevamento di vongole tra i più fiorenti d'Europa (Munari & Mistri 2014b). La zona orientale è una sorta di cul-de-sac della laguna, caratterizzata da frequenti blooms algali estivi (Corbau *et al.* 2016). Nell'ambito di un progetto LIFE (LIFE13 NAT/IT/000115 *AGREE*), abbiamo monitorato la biodiversità bentonica con particolare riguardo alla presenza di specie aliene. L'introduzione e la diffusione di specie non indigene è considerata come una delle principali minacce alla biodiversità delle aree costiere e di transizione. Gli ambienti di transizione sono altamente vulnerabili all'introduzione di specie aliene a causa della loro instabilità ambientale, al basso numero di specie, all'elevato sfruttamento per l'acquacoltura e l'allevamento di molluschi, e per la presenza di comunità bentoniche non saturate. Le specie non indigene sono risultate costituire il 20,4% dei taxa raccolti. Gli Anellidi, con il 37,9% di specie aliene, mostravano il maggior numero di specie non indigene seguiti da Molluschi (con il 22,2% di specie aliene) e Crostacei (con il 12,9% di specie aliene). Alcune specie aliene sono state trovate in tutti e tre i campionamenti, *Arcuatula senhousia*, *Tapes philippinarum*, *Ficopomatus enigmaticus*, e *Grandidierella japonica*. Altre specie ritrovate: *Anadara transversa*, *Dyspanopeus sayi*, *Caprella scaura* e *Desdemona ornata*. La maggior parte delle specie aliene sono presenti solo saltuariamente: *Mya arenaria*, *Rhithropanopeus harrisii*, *Podarkeopsis capensis*, *Pileolaria berkeleyana*, *Phyllocoel mucosa*, *Hydroides elegans* ed *Hydroides dianthus*. Inoltre sono state trovate quattro specie aliene appartenenti ai generi *Polydora*, *Pseudopolydora*, *Prionospio* e *Streblospio*. In particolare la presenza dell'Aoridae indopacifico *Grandidierella japonica* è stata rilevata per la prima volta nel Mar Mediterraneo nel 2015 (Munari *et al.* 2016). La Sacca è un ambiente intrinsecamente instabile e variabile sottoposto a più introduzioni di specie non indigene, prevalentemente di origine indopacifica. L'introduzione volontaria legata all'acquacoltura di specie non alloctone, come nel caso di *Tapes philippinarum*, ed il rilascio accidentale attraverso le acque di zavorra sembrano le modalità di introduzione più comuni. Si ipotizza che un ruolo nell'apporto di specie non indigene nella Sacca di Goro potrebbe essere giocato dal terminal LNG Adriatic, ancorato a poche miglia offshore dal Delta del Po, e utilizzato da navi gasiere provenienti principalmente dal Golfo Persico (Infantini *et al.* 2019). I fattori che favoriscono l'introduzione e lo sviluppo di specie non indigene in questa particolare area sembrano essere principalmente: (i) il verificarsi di introduzioni e trasferimenti intenzionali (acquacoltura), con specie di accompagnamento alloctone introdotte accidentalmente, (ii) i grandi volumi di traffico marittimo che interessano la zona, (iii) lo stress ambientale e l'alto carico di sostanze nutritive, sia di origine naturale che antropogenica, che interessano tipicamente l'ambiente lagunare.

Abstract

Sacca di Goro: LTER_EU_IT_040. The Sacca is a shallow, leaky lagoon of the Po River Delta, approximately triangular in shape with a surface area of 26 km², and an average depth of 1.5 m. The lagoon is surrounded by embankments. The main freshwater inputs are the Po di Volano River, the Canal Bianco and Giralda, and the Po di Goro. The tidal amplitude is ca 80 cm. The bottom of the lagoon is flat and the sediment is alluvial mud with high clay and silt content in the northern and central zones. Sand is more abundant near the southern shoreline, whilst sandy mud occurs in the eastern area. About half of its aquatic surface is exploited for farming of the Manila clam (*Tapes philippinarum*), which was introduced in the 1980s. The Sacca is particularly susceptible to the introduction of alien species. The main causes of the arrival and spread of the alien species were identified in: (i) intentional introductions for aquaculture, with consequent accidental transfers of alien species, (ii) the large volumes of maritime traffic affecting the area, (iii) environmental stress and the high load of nutrients, typically of the lagoon. Due to its characteristics and its economic importance, the Sacca di Goro has been the object of a continuous study and, hence, long-term data (biotic and abiotic) is available.

Valli di Comacchio

Autori

Michele Mistri¹, Cristina Munari¹, Valentina Pitacco¹, Vanessa Infantini¹, Umberto Simeoni², Corinne Corbau, Carla Rita Ferrari³

Affiliazione

¹ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche.

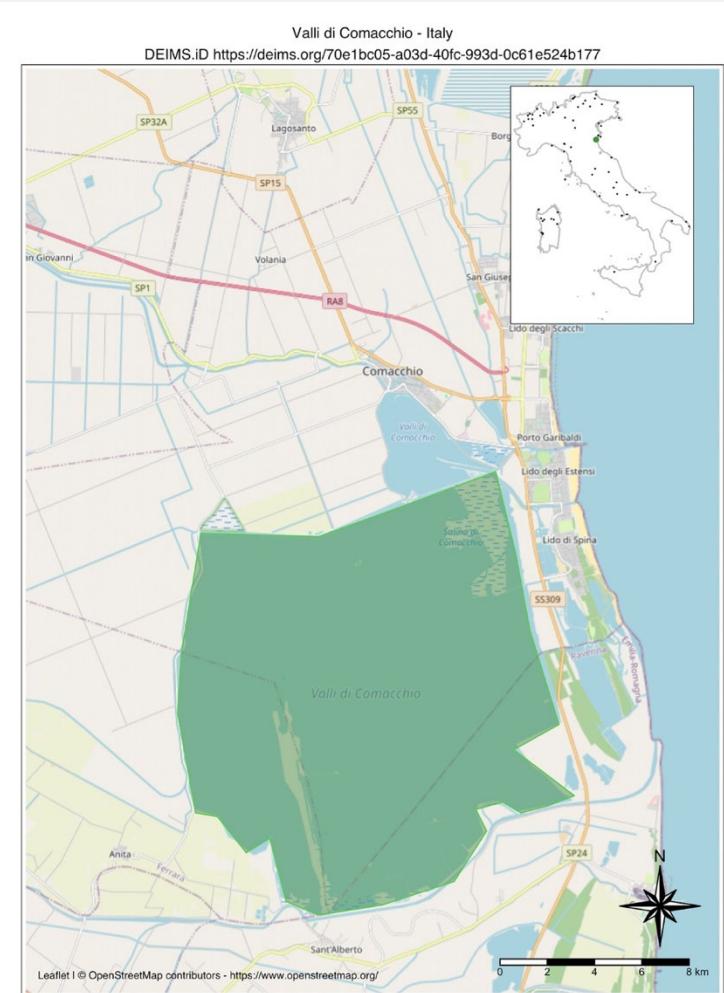
² Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Fisiche e della Terra.

³ Struttura Oceanografica Daphne, ARPAE Cesenatico.

Sigla: IT07-002-M

Responsabile sito: Michele Mistri.

DEIMS.ID: <https://deims.org/70e1bc05-a03d-40fc-993d-0c61e524b177>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Status di protezione: SIC-ZPS (IT4060002).

Le Valli di Comacchio costituiscono il più importante esempio di laguna “choked” del bacino Adriatico. Le Valli sono una grande laguna salmastra (110 km^2), ricca di barene ricoperte da vegetazione alofila. È attraversata da sud a nord dalla penisola di Boscoforte. I principali bacini sono: Fossa di Porto, Lido di Magnavacca, Valle Cona, Valle Campo, Sottolido e i bacini delle Saline di Comacchio, Valle Fattibello e Spavola, Valle Capre, Valle Furlana (Valle Lavadena, Valle Pastorina, Val Bru, Ussarola e Valle Smarlacca). A questi si aggiungono relitti di valli non in comunicazione con le precedenti: Valle Molino, Valle Zavelea (detta anche Oasi Fossa di Porto), Vene di Bellocchio e Sacca di Bellocchio. Le comunicazioni con il mare avvengono attraverso il canale di Porto Garibaldi, il Canale Logonovo e il Canale Bellocchio-Gobbino. Per gli ultimi due canali le comunicazioni sono difficoltose, a causa di frequenti insabbiamenti che si verificano alle foci. Fenomeni di inquinamento hanno in passato reso problematico il rifornimento di acque dolci dal Reno per le valli Fossa di Porto e Magnavacca. La salinità è variabile nel corso dell'anno e diversa da un bacino all'altro talvolta anche nell'ambito di uno stesso bacino, sia per motivi meteoclimatici (evaporazione e precipitazione) sia per il regime idraulico che viene utilizzato nei singoli casi. In genere la salinità diminuisce da N verso S per l'influenza delle acque del Reno. I tipi di habitat presenti ed elencati nell'Allegato I di Natura 2000 (92/43/CEE): 1150, 1410, 92A0, 1510, 1420, 1310, 1110. Su suoli limosi lungamente inondati si insedia una comunità di alofite annuali pioniere a pregio naturalistico molto elevato perché dominata da *Salicornia veneta*, una specie endemica dell'Alto Adriatico. Ai margini dei dossi o su barene poco rilevate, in suoli sabbiososargillosi e in condizioni di marcata igrofilia si insedia una vegetazione alofila perenne caratterizzata da *Sarcocornia desflexa*. Di importanza internazionale la colonia di fenicotteri nidificanti e le grandi colonie di laridi e sternidi nidificanti nei dossi interni con colonie che rappresentano percentuali altissime della popolazione nidificante in Italia. Molto importante a livello internazionale anche la nidificazione della spatola, per la quale il drosso Tre Motte è l'unico sito regolarmente occupato in Italia.

Specie elencate nell'Allegato II di Natura 2000 (92/43/CEE): *Aphanius fasciatus*, *Pomatoschistus canestrinii* e *Knipowitschia panizzae*.



Fig. 2 - Lavoriero Valli di Comacchio

litoranei e di alvei fluviali, che spesso sono utilizzate per delimitare singoli bacini. A partire dalla fine degli anni '70 le Valli hanno subito pesanti eventi di inquinamento, che hanno visto l'aumento della torbidità dell'acqua, la completa eliminazione della componente macrofitica e marcrolrale (*Ruppia* e *Lamprothamnium*) a favore di abbondanti fioriture di fitoplancton alla cui composizione partecipano soprattutto picocianobatteri e *Nannochloropsis*. Ciò ha portato a modificazione e semplificazione delle comunità floristiche e faunistiche a tutti i livelli della rete trofica e drastico crollo della produzione ittica.

Le attuali Valli di Comacchio sono il residuo di un complesso vallivo che ha avuto la sua massima estensione nel XVI secolo quando copriva oltre 500 km^2 di superficie. Questi si ridussero progressivamente con le bonifiche iniziate alla metà del XIX secolo e protrattesi fino alla fine degli anni '60 del XX secolo. All'interno delle valli sono

ancora visibili numerose strutture relitte di cordoni

L'attività di ricerca nelle Valli di Comacchio è iniziata nel 1971 con gli studi pionieristici del Prof G. Colombo (Università di Ferrara), e prosegue principalmente grazie alla raccolta di dati ambientali da parte di ARPAE. Nel periodo 1996-2015 hanno avuto particolare impulso le ricerche riguardanti la fauna macrobentonica. Tipologia di dati raccolti: chimico-fisici (ARPAE), biotici (Università di Ferrara), rese di pesca (Ente Parco).

Enti coinvolti: ARPAE, Università di Ferrara, Ente Parco Delta Po ER.

Risultati

Le Valli di Comacchio (LTER_EU_IT_041) costituiscono il più esteso ecosistema lagunare del delta del Po e sono caratterizzate da acque poco profonde e marcate variazioni naturali nei parametri ambientali (Mistri 2012). La principale attività svolta nel sito è consistita nella raccolta di dati relativi alla fauna macrobentonica (da parte di UniFe) e di caratterizzazione della colonna d'acqua e dei sedimenti (da parte di ARPAE). Nell'ambito di un progetto LIFE (LIFE09 NAT/IT/000110 *Natura 2000 in the Po Delta*) è stata analizzata una serie temporale di dati biotici ed abiotici dal 1996 al 2015, allo scopo di testare gli effetti dei cambiamenti climatici (in termini di variazioni di temperature e precipitazioni) sulle dinamiche macrobentoniche e valutare la resilienza della comunità. I dati sono stati analizzati utilizzando diversi approcci: Analisi dei Tratti Biologici, indici strutturali e indici qualitativi. Nel periodo analizzato la comunità macrobentonica delle Valli di Comacchio mostra fluttuazioni marcate, sia in termini di ricchezza e diversità, sia a livello di tratti biologici e gruppi ecologici, che sono riconducibili all'instabilità ambientale della laguna (Munari & Mistri 2014a). Al tempo stesso si osserva una tendenza generale verso un deterioramento delle condizioni ecologiche della laguna, con una generale diminuzione della ricchezza, della diversità e della percentuale di specie sensibili (Munari & Mistri 2012). Considerando i tratti biologici, si osserva una generale diminuzione della percentuale di organismi filtratori, predatori, erbivori, sessili, vagili e dotati di esoscheletro, e un contemporaneo aumento generale degli organismi detritivori, scavatori, con corpo non protetto da esoscheletro e ciclo vitale breve.

Nel periodo studiato si osserva un generale aumento delle medie annuali delle temperature (minime e massime), che però spiega solo una piccola parte della variabilità a livello di comunità macrobentonica. Maggiori percentuali di organismi detriti-vori, semelpari e privi di esoscheletro si osservano in corrispondenza di alte temperature, mentre filtratori, predatori, iteropari e animali con esoscheletro sono inversamente correlati con la temperatura. Nel periodo analizzato le precipitazioni non mostrano alcun trend generale, né risultano correlate ad alcun parametro della comunità macrobentonica. Tuttavia, tutte le metriche utilizzate concordano nell'identificare l'effetto di un disturbo importante sulla comunità macrobentonica in corrispondenza della marcata anomalia termica del 2003 (Munari 2011). Segni di disturbo meno marcati si osservano anche in corrispondenza dell'anomalia termica del 2012.

Le temperature estive elevate esercitano un effetto negativo sulle dinamiche delle comunità bentoniche lagunari, non tanto per un effetto diretto sulla sopravvivenza degli individui, ma come risultato delle dinamiche abiotiche. Elevate temperature sono infatti collegate ad una diminuzione della salinità e dell'ossigeno dissolto, con conseguenti potenziali feno-menzi di ipossia. La



Fig. 3 - Casone Valli di Comacchio

presenta di una certa ridondanza strutturale e funzionale, ha fatto ipotizzare una certa resilienza delle comunità delle Valli di Comacchio ai cambiamenti climatici. Tuttavia sul lungo periodo si osserva una generale tendenza al deterioramento delle condizioni ecologiche, con diminuzione del numero di specie, della diversità e della percentuale di specie sensibili, e un aumento in proporzione delle modalità opportuniste di alcuni tratti biologici. È quindi possibile che la frequenza del disturbo risulti troppo elevata per permettere il pieno recupero della comunità (Pitacco *et al.* 2018). Questi risultati suggeriscono come il previsto aumento della frequenza, della durata e dell'intensità delle ondate di calore costituiscano una potenziale minaccia per la resilienza della comunità macrobentonica delle Valli di Comacchio.



Fig. 4 - Capanno di pesca, Valli di Comacchio

Abstract

Valli di Comacchio: LTER_EU_IT_041. The Valli (with depth ranging from 0.5-1.5 m) are the largest (115 km²) choked lagoon in the southernmost part of the Po River deltaic area. The lagoon is completely surrounded by earthen dikes, and separated by the sea by the highly anthropogenically impacted, 2.5 km-wide Spina spit. The Valli are connected with the Adriatic Sea by three marine channels. In the last 50 years, the Valli underwent important anthropogenic impacts, from land reclamation to the effects of contamination on the remaining areas. The Valli have always been an area of intensive economic activity for fisheries and, by the early 1970s, for eel aquaculture. During the 1980s, the ecosystem of the Valli changed significantly at various levels, with a drastic depletion of all planktonic and benthic components, and the dominance of picocyanobacteria. Nowadays, the Valli are characterized by such hydrologic and physical-chemical conditions (shallow water with long residence time, inputs of nutrient-rich continental waters, anoxic sediment layers with production of sulfides) to be considered a very harsh environment. Due to its characteristics and former economic importance, the Valli di Comacchio have been the object of a continuous study and, hence, long-term data (biotic and abiotic) is available.

Bibliografia citata

- Corbau C., Munari C., Mistri M., Lovo S., Simeoni U. (2016). Application of principles of ICZM for restoring the Goro Lagoon. *Coastal Management* 44, 350-365.
- Infantini V., Mistri M., Pitacco V., Munari C. (2019). La presenza di specie non indigene nella Sacca di Goro. *Biologia Marina Mediterranea*. ISSN: 1123-4245.
- Mistri M. (2012). Le lagune del Delta del Po, tra gestione e conservazione; Aracne Ed. pp. 210.
- Munari C. (2011). Effects of the 2003 European heatwave on the benthic community of a severe transitional ecosystem (Comacchio Saltworks, Italy). *Marine Pollution Bulletin* 62, 2761-2770.
- Munari C., Mistri M. (2012). Ecological status assessment and response of benthic communities to environmental variability: The Valli di Comacchio (Italy) as a study case. *Marine Environmental Research*, 81, 53-61.
- Munari C., Mistri M. (2014a). Traditional management of lagoons for fishery can be inconsistent with restoration purposes: the Valli di Comacchio study case. *Chemistry and Ecology*, 30, 653-665.
- Munari C., Mistri M. (2014b). Spatio-temporal pattern of community development in dredged material used for habitat enhancement: a study case in a brackish lagoon. *Marine Pollution Bulletin* 89, 340-347.
- Munari C., Bocchi N., Mistri M. (2016). *Grandidierella japonica* (Amphipoda: Aoridae): a non-indigenous species in a Po delta lagoon of the northern Adriatic (Mediterranean Sea). *Marine Biodiversity Records* 9, 12.
- Pitacco V., Mistri M., Munari C. (2018). Long-term temporal variability of macrobenthic community in a shallow coastal lagoon (Valli di Comacchio, northern Adriatic): is community resistant to climate changes? *Marine Environmental Research* 137, 73-87.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Bevilacqua S., Mistri M., Terlizzi A., Munari C. (2018). Assessing the effectiveness of surrogates for species over time: evidence from decadal monitoring of a Mediterranean transitional water ecosystem. *Marine Pollution Bulletin* 131, 507-514.
- Bevilacqua S., Terlizzi A., Mistri M., Munari C. (2015). New frameworks for species surrogacy in monitoring highly variable coastal ecosystems: Applying the BestAgg approach to Mediterranean coastal lagoons. *Ecological Indicators* 52: 207-218.
- Corbau C., Munari C., Mistri M., Lovo S., Simeoni U. (2016). Application of principles of ICZM for restoring the Goro Lagoon. *Coastal Management* 44, 350-365.
- Mistri M., Borja A., Aleffi I.F., Lardicci C., Tagliapietra D., Munari C. (2018). Assessing the ecological status of Italian lagoons using a biomass-based index. *Marine Pollution Bulletin* 126, 600-605.
- Mistri M., Munari C. (2015). The performance of biomass-based AMBI in lagoonal ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 99, 126-137.
- Munari C., Mistri M. (2011). Short-term hypoxia modulates *Rapana venosa* (Muricidae) prey preference in Adriatic lagoons. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407, 166-170.
- Munari C., Mistri M. (2012). Ecological status assessment and response of benthic communities to environmental variability: The Valli di Comacchio (Italy) as a study case. *Marine Environmental Research*, 81, 53-61.
- Munari C., Mistri M. (2012). Short-term sublethal hypoxia affects a predator-prey system in northern Adriatic transitional waters. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 97, 136-140.
- Munari C., Mistri M. (2014a). Traditional management of lagoons for fishery can be inconsistent with restoration purposes: the Valli di Comacchio study case. *Chemistry and Ecology*, 30, 653-665.

-
- Munari C., Mistri M. (2014b). Spatio-temporal pattern of community development in dredged material used for habitat enhancement: a study case in a brackish lagoon. *Marine Pollution Bulletin* 89, 340-347.
- Munari C. (2011). Effects of the 2003 European heatwave on the benthic community of a severe transitional ecosystem (Comacchio Saltworks, Italy). *Marine Pollution Bulletin*, 62: 2761-2770.
- Munari C., Bocchi N., Mistri M. (2016). *Grandidierella japonica* (Amphipoda: Aoridae): a non-indigenous species in a Po delta lagoon of the northern Adriatic (Mediterranean Sea). *Marine Biodiversity Records* 9, 12.
- Pitacco V., Mistri M., Ferrari C.R., Munari C. (2018). Heavy metals, OCPs, PAHs, and PCDD/Fs contamination in surface sediments of a coastal lagoon (Valli di Comacchio, NW Adriatic, Italy): long term trend (2002-2013) and effect on benthic community. *Marine Pollution Bulletin* 135, 1221-1229.
- Pitacco V., Mistri M., Munari C. (2018). Long-term temporal variability of macrobenthic community in a shallow coastal lagoon (Valli di Comacchio, northern Adriatic): is community resistant to climate changes? *Marine Environmental Research* 137, 73-87.
- Pugnetti A., Acri F., Bernardi Aubry F., Camatti E., Cecere E., Facca C., Franzoi P., Keppel E., Lugliè A., Mistri M., Munari C., Padedda B.M., Petrocelli A., Pranovi F., Pulina S., Satta C.T., Sechi N., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Torricelli P. (2013). The Italian Long-Term Ecosystem Research (LTER-Italy) network: results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems. *Transitional Waters Bulletin* 7, 43-63.

Riviste non ISI

- Infantini V., Mistri M., Pitacco V., Munari C. (2019). La presenza di specie non indigene nella Sacca di Goro. *Biologia Marina Mediterranea*. ISSN 1123-4245.
- Munari C., Mistri M. (2017). A 20 yrs-long analysis of the macrobenthos in a LTER site: the Valli di Comacchio study case. *Biologia Marina Mediterranea* 24, 120-121. ISSN: 1123-4245.
- Munari C., Mistri M. (2017). Analisi di lungo termine sulla macrofauna acquatica e sulla qualità ecologica in un sito LTER-Italia: le Valli di Comacchio. *Quaderni del Museo Civico di Storia Naturale di Ferrara* 5, 87-99. ISSN: 2283-6918.
- Pitacco V., Mistri M., Infantini I., Munari C. (2019). Variabilità temporale della comunità macrobentonica nelle valli di Comacchio (Adriatico settentrionale) in relazione ai cambiamenti climatici. *Biologia Marina Mediterranea*. ISSN: 1123-4245.

Libri

- Mistri M. (2012). Le lagune del Delta del Po, tra gestione e conservazione; Aracne Ed., pp. 210.

Autori

Nico Salmaso¹, Mariano Bresciani², Fabio Buzzi³, Marzia Ciampittiello⁴, Barbara Leoni⁵, Roberta Piscia⁴, Michela Rogora⁴, Martina Austoni⁴, Monica Beltrami⁴, Roberto Bertoni⁴, Angela Boggero⁴, Adriano Boscaini¹, Pietro Alessandro Brivio², Cristiana Callieri⁴, Igor Cerutti⁴, Cristina Cappelletti¹, Paola Carrara², Leonardo Cerasino¹, Francesca Ciutti¹, Gianluca Corno⁴, Evelina Crippa⁴, Andrea Di Cesare⁴, Claudia Dresti⁴, Ester Eckert⁴, Claudio Foglini⁴, Diego Fontaneto⁴, Silvia Galafassi⁴, Paola Giacomotti⁴, Claudia Giardino², Piero Guilizzoni⁴, Mattia Iaia⁴, Andrea Lami⁴, Simone Lella², Dario Manca⁴, Marina Manca⁴, Aldo Marchetto⁴, Rosario Mosello⁴, Mauro Musanti², Veronica Nava⁵, Alessandro Oggiono², Arianna Orrù⁴, Martina Patelli⁵, Nicoletta Riccardi⁴, Helmi Saidi⁴, Paolo Sala⁴, Valentina Soler⁵, Gabriele A. Tartari⁴, Monica Tolotti¹, Pietro Volta⁴, Silvia Zaupa⁴

Affiliazione

¹ Fondazione Edmund Mach, via E. Mach 1, 38010, San Michele all'Adige.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano.

³ ARPA Lombardia, Dipartimento di Lecco, Via I Maggio, 21/b, I-23848 Oggiono (LC).

⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania (VB).

⁵ Università degli Studi di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Piazza della Scienza 1, I 20126 Milano.

Referente macrosito: Nico Salmaso

Siti di ricerca:

Lago Maggiore, IT08-001-A

Lago di Candia, IT08-002-A

Lago d'Orta, IT08-003-A

Lago di Como, IT08-004-A

Lago di Garda, IT08-005-A

Lago d'Iseo, IT08-006-A

Tipologia di ecosistema: acque interne

DEIMS.ID: <https://deims.org/8ffe6c61-5473-4e56-9a6e-827baad941e5>

Citare questo capitolo come segue: Salmaso N., Bresciani M., Buzzi F. *et al.* (2021). IT08-A Laghi Sudalpini, p. 229-296. DOI: 10.5281/zenodo.5584743. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito “IT08 Laghi Sudalpini” comprende un gruppo di laghi localizzato al margine meridionale della catena alpina. Le tipologie lacustri sono rappresentate da laghi estesi e profondi (Orta, Garda, Maggiore, Como e Iseo) e da un lago di minori dimensioni e bassa profondità (Candia). Le tematiche comuni a tutti i siti di ricerca comprendono: composizione, struttura e dinamica delle comunità biologiche (plancton, necton e comunità litorali) e loro risposte all'eutrofizzazione e ai cambiamenti climatici; le reti trofiche; la paleolimnologia; l'ecotossicologia; la qualità ecologica; il telerilevamento. Le attività di ricerca sono supportate da una ricca disponibilità di laboratori localizzati nelle differenti sedi e da un'ampia dotazione di apparecchiature tecnologiche. Queste infrastrutture, finanziate nell'ambito dei singoli istituti coinvolti nella ricerca, hanno permesso non solo di mantenere, ma anche di aggiornare i classici approcci utilizzati nel monitoraggio scientifico, aprendo, nel contempo, nuovi indirizzi di ricerca: ne sono esempi gli sviluppi nel campo dell'ecologia molecolare e microbica, il profiling metabolomico, la ricerca di geni di resistenza agli antibiotici, la sperimentazione di sistemi di monitoraggio ad alta frequenza mediante l'utilizzo di sensori. Nel corso dell'ultimo decennio, la regolarità nelle attività di ricerca nei laghi di maggiori dimensioni è stata favorita dalla disponibilità di finanziamenti esterni (progetti competitivi o previsti nell'ambito di cooperazioni transfrontaliere) e ordinari (progetti definiti nei singoli istituti o attività istituzionali nel caso delle ARPA). La varietà delle attività di ricerca svolte nei laghi sudalpini è testimoniata dalla pubblicazione di numerosi articoli scientifici e divulgativi, dai contributi presentati in congressi nazionali e internazionali, dall'organizzazione di convegni, seminari e attività e di formazione e divulgazione, oltre che dalla presenza nei media giornalistici.

La collaborazione tra i siti di ricerca appartenenti al macrosito Laghi Sudalpini vanta una lunga tradizione. Seppur regolate nell'ambito di progetti e accordi informali, numerose forme di collaborazione tra tutti gli attuali siti di ricerca erano infatti già attive ancor prima dell'istituzione della rete LTER-Italia. Nell'ambito di queste collaborazioni va inserito anche il Lago di Lugano che, pur non incluso nell'attuale network, rimane largamente coinvolto nelle attività di collaborazione scientifica con il supporto attivo della Scuola Universitaria Professionale della Svizzera italiana (SUPSI, Canobbio). Le collaborazioni riguardano attività di supporto logistico reciproco (raccolta di campioni e analisi di laboratorio, intercalibrazioni), campagne di indagine focalizzate su argomenti specifici (tra cui ricerca di specie tossigeniche, zooplancton, reti trofiche, ecologia microbica, evoluzione a lungo termine dello stato trofico e dinamiche di mescolamento in relazione alle fluttuazioni climatiche, telerilevamento, microplastiche). I numerosi risultati ottenuti nell'ambito delle collaborazioni hanno permesso di produrre un elevato numero di articoli scientifici e contributi sinottici a livello congressuale e seminariale. In particolare, numerosi lavori di carattere sinottico sono stati recentemente pubblicati in un numero speciale della rivista *Hydrobiologia* dedicato ai grandi laghi perialpini (2018, volume 824, Issue 1).

Riassumendo, l'elemento chiave delle ricerche LTER nei laghi a sud delle Alpi è il loro approccio a lungo termine, su scale temporali che vanno ben oltre la durata tipica dei progetti di ricerca. Il monitoraggio scientifico costituisce un elemento centrale delle ricerche LTER, comprendendo non solo la raccolta di dati (monitoraggio di base), ma anche la loro interpretazione, modellizzazione e manipolazione sperimentale, con particolare attenzione a gruppi chiave di variabili selezionate al fine di individuare gli stressori ambientali più significativi e il grado di cambiamento a livello di ecosistema, comunità, specie e popolazioni. Tale approccio richiede necessariamente di essere implementato in un contesto di ricerca scientifica in grado di mantenere un elevato livello di qualità sia nei dati raccolti sia nella loro elaborazione, interpretazione, diffusione e valorizzazione, non solo a livello di singolo lago o macrosito, ma anche in più ampi contesti nazionali ed internazionali.

Abstract

The Macrosite “IT08 Subalpine Lakes” includes a group of lakes located at the southern border of the Alps. The lake typologies are represented by large and deep lakes (Orta, Garda, Maggiore, Como and Iseo) and by a lake of smaller size and shallow depth (Candia). Topics common to all the research sites

include the impact of eutrophication and climate change, the composition, structure and dynamics of biological communities (plankton, necton and littoral communities), trophic webs, paleolimnology, ecotoxicology, ecological status and remote sensing. Scientific investigations are supported by a wide availability of technological infrastructures and laboratories located in the reference institutions, and by a wide range of technological equipment for fieldwork. These facilities, funded within the individual institutes involved in the research, have allowed not only to maintain, but also to update the classical approaches used in scientific monitoring, while opening up new research fields (especially molecular ecology, microbial ecology, metabolomic profiling, antibiotic resistance genes, high frequency monitoring by sensor technology). Over the last decade, the continuity and regularity of investigations have been facilitated by the availability of both external and ordinary funds. The variety of research activities carried out on the IT08 macrosite is evidenced by the publication of numerous scientific papers, as well as contributions (oral or poster) presented at national and international conferences, and by the presence in the mass media. In this context, the scientific monitoring is a key element of LTER research, including not only data collection (basic monitoring), but also data interpretation, modeling, and experimental manipulation, with particular attention to key groups of selected variables in order to identify the most significant environmental stressors and the degree of change at the level of ecosystems, communities, species and populations.

Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare tutte le persone che, nel corso di questi anni, hanno contribuito alla ricerca ecologica a lungo termine nel distretto lacustre subalpino. In particolare, un sentito ringraziamento va a tutto il personale ricercatore, scientifico, tecnico, e a tutti i collaboratori e studenti che con pazienza e dedizione hanno contribuito alla raccolta delle serie storiche di dati. Oltre che con il fondamentale supporto logistico e finanziario delle istituzioni di afferenza, le ricerche sono svolte con il supporto di numerose altre istituzioni, enti e programmi di finanziamento citati alla fine di ogni sezione dedicata ai rispettivi siti di ricerca.

Vogliamo dedicare questo capitolo alla memoria di uno scienziato che ha contribuito alla nascita e allo sviluppo della ricerca LTER nel distretto lacustre sudalpino: Giuseppe Morabito. Questo è uno dei primi lavori sinottici in cui Giuseppe, da sempre anima portante delle attività LTER, non è con noi. Ed è anche mantenendo l'impegno e la continuità nelle ricerche che vogliamo ricordarlo.

Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>.

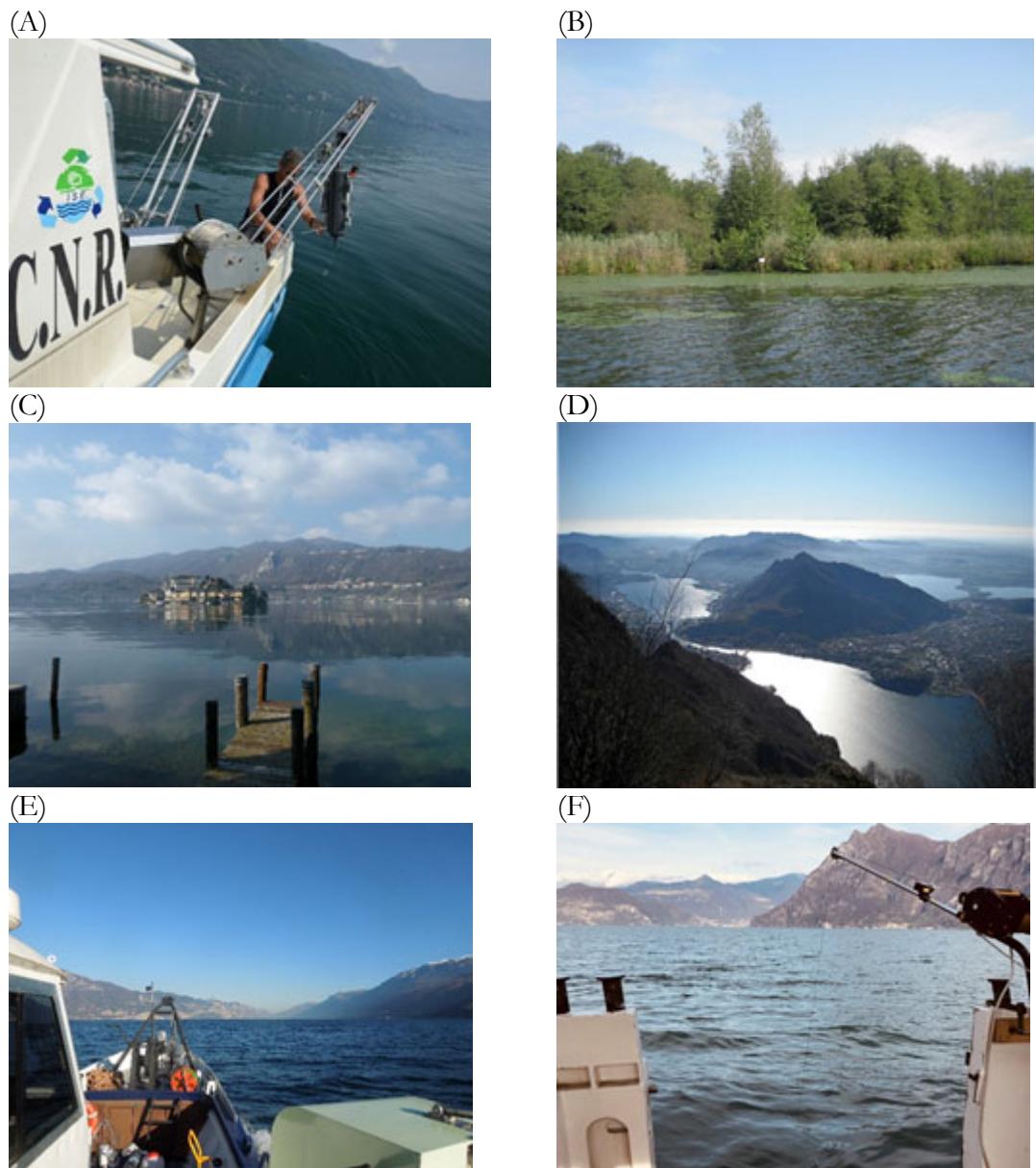


Fig. 1 - Siti di ricerca del macro sito IT08-Laghi Sudalpini. (A) Lago Maggiore, imbarcazione "Livia" utilizzata per i campionamenti; (B) Lago di Candia; (C) Lago d'Orta; (D) Lago di Como; (E) Lago di Garda, in navigazione verso la stazione IT_044, 18 dicembre 2018; (F) campionamento sul Lago d'Iseo

Lago Maggiore

Autori

Michela Rogora, Martina Austoni, Roberto Bertoni, Angela Boggero, Cristiana Callieri, Marzia Ciampittiello, Gianluca Corno, Evelina Crippa, Andrea Di Cesare, Claudia Dresti, Ester Eckert, Diego Fontaneto, Paola Giacomotti, Andrea Lami, Dario Manca, Marina Manca, Aldo Marchetto, Arianna Orrù, Rosario Mosello, Roberta Piscia, Helmi Saidi, Paolo Sala, Gabriele A. Tartari, Pietro Volta

Affiliatione

Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania (VB).

Sigla: IT08-001-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/f30007c4-8a6e-4f11-ab87-569db54638fe>

Responsabile Sito: Michela Rogora

Coordinate geografiche (deims.id):
45,9547 N; 8,634 E

Localizzazione: Italia, regioni Lombardia e Piemonte; Svizzera

Altitudine: 193 m s.l.m.

Area lago: 212 km²

Area bacino imbrifero: 6659 km²

Perimetro: 170 km

Profondità media: 176,5 m

Profondità massima: 370 m

Tempo teorico di ricambio: 4,5 anni

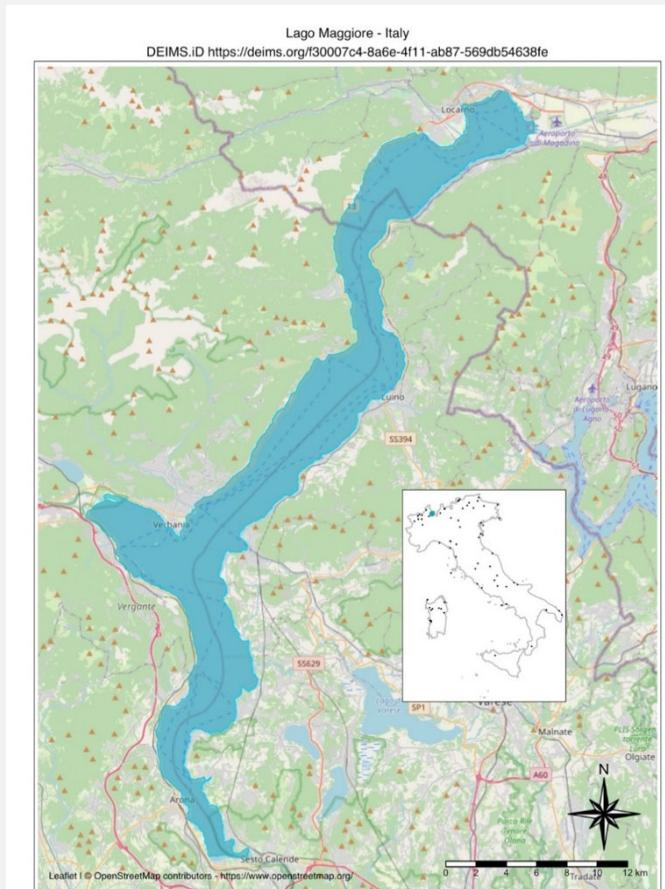
Volume: $37,5 \times 10^9$ m³

Stato trofico: meso-oligotrofo

Status di protezione: ZPS IT2010502 Canneti del Lago Maggiore; SIC – ZPS IT1150004

Canneti di Dormelletto; Riserva naturale speciale di Fondotoce

Tematiche di Ricerca: evoluzione trofica, dinamiche popolamenti planctonici e ittici, catena alimentare microbica, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, specie invasive, micro e macroinquinanti, paleolimnologia, telerilevamento, modellistica



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Maggiore (Figg. 2 e 3) è un lago profondo subalpino, il cui bacino imbrifero è suddiviso equamente tra Italia e Svizzera. La porzione italiana del bacino appartiene alle Province di Varese, Novara e Verbania (Regioni Lombardia e Piemonte). Il Lago Maggiore, oggetto di studi occasionali già dall'inizio



Fig. 2 - Lago Maggiore. Foto: Gabriele Tartari

del secolo scorso, viene studiato sistematicamente dal 1938 con la fondazione a Verbania dell'Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (successivamente denominato CNR Istituto per lo Studio degli Ecosistemi e, dal 2018, CNR Istituto di Ricerca sulle Acque). Dal 1952, sempre a Verbania, entra in funzione una stazione limnografica per la misura di livello e profilo termico e una stazione meteorologica,

entrambe ancora attive. Gli studi sul plancton e sull'idrochimica del Lago Maggiore mettono in evidenza la progressiva eutrofizzazione del lago tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso. Grazie anche all'attività di ricerca dell'Istituto, negli anni '80 vengono messi in atto una serie di interventi per controllare l'eutrofizzazione che portano, nei decenni successivi, alla progressiva diminuzione degli apporti di nutrienti a lago e al raggiungimento dell'attuale condizione di oligo-mesotrofia. Dal 1980 viene inoltre avviato un programma di monitoraggio e ricerca sistematico, promosso dalla CIPAIS (Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere) e tuttora in corso, che ha permesso di raccogliere una serie storica, continua e a frequenza elevata, di dati meteorologici, idrologici, fisici, chimici e biologici (CNR IRSA Sede di Verbania 2016).

La stazione limnologica principale sul Lago Maggiore è quella di Ghiffa, in corrispondenza del punto di massima profondità. Per ricerche specifiche sono però state considerate, per periodi limitati, anche altre stazioni di campionamento, tra cui il bacino di Pallanza. I campionamenti per le indagini limnologiche sono svolti dal CNR IRSA di Verbania con frequenza mensile e a diverse profondità lungo la colonna d'acqua. I dati a lungo termine comprendono dati meteorologici misurati in continuo, idrologia dei tributari, limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago e dei tributari (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno dissolto), clorofilla, carbonio organico, fitoplancton, zooplancton, batterioplancton e pesci. Recentemente, alla raccolta di questi dati sono state affiancate altre indagini, tra cui la determinazione dei geni di antibiotico resistenza (ABR), l'analisi delle particelle esopolimeriche trasparenti (TEP) e l'utilizzo del barcoding molecolare per l'identificazione tassonomica degli organismi fito – e zooplanctonici. Dal 2008 il monitoraggio del popolamento zooplanctonico è stato affiancato da analisi isotopiche per lo studio delle reti trofiche. In collaborazione con il CNR IREA di Milano, vengono svolte ricerche sull'applicazione del telerilevamento da satellite per il monitoraggio della qualità delle acque. Inoltre, nell'ambito delle ricerche sulle sostanze pericolose, sempre promosse dalla CIPAIS, vengono considerati alcuni contaminanti in organismi indicatori (zooplancton, molluschi bivalvi, pesci); queste ricerche sono condotte dal CNR IRSA (Sedi di Brugherio e di Verbania), dall'Università degli Studi dell'Insubria e dall'Università degli Studi di Milano.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano: l'evoluzione dello stato trofico; le dinamiche dei popolamenti planctonici e ittici; la rete alimentare microbica; gli effetti dei cambiamenti climatici, inclusi gli eventi estremi, su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche; la biodiversità; le specie invasive; i micro e macroinquinanti; la paleolimnologia; il telerilevamento da satellite; la modellistica idrodinamica ed ecologica.

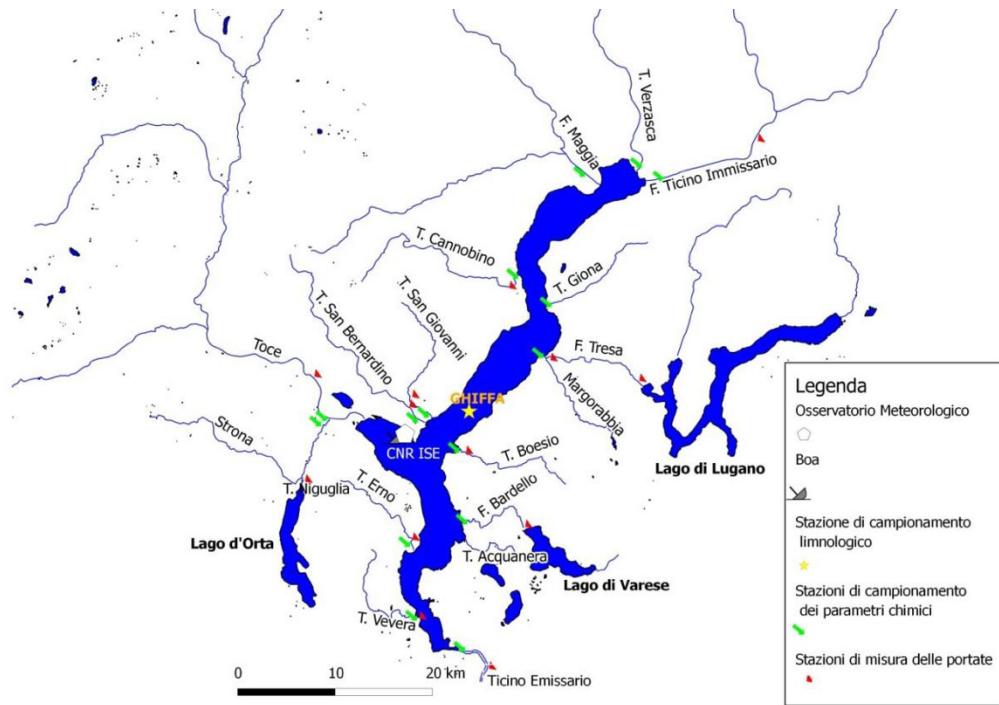


Fig. 3 - Il Lago Maggiore ed i suoi principali tributari, con la localizzazione delle stazioni di campionamento

Risultati

Le analisi delle serie storiche di dati disponibili per il Lago Maggiore e gli studi paleolimnologici (Mosello e Ruggiu 1985; Guilizzoni *et al.* 2012) hanno messo in evidenza il progressivo diminuire, dal 1980 ad oggi, degli apporti di nutrienti dal bacino, in particolare di fosforo, e delle concentrazioni nel lago. Tale diminuzione è stata affiancata da una progressiva riduzione della concentrazione di clorofilla, della biomassa algale e del carbonio organico, avviando il processo di oligotrofizzazione che ha portato il Lago Maggiore all'attuale stato di meso-oligotrofia, cioè alla condizione tipica per questo ambiente (Fig. 4). Gli studi a lungo termine hanno consentito di seguire in grande dettaglio la fase di oligotrofizzazione e i suoi effetti sulle dinamiche di popolazione, sui rapporti tra i livelli trofici e sulla biodiversità (Mosello *et al.* 2010). Lo studio della termica lacustre ha messo in luce l'effetto del riscaldamento globale sul Lago Maggiore, che è andato incontro al progressivo riscaldamento dell'ipolimnio profondo oltre che all'innalzamento della temperatura media degli strati più superficiali (Ambrosetti e Barbanti 1999). Le acque superficiali del Lago Maggiore si sono scaldate negli ultimi due decenni di circa $0,31^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, in linea con i valori osservati negli altri laghi profondi subalpini e con le tendenze a livello globale (O'Reilly *et al.* 2015). Un effetto osservato del riscaldamento climatico è anche l'aumento della stabilità della colonna d'acqua e la diminuzione della frequenza e dell'estensione del rimescolamento verticale, con conseguenze sulla distribuzione dell'ossigeno e dei nutrienti lungo la colonna d'acqua (Rogora *et al.* 2018). I dati a lungo termine hanno inoltre consentito di iniziare a valutare il ruolo di eventi climatici estremi, quali le precipitazioni brevi e intense, sull'apporto di nutrienti o inquinanti a lago (Callieri *et al.* 2014; Morabito *et al.* 2018). In generale, i dati del periodo più recente indicano come i fattori meteo-climatici giochino un ruolo fondamentale nel controllare la dinamica del plancton nel Lago Maggiore; ad esempio temperature più miti e precipitazioni più intense e concentrate in periodi brevi possono favorire la

dominanza di alcune popolazioni fitoplanctoniche quali i cianobatteri e, in certe condizioni, lo sviluppo di fioriture (Morabito *et al.* 2012, 2018). Inoltre, recenti studi basati sull'applicazione di modelli numerici hanno dimostrato come, in assenza di una riduzione nelle emissioni di gas-serra (GHG) in atmosfera e quindi di una mitigazione del riscaldamento climatico previsto, il Lago Maggiore andrà incontro ad una progressiva riduzione nella frequenza ed entità degli eventi di circolazione (Fenocchi *et al.* 2018), con effetti importanti sulla qualità delle acque e sull'ecosistema nel suo complesso.

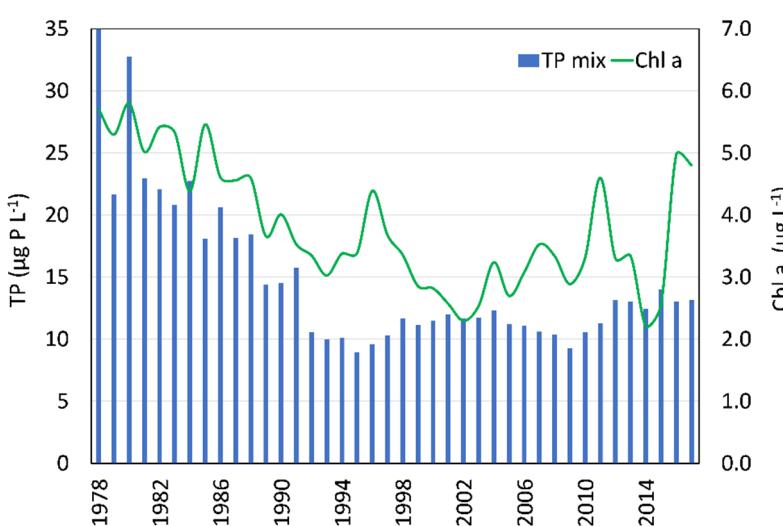


Fig. 4 - Andamento dei valori medi annui di clorofilla nello strato 0-20 m e delle concentrazioni di fosforo totale (TP) alla circolazione tardo invernale (marzo) (media ponderata sulla colonna d'acqua) nel Lago Maggiore dal 1978 al 2017

apparsi anche nuovi contaminanti come i ritardanti di fiamma organobromurati, PBDE, di origine industriale (Poma *et al.* 2014).

Una linea di ricerca avviata nel 2013 e tuttora in corso è quella sulla valutazione dell'antibiotico resistenza nei batteri. Queste indagini, che affrontano un problema di grande interesse per le sue possibili ricadute sulla salute pubblica, hanno permesso di far emergere come, anche nel Lago Maggiore, la resistenza specifica ad antibiotici sintetici sia presente e diffusa nel microbiota (Di Cesare *et al.* 2015; Eckert *et al.* 2018). Sempre nel 2013 si è cominciata a misurare la componente mucillaginosa del carbonio organico (TEP) legata alla presenza di fioriture di cianobatteri o di altri taxa fitoplanctonici e responsabile della presenza occasionale di schiume in tarda estate (Callieri *et al.* 2017). Infine, a partire dal 2017, nell'ambito del progetto SPAM, sono state avviate ricerche sulle specie alloctone invase presenti nel bacino del Lago Maggiore.

Grazie alle lunghe serie di dati limnologici, raccolti con frequenze ampiamente superiori rispetto a quelle previste dai monitoraggi ai sensi di legge (D.L. 260/2010), il Lago Maggiore rappresenta uno degli esempi più significativi di indagini a lungo termine sui bacini lacustri. La continuità delle ricerche ha consentito la partecipazione a numerose iniziative di ricerca a livello nazionale ed internazionale, volte ad analizzare e comprendere le dinamiche degli ecosistemi lacustri in risposta ai cambiamenti globali.

Il Lago Maggiore è sito di ricerca nell'ambito dell'azione COST NETLAKE (Networking Lake Observatories in Europe), sul monitoraggio ad alta frequenza dei laghi, e del network internazionale GLEON (Global Lake Network). Il lago è stato inoltre inserito nel Progetto Strategico di Grande Rilevanza nazionale Italia-Cina sull'implementazione di nuovi sistemi di disinfezione delle acque reflue afferenti al lago, finanziato dal MAECI e dal MATTM. Recentemente sono state avviate delle ricerche sullo sviluppo di sensori per la misura di parametri meteo-idrologici e limnologici ad alta frequenza nell'ambito dei progetti PITAGORA (Piattaforma interoperabile tecnologica per l'acquisizione, la gestione e l'organizzazione dei dati ambientali – POR FESR 2007/2013 della Regione Piemonte) e SAILING (Sensor-based Assessment on In Lake processes and water quality – Scientific INvestigation

Il bacino del Lago Maggiore ha visto una lunga storia di attività industriali, iniziata già nel XIX secolo, che ha portato alla presenza nell'ecosistema di diversi microinquinanti, alcuni dei quali analizzati con continuità a partire dal 2001 (Guzzella *et al.* 2018). In particolare, i PCB hanno ormai raggiunto valori residui molto bassi, mentre il DDT e i suoi metaboliti mostrano una variabilità interannuale legata alle condizioni meteorologiche che possono favorire rilasci da terreni contaminati o da sedimenti fluviali inquinati. Il mercurio presenta ancora valori superiori agli standard di qualità nella fauna ittica indicando la presenza di sorgenti antiche di contaminazione nel lago. Negli anni recenti sono

and Growing environmental awareness). Il progetto BLASCO (Blending Blending LAboratory and Satellite techniques for detecting CyanObacteria), finanziato da Fondazione CARIPLO e condotto in collaborazione con il CNR IREA, ha consentito invece lo sviluppo di ricerche sui cianobatteri e la possibilità di identificarli attraverso tecniche di telerilevamento.

Il Lago Maggiore è sito per il “Transnational Access” nell’ambito del progetto eLTER H2020 (Integrated European Long-Term Ecosystem & Socio-Ecological Research Infrastructure). Il sito Lago Maggiore è quello che ha ottenuto il maggior numero di richieste di Trans-National Access tra i siti europei. Ad oggi si sono svolte due visite di ricercatori presso il sito, su tematiche connesse allo studio degli ecosistemi e della biodiversità.

Attività di formazione e divulgazione

Il Lago Maggiore è stato oggetto di numerose tesi di laurea e dottorato, svolte in collaborazione con Università italiane e straniere. Numerose sono inoltre le attività di formazione, aventi come oggetto il Lago Maggiore e le ricerche che lo riguardano, che vengono svolte sul territorio sotto forma di seminari, incontri presso scuole di diverso ordine e grado, visite di studenti di scuole e Università presso il CNR IRSA di Verbania.

Il Lago Maggiore è stato sito di arrivo del Cammino LTER Italia “Rosa...azzurro...verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa al Lago Maggiore”, svoltosi nell’agosto 2015.

Prospettive future

Nel complesso i risultati ottenuti dall’analisi dei dati a lungo termine sul Lago Maggiore indicano come lo stato ecologico attuale del lago sia il risultato di un delicato equilibrio tra il controllo imposto dai fattori meteoclimatici e quello legato alla pressione antropica che ancora grava sull’ecosistema. Le ricerche previste nel prossimo futuro si focalizzeranno sull’interazione tra diversi fattori di perturbazione quali: l’apporto di nutrienti dal bacino, in particolare sotto forma di carichi diffusi; i cambiamenti d’uso del suolo; le alterazioni idro-morfologiche; l’introduzione di specie aliene ed i cambiamenti climatici, intesi sia come variazioni nel lungo periodo che come eventi a breve termine (es. siccità, precipitazioni intense). L’introduzione di sostanze o organismi capaci di alterare la rete trofica e compromettere la qualità delle acque lacustri rappresenta un ulteriore fattore di pressione verso cui indirizzare gli sforzi di ricerca e gestione nell’immediato futuro. Infine è necessario ottimizzare gli sforzi di campionamento ed analisi, integrando dove possibile le modalità di monitoraggio tradizionali con tecniche innovative, quali il metabarcoding per l’identificazione degli organismi e il ricorso a sensori montati su boe o piattaforme per il monitoraggio ad alta frequenza di parametri meteo-idrologici e limnologici. Le ricerche più recenti avviate sul Lago Maggiore si focalizzano proprio su questi aspetti. Nelle campagne limnologiche dei prossimi anni si prevede infatti di svolgere approfondimenti sull’utilizzo del DNA barcoding per testare la possibilità di associarlo alle analisi tassonomiche degli organismi, facilitando la valutazione dell’evoluzione dei popolamenti planctonici nel lago. Anche nell’ambito delle ricerche finanziate dalla CIPAIS sugli ambienti litorali, nei prossimi anni si prevede di ampliare le conoscenze sulla diversità biologica all’interno di alcune aree protette nel bacino del Lago Maggiore e alla foce dei principali tributari attraverso analisi di tassonomia morfologica e molecolare condotti in parallelo.

Le ricerche sulla distribuzione dei geni di antibiotico resistenza amplifieranno lo spettro di analisi con l’individuazione di ulteriori geni di resistenza. Proseguendo gli studi modellistici, si prevede di simulare l’evoluzione delle dinamiche di mescolamento, ossigeno e nutrienti a lago in diversi scenari climatici combinati con scenari di apporti di nutrienti dal bacino, con l’obiettivo di fornire uno strumento previsionale e di supporto alle decisioni.

Un’importante criticità per il lago è rappresentata dalla gestione dei livelli dell’acqua e dalle ripercussioni che le loro oscillazioni possono avere sull’ecosistema. Per questo motivo, recentemente è stato istituito un tavolo tecnico per la verifica delle attività di sperimentazione di una nuova regolazione primaverile-estiva dei livelli del lago. Lo scopo è valutare possibili criticità che potrebbero emergere, quali

un maggiore rischio di esondazione nel periodo primaverile-estivo e i possibili impatti sulle biocenosi. Nei prossimi anni, il progetto INTERREG IT-CH “PARCHI VERBANO TICINO” andrà a valutare gli effetti della variazione dei livelli sul sistema lago, utilizzando alcune componenti faunistiche bioindicatrici di qualità dell’ecosistema (macro-meiofauna bentonica e bivalvi).

Nell’ambito del progetto INTERREG IT-CH “SIMILE”, di recente attivazione, sono previsti lo sviluppo e l’installazione su lago di boe per il monitoraggio ad alta frequenza di alcuni parametri selezionati (temperatura, pH, conducibilità, ossigeno dissolto, clorofilla), allo scopo di creare un sistema di monitoraggio integrato che coinvolga anche i dati satellitari. Infine, nell’ambito del progetto INTERREG IT-CH “SHARESALMO” è prevista l’istituzione di una rete di sensori acustici per il rilevamento dei pattern di migrazione dei salmonidi autoctoni, sia nel lago che verso i tributari anche in relazioni ai parametri meteo-climatici.

Abstract

Lake Maggiore is a deep subalpine lake (surface area 212 km², max depth 370 m, volume 37 km³) located in North-Western Italy (Piedmont and Lombardy regions, Italy; Canton Ticino, Switzerland). The lake catchment (6600 km²) is shared almost equally between Italy and Switzerland. Regular studies on Lake Maggiore have been established in 1938 with the foundation of the Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi in Verbania (later on CNR Institute of Ecosystem Study of the National Research Council of Italy – CNR ISE, and, since 2018, Water Research Institute – CNR IRS). Since 1952, meteo-hydrological data are regularly collected by a station in Verbania. Lake Maggiore underwent eutrophication between the 1950s and 1970s. Since the 1980s, thanks to a restoration program aiming to reduce catchment loads, a process of oligotrophication started and the lake progressively reached the present status of oligo-mesotrophy. In the 1980s, a long-term monitoring program, still on going, was established, funded by the International Commission for the Protection of Waters between Italy and Switzerland (CIPAIS). Thank to this program, long-term series of limnological data (meteorological, hydrological, physical, chemical and biological data) have been collected. The main research topics considered at this site are the evolution of the trophic status, the dynamic of plankton and fish population, the microbial loop, the effects of climate change, including extreme events, on hydrology, thermal structure, water chemistry and biological communities, biodiversity, invasive species, micro and macro pollutants, paleolimnology, satellite data, hydrodynamic and ecological modelling.

Ringraziamenti

Le ricerche nel sito Lago Maggiore (LTER_EU_IT_045) sono in parte finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere (CIPAIS). Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico del CNR IRS che partecipa alle campagne limnologiche e tutti gli studenti di laurea e dottorato, collaboratori post-doc, ricercatori e tecnici che hanno preso parte nel tempo agli studi sul Lago Maggiore contribuendo con il loro lavoro alla continuità delle ricerche.

I rapporti CIPAIS sul Lago Maggiore sono disponibili al seguente link:

<http://www.cipais.org/html/lago-maggiore-pubblicazioni.asp>

Lago di Candia

Autori

Marzia Ciampittiello¹, Alessandro Oggioni², Nicoletta Riccardi¹

Affiliatione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922, Verbania, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano.

Sigla: IT08-002-A.

Responsabile sito: Marzia Ciampittiello.

DEIMS.ID: <https://deims.org/c7fe4203-24b1-4d11-a573-99b99204fede>

Coordinate geografiche (deims.id):

45,325 N; 7.915 E

Localizzazione: Regione Piemonte

Altitudine: 226 m s.l.m.

Area lago: 1,5 km²

Area bacino imbrifero: 8,9 km²

Perimetro: 5,5 km

Profondità media: 4,7 m

Profondità massima: 7,7

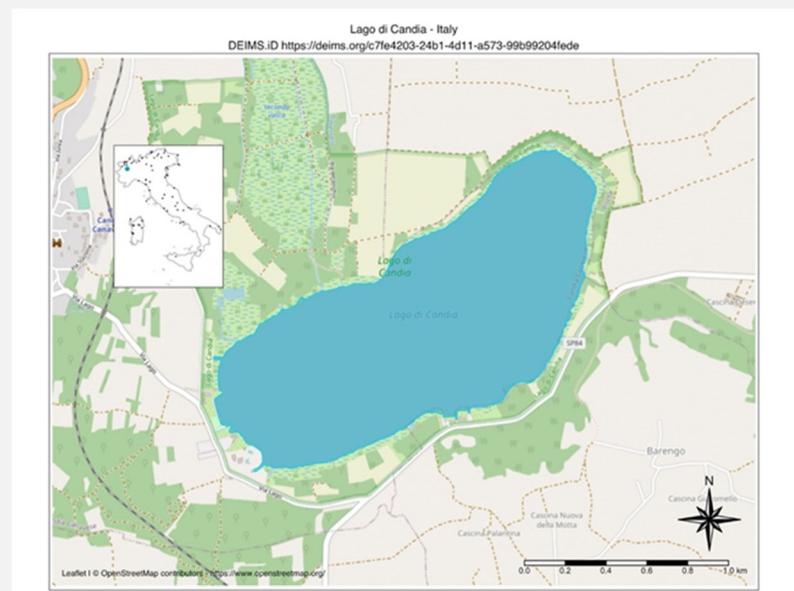
Volume: 7×106 m³

Tempo teorico di ricambio: 8 anni

Stato trofico: mesotrofo

Status di protezione: ZPS-SIC Lago di Candia – codice IT1110036

Tematiche di ricerca: Evoluzione trofica, variazioni funzionali nelle comunità fito e zooplanctoniche, effetti delle variazioni climatiche



Descrizione del sito e sue finalità

Il Lago di Candia (Fig. 5 e 6) è situato nel Comune di Candia Canavese, nella Provincia di Torino. Il bacino del Lago di Candia si trova inserito nell'ampio anfiteatro morenico di Ivrea e fa parte del bacino idrografico della Dora Baltea; è costituito prevalentemente da campi coltivati delimitati a sud da una serie di colline, mentre a nord nord-est il bacino si chiude a ridosso del lago. Il lago ha una quota media di 226 m s.l.m e un volume di 0,007 km³.



Fig. 5 - Lago di Candia. Foto: archivio CNR IRS&

L'orientamento geografico del lago, Nord-Est, Sud-Ovest lo porta ad avere una forma piuttosto allungata, sottolineata dall'indice di forma o di Gravelius pari a 1.46.

Il Lago di Candia ha subito, nel corso della sua evoluzione, un naturale aumento del suo stato trofico andando incontro a un processo di eutrofizzazione culminato con un deciso peggioramento della sua qualità ecologica a partire dagli anni '60 del secolo scorso (Lami *et al.* 2000). Tra la fine degli anni '70 e la metà degli anni '80, l'ecosistema fu interessato da morie ittiche e dall'enorme sviluppo di macrofite acquatiche emerse e sommerse. Lo studio scientifico sistematico del Lago di Candia è iniziato nel 1985, quando il CNR di Verbania fu chiamato a realizzare uno studio limnologico dell'ambiente, con lo scopo di proporre un possibile intervento di risanamento. Tale intervento, oltre al controllo delle fonti inquinanti dal bacino, prevedeva l'applicazione di ecotecnologie finalizzate a ridurre gli effetti dell'eutrofizzazione. Le attività che sono state sviluppate si possono sintetizzare in:

- a) riduzione numerica delle popolazioni ittiche sovrabbondanti, per indurre un aumento della densità zooplanktonica così da diminuire la densità algale ed aumentare la trasparenza delle acque (biomanipolazione);
- b) gestione della zona umida confinante con il bacino lacustre, così da ripristinare ed incrementare le aree riproduttive delle specie ittiche, in particolare i predatori ittiofagi (luccio e persico

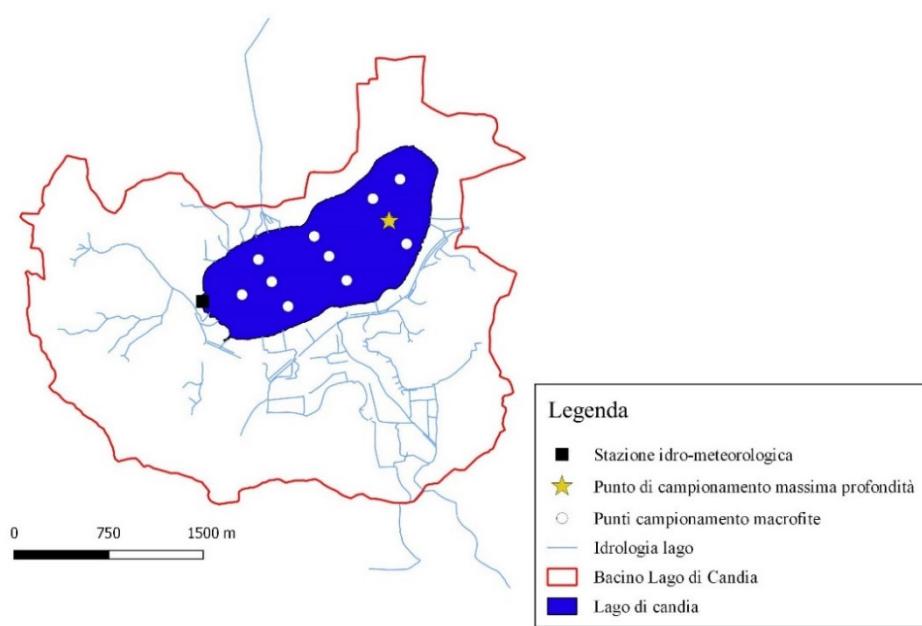


Fig. 6 - Il Lago di Candia e la sua rete idrografica, con la localizzazione delle stazioni di campionamento e della centralina idro-meteorologica

to della densità zooplanktonica così da diminuire la densità algale ed aumentare la trasparenza delle acque (biomanipolazione); b) gestione della zona umida confinante con il bacino lacustre, così da ripristinare ed incrementare le aree riproduttive delle specie ittiche, in particolare i predatori ittiofagi (luccio e persico

trota); c) raccolta ed asportazione dal bacino di parte delle macrofite acquatiche, per ridurre il carico interno di nutrienti.

La sperimentazione condotta nel Lago di Candia ha dimostrato come sia possibile ottenere apprezzabili miglioramenti della trofia attraverso una gestione mirata di alcune componenti chiave della biocenosi lacustre. Grazie a convenzioni stipulate prima con la Regione Piemonte e il Comune di Candia Canavese, e successivamente con il Parco Naturale di Interesse Provinciale del Lago di Candia, fin dalla fine degli anni '80 è stato possibile approfondire gli studi sugli aspetti limnologici, in particolare sui principali parametri chimici, sui nutrienti, sullo zooplancton, sulla fauna ittica e sulle macrofite.

Attraverso il progetto MICARI (Strumenti e procedure per il Miglioramento della CApacità Ricettiva di corpi Idrici superficiali) durante gli anni 2002-2004, si è potuto iniziare a valutare gli aspetti idrologici e idrogeologici con una prima valutazione del bilancio idrologico del lago. La conseguente valutazione del carico di nutrienti proveniente dal bacino ha messo in luce come fosse di primaria importanza agire sulle fonti diffuse di nutrienti (fosforo e azoto) per ridurre il problema dell'eutrofizzazione.

Negli anni 2003-2005 è stata sviluppata un'ulteriore attività di ricerca, volta a ridurre i carichi di nutrienti veicolati al lago dal territorio agricolo circostante. In collaborazione con il Parco Naturale Provinciale del Lago di Candia è stato avviato il progetto LIFE TRELAGHI (Interventi di riduzione dell'eutrofizzazione di 3 piccoli laghi italiani), per favorire la riduzione dei fenomeni di eutrofizzazione emergenti nelle acque lacustri. Allo scopo sono stati utilizzati fertilizzanti naturali, micorrize (organismi simbiotici funghi-batteri fissati sull'apparato radicale delle piante) in una porzione agricola del bacino del lago, nonché proprietà di assorbimento chimico-fisico di alcuni minerali (rocce zeolitiche).

Un ulteriore intervento mirante ricollegare il lago di Candia con la palude presente in prossimità dell'emissario, è stato quello di ripristinarne l'allagamento attraverso una serie di chiuse e canali. Lo scopo di questo intervento deve essere ricercato nell'idea di ricostituire una nursery per le diverse specie ittiche presenti, così che esse possano, in modo naturale, ripristinare i loro cicli vitali.

Nel 2002-2005 e nel 2013 sono stati effettuati campionamenti di bivalvi Unionidi per lo studio della composizione e abbondanza delle popolazioni.

Nel 2008 è stata condotta una campagna di misure sulla produzione primaria del fitoplancton attraverso la valutazione di un ciclo giorno-notte.

Dopo l'allagamento della palude e la conseguente riconnessione idrologica dei due ambienti, avvenuta tra il 2008 e il 2009, si è registrato un cambio nelle caratteristiche idrologiche del lago, con conseguenti maggiori probabilità di allagamento in occasione anche di piogge non particolarmente elevate. Alla luce dei recenti cambiamenti climatici in atto, si è inoltre notato come vi sia una relazione tra la comparsa di fioriture algali e il verificarsi di piogge intense. L'ultima campagna di indagini limnologiche è stata svolta nel 2011. Nel 2010-2011 il lago è stato infatti monitorato per gli elementi di qualità biotica previsti dal D.L. 260/2010, e per quelli idro-morfologici, nell'ambito del Progetto LIFE+INHABIT (08/ENV/IT/000413), rivolto ad una valutazione dell'affidabilità dei protocolli di campionamento e degli indici biotici adottati in ambito nazionale.

Dal 2006 al 2012 è stata condotta una mappatura di dettaglio delle macrofite presenti nel lago allo scopo anche di valutare gli effetti delle attività di sfalcio eseguite in quegli anni.

Tra il 2015 e il 2016 è stato possibile approfondire la conoscenza sulla fauna ittica presente nel lago e aggiornare il bilancio idrologico, sottolineando ancora una volta l'importanza degli aspetti idrogeologici, poco noti, sugli aspetti idrologici fisici e anche biologici del lago (Ciampittiello *et al.* 2017).

Il Lago di Candia rientra in una zona di protezione ZPS-SIC con codice IT1110036 ed è quindi inserito nella rete di monitoraggio di ARPA Piemonte per la valutazione di qualità dei corpi idrici ai sensi del D.L. n. 260/2010.

In sintesi, si può dire che le attività di ricerca sul Lago di Candia sono relative ad analisi a lungo termine delle variazioni della diversità funzionale in comunità fito – e zooplanktoniche, con una valutazione più recente della risposta dell'ecosistema lacustre ad eventi meteorici brevi ed intensi, in relazione all'incremento dell'apporto di nutrienti tramite ruscellamento superficiale.

Dal 1985, data di inizio delle attività di ricerca sul Lago di Candia da parte del CNR di Verbania, sono state acquisiti diverse tipologie di dati, con frequenza e finalità differenti.

Dal 1986 al 2012 sono stati raccolti dati di idrochimica, fitoplancton, zooplancton, fauna ittica, macrofite, nonché di limnologia fisica.

Dal 1987 ad oggi sono stati raccolti dati meteo-idiologici attraverso una stazione meteorologica posizionata sulla riva del lago, con misure in continuo dei seguenti parametri: precipitazioni, temperatura dell'aria, vento, radiazione solare, livelli del lago.

Dal 2010 al 2012 sono stati effettuati campionamenti di macrofite seguendo la metodologia di campionamento per l'elemento di qualità "macrofite" indicato per la direttiva WFD (Water Framework Directive 2000/60/EC) rilevando abbondanza delle diverse specie a 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 m di profondità (DL n° 260 – 8 novembre 2010).

I parametri chimici analizzati comprendono: pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti algali (composti di fosforo e azoto, silicati), ossigeno dissolto, carbonio organico particellato e totale.

Le comunità biotiche principali considerate sono: batterioplancton, fitoplancton, zooplancton, bentos, macrofite, pesci.

Per quanto riguarda fitoplancton, zooplancton e bivalvi Unionidi sono stati valutati abbondanza e composizione. Sono stati inoltre analizzati clorofilla e pigmenti fotosintetici specifici.

I parametri di limnologia fisica misurati sono stati: trasparenza, livello del lago, profilo di temperatura, trasparenza con il disco di Secchi.

I dati raccolti sono stati archiviati in un database proprietario (non open source); il metadatabase è consultabile al link: http://www.ise.cnr.it/lter/candia/Candia_DB.htm.

Ulteriori parametri e dati sono stati raccolti durante le diverse attività di ricerca sviluppate sul lago, in particolare durante il progetto INHABIT (*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes*), che ha visto la raccolta e l'analisi di parametri idromorfologici ottenuti con l'applicazione del metodo LHS (*Lake Habitat Survey*) (es. artificialità delle sponde, vegetazione spondale e litorale, caratteristiche fisiche delle sponde e della zona litorale, etc.). L'elaborazione dei dati idro-morfologici ha permesso di determinare due indici specifici, l'indice di qualità LHQA (*Lake Habitat Quality Assessment*) e l'indice di alterazione morfologica LHMS (*Lake Habitat Modification Score*), che, rapportati a quelli trovati in altri laghi italiani, hanno dato informazioni importanti sulla qualità degli habitat e la qualità morfologica del lago di Candia.

Enti coinvolti nelle attività di ricerca

Fin dalle prime attività di ricerca svolte si sono stretti rapporti continuativi con il Comune di Candia Canavese e la Regione Piemonte, e poi con la Provincia di Torino e il Parco Naturale di Interesse Provinciale del Lago di Candia. L'Ente Parco ha allestito, all'interno della sua sede localizzata sulla riva del lago, un laboratorio didattico dove è possibile effettuare analisi limnologiche di base (filtrazioni, titolazioni manuali, semplici misure spettrometriche). L'accesso alle strutture disponibili (imbarcazioni e sistemi di campionamento) è possibile previo accordo con la Direzione dell'Istituto e con l'Amministrazione Provinciale che gestisce l'Ente Parco. Questo laboratorio nel tempo è stato sede di visite e attività didattiche per scuole di diverso ordine e grado. Con la nascita della Città Metropolitana di Torino, i contatti relativi alle attività sul Lago Candia sono continuati con questa nuova realtà.

Il CNR IRSA sede di Verbania collabora stabilmente con ARPA Piemonte per il programma di monitoraggio e la valutazione di qualità del Lago di Candia con indici biotici, secondo normativa.

Risultati

I meccanismi di controllo top-down (riduzione dei pesci zooplanctivori) e bottom-up (riduzione della disponibilità di nutrienti per le alghe) hanno operato sinergicamente in maniera efficace determinando una riduzione della biomassa fitoplanctonica di circa il 50% (Giussani *et al.* 1990). Dopo il 1991

l'ecosistema lacustre ha assunto un nuovo assetto passando dallo stato di eutrofia a quello di mesotrofia. La continuità nella gestione della biocenosi a macrofite ha permesso di mitigare anche le spinte eutrofizzanti derivanti dagli apporti esterni di nutrienti (Galanti *et al.* 1990; Galanti *et al.* 1991).

Si deve tuttavia osservare che le relazioni causa-effetto cui si accenna sono relative ai compatti interni all'ecosistema lago e, al momento, non tengono conto di possibili effetti derivanti da fattori esterni quali variazioni meteo-climatiche, idrologiche e dalle attività umane a livello di bacino che possono incidere, in maniera diretta o indiretta, sulla quantità di nutrienti in ingresso al lago.

Di particolare importanza ai fini di una gestione del suolo agricolo rivolta alla salvaguardia del lago è il fatto che il carico di fosforo provenga in parte dalle acque che si infiltrano nel sottosuolo all'interno del bacino imbrifero del lago ed in parte dalle acque di falda che provengono dall'esterno del bacino. Per raggiungere e mantenere uno stato di mesotrofia sarebbe necessario intervenire in maniera più incisiva e mirata tanto all'interno quanto all'esterno del bacino imbrifero, soprattutto nella parte occidentale dalla quale proviene l'alimentazione sotterranea del lago (Giussani *et al.* 2004). Potrebbe essere utile estendere la micorizzazione a tutto il suolo coltivato nel bacino idrografico, comprendendo oltre che ai seminativi anche i frutteti e i pioppi e quei terreni con una pendenza media maggiore, maggiormente esposti al dilavamento e all'erosione (Galanti *et al.* 2004).

Inoltre, la variabilità interannuale dei valori dei parametri indicatori della qualità delle acque, messa in luce da recenti analisi della serie storica, appare legata, in questo bacino, alle fluttuazioni stagionali ed annuali del regime pluviometrico, essendo gli apporti di nutrienti dal bacino legati all'immissione attraverso la falda ed al dilavamento delle aree coltivate circostanti.

Il miglioramento della qualità ambientale del Lago di Candia non può quindi non prescindere da un incisivo cambiamento dell'uso del suolo agricolo che sia rivolto ad una drastica riduzione dei fertilizzanti, soprattutto alla luce dei cambiamenti climatici in atto (Ciampittiello *et al.* 2017).

Prospettive future

In considerazione del fatto che studi sistematici completi sulla parte biologica, chimica e fisica non sono stati più svolti dal 2011, risulta di primaria importanza cercare nuove fonti di finanziamento, progetti e azioni per riprendere gli studi interrotti. Tale necessità nasce sia dalle nuove problematiche emergenti (es. fioriture algali) sia dai cambiamenti climatici che pongono questo ambiente ancora di più in una condizione di vulnerabilità rispetto ai problemi di eutrofizzazione. Il Lago di Candia si presta infatti ad uno studio a lungo termine volto a valutare gli effetti della variabilità meteo-climatica sullo stato trofico, sulle comunità planctoniche e sui molluschi bivalvi, e a valutare eventuali interventi di biomanipolazione in lago e sperimentazione sul bacino imbrifero. Rappresenta un laboratorio naturale a cielo aperto dove gli effetti possono essere seguiti nel tempo e valutati in modo approfondito.

Abstract

Lake Candia is part of the Dora Baltea River drainage basin. It is an inter-morainic lake, with a shoreline length of 5.5 km, a maximum depth of 7.7 m and an average depth of 4.7 m. First information on lake's chemistry dates back to mid seventies, when CNR-IRSA classified the lake as mesotrophic (total phosphorus concentration ranged between 21 and 60 $\mu\text{g l}^{-1}$). The lake eutrophication was caused by the internal loading as well as by the input of nutrients with the runoff processes.

Since 1985, the lake was studied intensively and continuously by CNR-ISE, which collected data on water physics, chemistry and biology. A recovery intervention, based on trophic chain biomanipulation and management of aquatic vegetation, started in 1986, aimed at reducing the algal biomass. The first step was the reduction of planktivorous fishes, in order to decrease their predation impact on zooplankton, giving, as a consequence, an higher predation pressure on phytoplankton (top-down control); the second step was the harvesting of aquatic macrophytes, in order to reduce the amount of nutrients available for phytoplankton growth after the decomposition of aquatic vegetation (bottom-up control). This intervention demonstrated that it is possible to improve the trophic status of a lake through

a scientific management of some key components of the lacustrine food-web: between 1985 and 1992 the phytoplankton biomass underwent a 50% decrease and the TP concentration reached about $30 \mu\text{g l}^{-1}$ as annual average. The most recent analysis of the long-term data set shows an interannual variability of the parameters, indicating the water quality: this seems to be related with the fluctuations of the rainfall regime, which, on its turn, affects the supply of nutrients to the lake, because most of the phosphorus input comes from the runoff of the cultivated areas and from groundwater sources. Therefore, Lake Candia seems a proper lacustrine environment for investigating the effects of the meteo-climatic variability on the planktonic assemblages.

Ringraziamenti

Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico, gli studenti e i collaboratori che hanno partecipato alle attività nel sito e che con il loro lavoro hanno contribuito alla continuità delle ricerche.

Lago d'Orta

Autori

Roberta Piscia, Monica Beltrami, Igor Cerutti, Marzia Ciampittiello, Claudio Foglini, Diego Fontaneto, Silvia Galafassi, Paola Giacomotti, Piero Guilizzoni, Mattia Iaia, Andrea Lami, Dario Manca, Marina Manca, Nicoletta Riccardi, Arianna Orrù, Michela Rogora, Paolo Sala, Gabriele A. Tartari, Pietro Volta, Silvia Zaupa

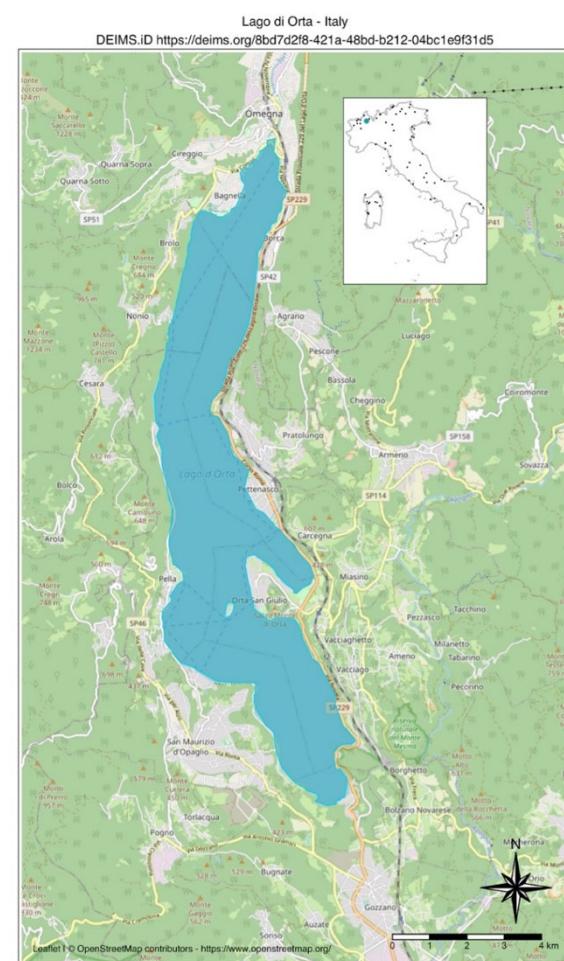
Affiliazione

Istituto di Ricerca sulle Acque del Consiglio Nazionale delle Ricerche (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Pallanza (VB)

Sigla: IT08-003-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/8bd7d2f8-421a-48bd-b212-04bc1e9f31d5>

Responsabile sito: Roberta Piscia



Coordinate geografiche (deims.id): 45,818 N; 8,400 E

Localizzazione: Regione Piemonte

Altitudine: 290 m s.l.m.

Area lago: 18 km²

Area bacino imbrifero: 116 km²

Perimetro: 33,5 km

Profondità media e massima: 70,9 m, 143 m
Volume: $1,3 \times 10^9$ m³

Tempo teorico di ricambio idrico: 10,7 anni

Stato trofico: oligotrofo

Tematiche di ricerca: Evoluzione della qualità delle acque del lago, dinamiche dei popolamenti planctonici, bentonici e ittici, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, paleolimnologia, monitoraggio ad alta frequenza

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 7 - Lago d'Orta. Foto, Walter Zerla

Il Lago d'Orta (Figg. 7 e 8) è l'unico grande lago prealpino interamente piemontese e fa parte delle provincie di Verbania (sponda orientale) e di Novara (sponda occidentale). Ha una forma stretta ed allungata in direzione nord-sud e il suo bacino imbrifero (116 km^2) appartiene a quello del vicino Lago Maggiore. È il settimo lago italiano per profondità (143 m) e per volume ($1286 \times 10^6 \text{ m}^3$). Peculiarità di questo lago è quella di avere un deflusso inverso in quanto l'effluente (Nigoglia) è posto a nord. Il Lago d'Orta è stato oggetto di studio sin dalla seconda metà dell'800 (Pavesi 1884), ma le prime indagini sistematiche risalgono agli anni '30 del secolo scorso. Originariamente oligotrofo e ricco di pesci, il Lago d'Orta è stato oggetto di un pesante inquinamento di origine industriale a partire dal 1926. In breve tempo gli effetti tossici delle ingenti quantità di solfato di rame e di ammonio scaricate in lago furono evidenti, tanto che già nel 1930 il lago veniva definito "sterile" (Monti 1930). Dagli anni '60 l'ossidazione biochimica dell'ammonio nel lago provocò l'acidificazione delle sue acque. A partire dagli anni '80 vennero ridotti drasticamente i carichi di inquinanti nel lago grazie all'introduzione di impianti di depurazione, ma solo all'inizio degli anni '90 si osservò il completo recupero chimico a seguito dell'intervento di *liming* ad opera del CNR-Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (1989-1990). Come ci si poteva aspettare, il recupero della componente biologica non è stato altrettanto rapido, ma oggi, dopo trent'anni, è possibile affermare che lo stato ecologico del Lago d'Orta è enormemente migliorato e del tutto simile alle condizioni originarie anteriori all'inquinamento (Calderoni & Tartari 2001).

La stazione limnologica usuale sul Lago d'Orta è quella di Qualba in corrispondenza della zona di massima profondità. I campionamenti per le indagini limnologiche sono stati svolti con frequenza variabile (prevalentemente mensili dagli anni '70 al 2000, stagionali negli anni successivi) dal CNR IRSA

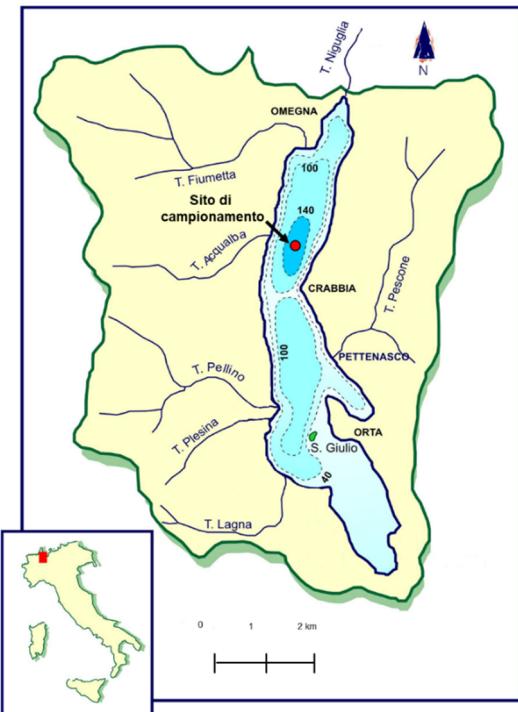


Fig. 8 - Mappa del Lago d'Orta nella quale è indicato il sito di campionamento

di Verbania considerando diverse profondità lungo la colonna d'acqua. Le serie di dati a lungo termine comprendono dati meteorologici misurati in continuo, idrologia dei tributari, limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago e dei tributari (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno dissolto), clorofilla, fitoplancton, zooplancton.

La comunità ittica è monitorata ai sensi della Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE) e recentemente è stata oggetto di interventi di conservazione e/o ripopolamento, all'interno di due progetti specifici: IT'TIORTA, finanziato dal Demanio Lacuale, e Dal Mare All'Orta, finanziato da Fondazione Cariplo. Il primo è focalizzato sul lago, il secondo sull'emissario Strona, proponendosi di ripristinare la connessione ecologica con il Fiume Toce e il Lago Maggiore mediante interventi di deframmentazione delle briglie presenti lungo il suo corso.

Il rinvenimento casuale nel 2015 di una popolazione di molluschi bivalvi nativi, che aveva spontaneamente ricolonizzato una piccola area del litorale del lago, ha stimolato ricerche per la verifica della provenienza degli individui fondatori e della data di insediamento. La popolazione rinvenuta è monitorata ed è oggetto di ricerche ecotossicologiche e sclerocronologiche.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano l'evoluzione della qualità delle acque del lago, con particolare riferimento all'acidificazione, all'inquinamento da metalli pesanti e successivo recupero, alle dinamiche dei popolamenti planctonici, bentonici e ittici, agli effetti dei cambiamenti climatici, alla biodiversità, alla paleolimnologia e al monitoraggio ad alta frequenza.

Risultati

L'analisi delle serie storiche ben testimonia il percorso evolutivo a cui il Lago d'Orta è andato incontro a seguito dell'inquinamento di origine industriale (Manca & Comoli 1995; Guilizzoni *et al.* 2001; Piscia *et al.* 2012; Piscia *et al.* 2016a, 2016b; Vignati *et al.* 2016). A partire dall'inizio degli anni '50 del secolo scorso, infatti, le analisi idrochimiche hanno evidenziato un aumento dell'azoto nitrico e degli ioni rame e dai primi anni '60 un accumulo di azoto ammoniacale e la diminuzione dei valori di pH (Picotti 1957; Corbella *et al.* 1958; Vollenweider 1963; Mosello *et al.* 1989; Calderoni *et al.* 1992; Calderoni & Tartari 2001).

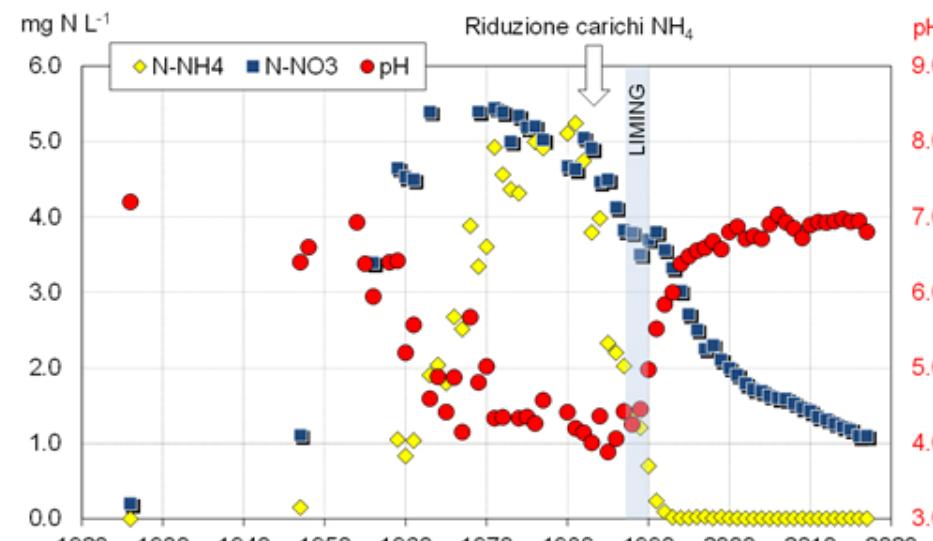


Fig. 9 - Andamento dei valori di pH, ammonio (N-NH₄) e nitrati (N-NO₃) nelle acque del Lago d'Orta nelle diverse fasi dell'inquinamento e del recupero

Contemporaneamente le indagini sulle componenti planctoniche evidenziavano l'esistenza di una comunità biologica scarsamente strutturata, dominata da poche specie (Vollenweider 1963; Bonacina 1970; Barbanti *et al.* 1972; Bonacina & Bonomi 1984). Grazie all'interruzione degli scarichi industriali a partire dal 1986 è stata registrata una diminuzione della concentrazione di ammonio nella colonna d'acqua, tuttavia il pH era ancora molto acido e la riserva alcalina era assente (Bonacina *et al.* 1986; Mosello *et al.* 1986a, 1986b; Bonacina *et al.* 1988a, 1988b). Solo dopo l'immissione in lago di 10900 t di carbonato di calcio (intervento di *liming*, maggio 1989 – giugno 1990) sono stati rilevati valori di pH intorno alla neutralità e contemporaneamente l'abbattimento delle concentrazioni dei metalli pesanti nella colonna

d'acqua. Tale intervento ha anche consentito il ripristino della riserva alcalina nei 10 anni successivi (Fig. 9; Bonacina *et al.* 1988b; Calderoni *et al.* 1990; Mosello *et al.* 1991; Calderoni & Tartari 2001).

Il recupero chimico del lago ha consentito il graduale ripopolamento della colonna d'acqua da parte degli organismi fitoplanctonici e zooplanktonici e l'instaurarsi nei 25 anni successivi al *liming* di comunità strutturate e stabili (Bonacina & Pasteris 2001; Morabito *et al.* 2001, Morabito *et al.* 2016; Cattaneo *et al.* 2011; Baudo *et al.* 2001; Piscia *et al.* 2016b; Riccardi *et al.* 2016; Volta *et al.* 2016). Una certa criticità è stata comunque riscontrata dalle analisi di carote di sedimento nei riguardi di alcuni elementi in traccia (es. Hg, Cu) (Baudo & Beltrami 2001; Vignati *et al.* 2016).

L'abbattimento dei metalli dalla colonna d'acqua ai sedimenti ha ulteriormente aumentato la tossicità dei sedimenti, ostacolando la ricolonizzazione e la ricostituzione di una comunità bentonica. Poiché gli organismi bentonici sono difficilmente proponibili per ottenere finanziamenti per il monitoraggio o per il ripopolamento, non esistono dati per una valutazione né di lungo termine, né attuale delle condizioni chimiche e biotiche del comparto bentonico. Il rinvenimento nel 2014 di una popolazione di bivalvi (*Unio elongatulus*) in un'area ristretta in corrispondenza dell'insediamento produttivo che per primo ha determinato l'inquinamento, è stato ampiamente divulgato (conferenze, convegni, scuole, Club di servizio, Associazioni Ambientaliste, etc.) per attirare l'attenzione sul problema, assolutamente trascurato, delle condizioni dei sedimenti. Poiché sono pochi i casi documentati di ricolonizzazione spontanea di bivalvi in ambienti non connessi con popolazioni potenzialmente donatrici, e, nel caso particolare, in sedimenti lacustri ad elevate concentrazioni di metalli tossici, la divulgazione ha ricevuto ampia eco sia sulla stampa locale che nazionale. Inoltre, un gruppo di volontari del FAI e l'Ecomuseo del Lago d'Orta hanno fortemente amplificato gli effetti della divulgazione sia tramite l'inserimento di voci in Wikipedia (a cura dei gruppi wikipediani italiano e svizzero), che tramite la candidatura del progetto di *bioremediation* dei sedimenti (RIS-ORTA) nel concorso FAI "I luoghi del Cuore". L'iniziativa ha raccolto un numero di firme molto elevato a livello locale, nazionale ed internazionale, ottenendo in tal modo una sensibilizzazione a larga scala.

I dati recenti per il monitoraggio dei parametri idrochimici e dei popolamenti fito e zooplanktonici sono stati acquisiti nell'ambito del progetto ITTIORTA, iniziato nel 2015 e tuttora in corso. Tali dati hanno evidenziato una sostanziale stabilità dei parametri idrochimici. Da segnalare la diminuzione costante di concentrazione dell'ossigeno negli strati profondi (al di sotto dei 120 m) a partire dal 2013 a seguito di una maggiore stabilità termica e quindi di circolazioni invernali incomplete. Questa tendenza, riscontrata anche negli altri laghi profondi subalpini, è una evidente conseguenza del riscaldamento delle acque e degli effetti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche lacustri.

Scopo principale del progetto ITTIORTA è il ripopolamento delle acque pelagiche di due specie ittiche presenti nel lago prima dell'inquinamento: l'agone (*Alosa agone*) e il coregone lavarello (*Coregonus lavaretus*). Attualmente sono stati immessi in vari punti del lago circa 3 milioni di avannotti di lavarello e, sulla base delle numerose catture di coregone lavarello da parte dei pescatori ricreativi, sembra che la popolazione abbia raggiunto una struttura di taglia tale da garantire una soddisfacente riproduzione naturale.

Il monitoraggio e il ripopolamento sono stati affiancati anche da numerose attività di divulgazione svolte presso le scuole del territorio e attraverso vari convegni, volti alla sensibilizzazione della popolazione locale sull'importanza della qualità ecologica del lago. Inoltre sono state svolte numerose tesi di laurea e dottorato in collaborazione con varie università.

Nel 2010 sono stati raccolti e analizzati parametri idro-morfologici ottenuti con l'applicazione del metodo LHS (Lake Habitat Survey) (es. artificialità delle sponde, vegetazione spondale e litorale, caratteristiche fisiche delle sponde e della zona litorale, etc.). L'elaborazione dei dati idro-morfologici ha permesso di determinare due indici specifici, l'indice di qualità LHQA (Lake Habitat Quality Assessment) e l'indice di alterazione morfologica LHMS (Lake Habitat Modification Score). Se rapportati a quelli calcolati per altri laghi italiani, questi due indici hanno dato informazioni importanti sulla qualità degli habitat e la qualità morfologica del Lago d'Orta che risulta avere una elevata qualità degli habitat ma

un’altrattanta elevata alterazione morfologica, data soprattutto dalla presenza di lunghi tratti artificializzati di sponda con presenza di case, darsene, attracchi e spiagge attrezzate.

Il Lago d’Orta è stato oggetto di due progetti recenti aventi come tema principale il monitoraggio ad alta frequenza di parametri limnologici e meteorologici mediante sensori: il progetto SAILING (Sensor-based Assessment on In Lake processes and water quality – Scientific INvestigation and Growing environmental awareness) e il progetto POR-FESR PITAGORA (Piattaforma Interoperabile Tecnologica per l’Acquisizione, la Gestione e l’ORGanizzazione dei dati Ambientali; <http://www.progettopitagora.it>; 2014-2015). Nell’ambito di PITAGORA è stata installata sul lago una boa equipaggiata con una stazione meteorologica e con sensori per il rilevamento di alcuni parametri di base quali temperatura delle acque, pH, conducibilità e ossigeno dissolto.

Il Lago d’Orta è stato oggetto nel 2015 di un Volume speciale della Rivista Journal of Limnology, dedicato alle fasi recenti del recupero del lago ed al confronto con altri ambienti sottoposti a interventi di liming. Il Volume è disponibile al seguente link: <https://www.jlimnol.it/index.php/jlimnol/issue/view/56>.

Prospettive future

Le ricerche future sul Lago d’Orta prevedono la prosecuzione del progetto ITTIORTA nelle sue diverse attività, con l’avvio, a partire dal 2019, del ripopolamento con avannotti di agone, la cui riproduzione artificiale, svolta presso l’impianto ittiogenico del CNR di Verbania, è da considerarsi del tutto sperimentale. A queste attività si affiancheranno indagini volte a stabilire l’impatto dei cambiamenti climatici sull’ecosistema lago, a rilevare gli impatti antropici sui parametri idrochimici e sulle comunità biotiche e l’impatto sull’ecosistema dell’invasione di specie non indigene a tutti i livelli della catena alimentare. È in fase di realizzazione la ricolonizzazione dell’intero perimetro lacustre tramite traslocazione di bivalvi (*Unio elongatulus*) da popolazioni geneticamente simili di laghi limitrofi e l’implementazione di sistemi di allarme in situ per il biomonitoraggio in tempo reale (Biological Early Warning Systems) basati sulle risposte comportamentali dei bivalvi ai fattori di disturbo. È in programma la traslocazione incrociata di bivalvi tra il Lago d’Orta e due laghi limitrofi con livello trofico differente per verificare gli effetti delle condizioni chimiche (concentrazione di metalli e di calcio) sull’accrescimento e sul bioaccumulo tramite analisi sclerocronologica dei gusci. Lo studio mira a validare il tasso di accrescimento dei bivalvi come *endpoint* ecotossicologico e l’uso della sclerocronologia delle conchiglie d’acqua dolce come indicatore nel monitoraggio ambientale.

Infine proseguiranno gli interventi finalizzati alla deframmentazione fluviale dell’Emissario Torrente Strona, ovvero al ripristino della continuità del corridoio acuatico tramite la realizzazione di passaggi per pesci. Gli effetti sulla comunità ittica lacustre di tali interventi (migrazioni dal Lago Maggiore al Lago d’Orta e viceversa) saranno monitorati mediante il posizionamento di una stazione di rilevazione automatica del passaggio di pesci marcati con microchip a tecnologia RFID (Radio-Frequency Identification Tags).

Abstract

Lake Orta is the only large and deep subalpine lake that belongs entirely to the Piedmont Region, in Italy. Lake Orta has a narrow and elongated shape along the north-south direction and its catchment basin (116 km²) belongs to that of the nearby Lake Maggiore. It is the seventh Italian lake for depth (143 m) and volume (1286 x 10⁶ m³). A reverse flow characterizes Lake Orta because its effluent (Niguglia) is located in its northern part. Lake Orta has been studied since 1879 (studies by Prof. P. Pavesi), but the first systematic researches began in 1930s. Originally oligotrophic and rich in fish, since 1926 Lake Orta underwent a heavy industrial pollution. Shortly, the toxic effects of the huge amounts of copper and ammonium sulphate discharged into the lake has been evident, so that already in 1930 the lake was defined “sterile”. Gradually, the biochemical oxidation of ammonium in the lake has caused the acidification of its waters. Since 1980s the load of pollutants in the lake has been drastically reduced thanks to the establishment of treatment plants, but only at the beginning of the ’90s the chemical recover

was complete following the liming intervention made by CNR – Istituto Italiano di Idrobiologia Dott. Marco De Marchi (1989 – 1990). The restoration of the biological components has not been so quick, but today, after almost thirty years, it is possible to state that the ecological quality of Lake Orta has greatly improved and it is very similar to the pristine conditions. Some problems are still found in the concentration of some trace elements (e.g. Hg, Cu) in sediments cores. Since the 1950s, long-term series of limnological data (meteorological, hydrological, physical, chemical, biological and sedimentary data) have been collected. Along years, the main LTER researches focused on: long-term evolution of lake water quality in relation to acidification and heavy metal pollution and the following recovery, dynamics of biological communities, effects of climate changes, biodiversity changes, paleolimnology and high frequency monitoring.

Ringraziamenti

Le ricerche nel sito Lago d'Orta (LTER_EU_IT_042) sono in parte finanziate dal Demanio Lacuale e dalla Fondazione Cariplò. Si ringrazia tutto il personale tecnico-scientifico del CNR IRSA e gli studenti coinvolti nelle campagne limnologiche e nelle ricerche a lungo termine sul Lago d'Orta.

Lago di Como

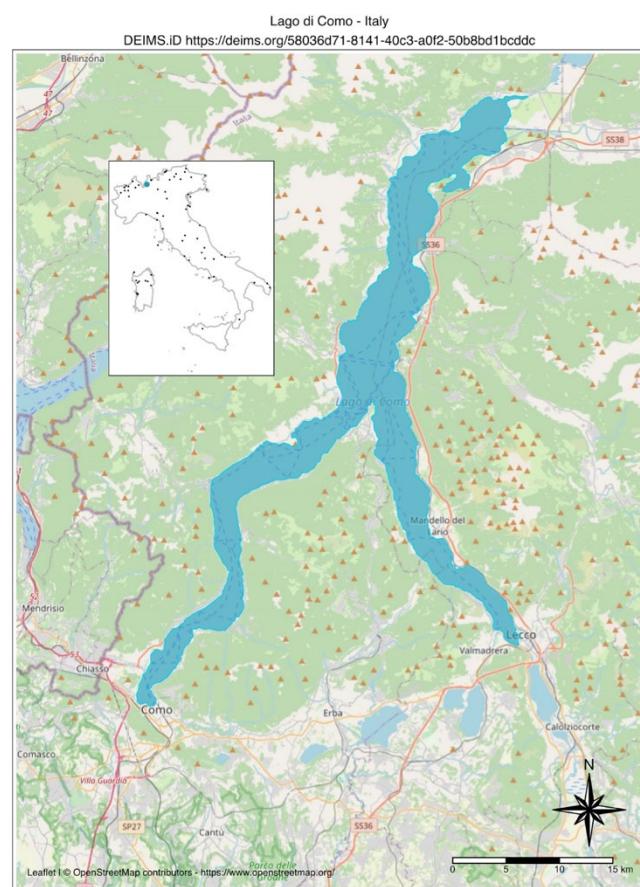
Autori

Fabio Buzzi

Affiliatione

ARPA Lombardia, Dipartimento di Lecco, Via I Maggio, 21/b, I-23848 Oggiono (LC), Italy.

Sigla: IT08-004-A



DEIMS.ID: <https://deims.org/58036d71-8141-40c3-a0f2-50b8bd1bcddc>

Responsabile Sito: Fabio Buzzi

Coordinate geografiche (deims.id): 45.997N; 9.258E

Volume: $22,5 \times 10^9 \text{ m}^3$

Localizzazione: Lombardia

Tempo teorico di ricambio: 4,4 anni

Altitudine: 198 m s.l.m.

Stato trofico: meso-eutrofico

Area lago: 145 km²

Tematiche di Ricerca: evoluzione trofica, dinamiche popolamenti

Area bacino imbrifero: 4508 km²

planctonici, effetti dei cambiamenti climatici, biodiversità, specie

Perimetro: 170 km

invasive, telerilevamento, modellistica

Profondità media: 155 m

Profondità massima: 425 m

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 10 - Lago di Como

Argegno, punto di massima profondità, viene campionata con frequenza bimensile.

Le ricerche condotte da ARPA Lombardia sono soprattutto finalizzate alla valutazione dello stato trofico del lago e della qualità delle acque anche in funzione dei criteri definiti dalla Water Framework Directive (stato ecologico). L'ampio ventaglio di collaborazioni ha inoltre permesso di attivare una serie di ricerche volte all'approfondimento di specifiche tematiche, tra cui la valutazione della biodiversità lacustre mediante l'applicazione di tecniche NGS, la rilevazione di dati ad elevata frequenza, e la modellistica, per citarne alcune (cf. sezioni seguenti).

Inquadramento storico e attuale delle ricerche

Il Lago di Como era originariamente oligotrofo, così come risulta dagli studi paleolimnologici effettuati (Marchetto e Bettinetti 1995). Le prime informazioni, di tipo qualitativo, relative ai popolamenti planctonici, risalgono agli anni 1924-25 quando, in condizioni di oligotrofia, furono segnalate fioriture dei cianobatteri *Dolichospermum (Anabaena) flosaqueae* e *Microcystis aeruginosa* la cui estensione riguardò tutti i sottobacini. Il processo di eutrofizzazione ha portato ad un incremento delle concentrazioni dei nutrienti algali a partire dagli anni '60 fino al raggiungimento dei valori massimi negli anni '80 con $80 \mu\text{g L}^{-1}$ di fosforo totale rilevati nella stazione di Como. In questa fase il popolamento fitoplanctonico ha subito notevole variazioni nella sua composizione specifica con la graduale crescita di importanza di alcune specie quali *Planktothrix rubescens*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Fragilaria crotonensis* e *M. aeruginosa*, protagonista quest'ultima di una estesa fioritura nel 1983 a Como (Mosello *et al.* 1991). I dati relativi alla comunità zooplanctonica hanno indicato un aumento di Cladoceri, soprattutto *Eubosmina coregoni* (Parise e Riva 1982). La riduzione dei carichi di fosforo avvenuta negli anni successivi ha portato

Il Lago di Como, o Lario (Figg. 10 e 11) suddivisibile in tre sottobacini caratterizzati da differenze morfologiche e idrodinamiche. In particolare, i tempi di ricambio delle acque dei bacini orientale e occidentale sono molto differenti; l'assenza di un emissario, la profondità elevata (425 m) e la presenza di una soglia determinano, per il bacino occidentale, un ricambio idrico più lento, rendendo lo stesso molto più vulnerabile all'immissione di carichi di nutrienti e sostanze inquinanti. La stazione LTER oggetto di campionamenti effettuati con frequenza mensile è quella di Dervio, mentre quella di

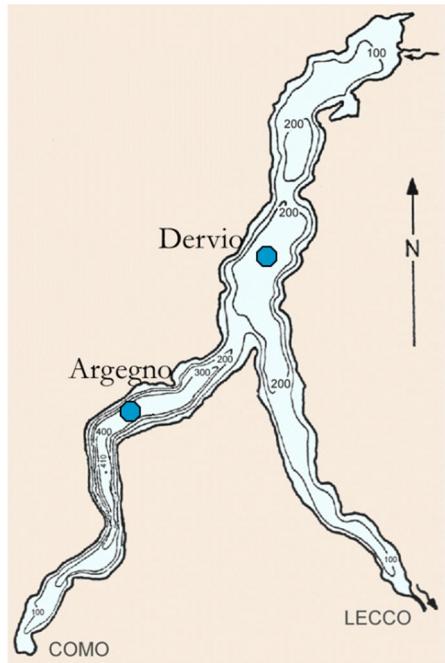


Fig. 11 - Mappa batimetrica del Lago di Como

ad una diminuzione dei valori di biovolume algale in corrispondenza ad una minore disponibilità di nutrienti, $46 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel bacino ovest e $40 \mu\text{g P L}^{-1}$ nell'asse Colico-Lecco (Chiaudani e Premazzi 1993). Anche la comunità zooplantonica ha fatto segnare una diminuzione della densità dei Cladoceri (*E. coregoni* e *Daphnia hyalina*) ed un aumento di quella dei Copepodi Diaptomidi (*Eudiaptomus padanus*) (Chiaudani & Premazzi 1993). Nel periodo successivo si segnala un'ulteriore diminuzione della concentrazione di fosforo totale, fino a $35 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel 1999; tale diminuzione però non causa variazioni significative nella composizione specifica delle comunità fitoplanctoniche (Bettinetti *et al.* 2000; Mosello *et al.* 1999; Mosello *et al.* 2001; Buzzi 2002). In questo periodo si è distinta come specie significativa *P. rubescens*, che ha raggiunto densità cellulari pari a $50000 \text{ cell ml}^{-1}$ nella stazione di Como. Dal 2000 si è verificata una serie di episodi di fioriture superficiali di cianobatteri con una frequenza che è aumentata negli ultimi anni. In alcuni casi le fioriture erano contenute e limitate ad alcune zone. Negli anni 2000, 2003, 2006, 2016 (settembre solo nel ramo occidentale) si sono verificate fioriture di *Microcystis aeruginosa/wesenbergii*. Mentre nel 2006, 2010, 2011, 2012, 2013, 2016 le fioriture sono state causate (Luglio) da *Dolichospermum lemmermannii*. L'episodio del 2013 è stato molto esteso con biovolumi elevati ed elevate concentrazioni di Chl *a* in superficie pari a 141 mg L^{-1} .

Risultati

La situazione del Lago di Como denota una sostanziale inerzia dal punto di vista degli impatti dovuti ai carichi di nutrienti. Le concentrazioni di fosforo nella colonna d'acqua sono rimaste sostanzialmente invariate negli ultimi decenni, oscillando attorno a valori piuttosto lontani da quelli previsti come obiettivo dal Programma di Tutela ed Uso delle Acque (PTUA) del 2016. La concentrazione obiettivo di fosforo totale prevista dal PTUA per il Lago di Como al 2027 è di $14 \mu\text{g L}^{-1}$ P. Come esposto nei paragrafi precedenti, le concentrazioni di fosforo totale nei due corpi idrici per

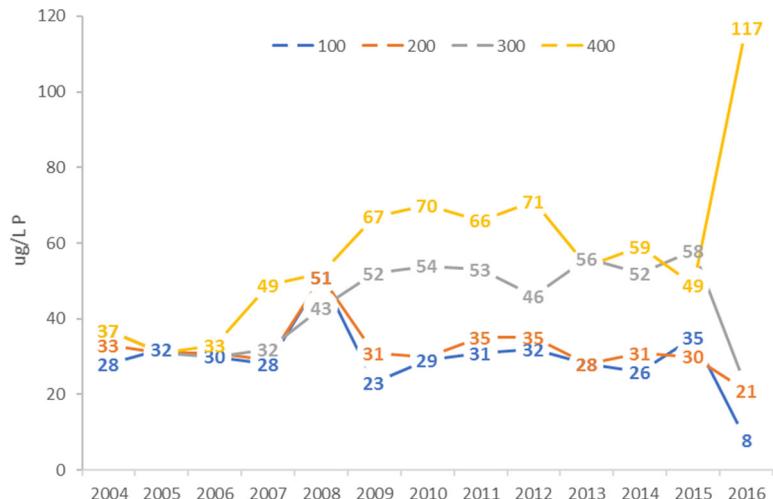


Fig. 12 - Andamento dei valori di concentrazione di fosforo totale nella stazione di Argegno alla circolazione primaverile alle profondità di 100, 200, 300, 400 metri

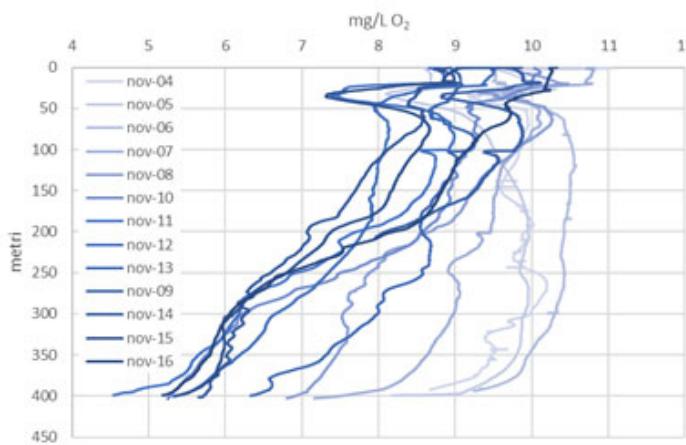


Fig. 13 - Profili della concentrazione di ossigeno dissolto a fine stratificazione ad Argegno (Lago di Como) dal 2004 al 2016

il triennio 2014-2016 sono state pari a $35 \mu\text{g L}^{-1}$ P, rispettivamente per il corpo idrico occidentale e per quello orientale. È evidente che per potere raggiungere le concentrazioni previste dal PTUA è necessario operare interventi per la riduzione dei carichi, soprattutto per quanto riguarda la parte meridionale del corpo idrico occidentale. È altresì necessario che vengano determinati con maggiore precisione i reali carichi insistenti veicolati dai tributari, attraverso la raccolta di campioni integrati mediante autocampionatori e il rilevamento in continuo delle portate dei tributari stessi. I cambiamenti climatici in atto hanno

portato ad un aumento delle concentrazioni di fosforo ed una diminuzione della concentrazione dell'ossigeno negli strati profondi (Figg. 12 e 13).

Progetti di ricerca e collaborazioni

L'acquisizione dei dati a lungo termine è stata effettuata nell'ambito delle attività di classificazione ecologica previste per il Lago di Como nel triennio 2014-2016 e nell'anno 2017, primo del triennio 2017-2019. I dati prodotti sono relativi ai parametri idrologici, meteoclimatici, al regime di mescolamento delle acque, alla chimica del lago, alle comunità fitoplanctoniche e zooplanctoniche.

Il Lago di Como è inserito nel progetto EOMORES il cui scopo è la sperimentazione dell'utilità di alcuni servizi e prodotti di earth observation forniti da IREA CNR, ad ARPA Lombardia come fruitore, per le attività di monitoraggio dello stato di qualità ecologica dei laghi con particolare riferimento alle fioriture algali, allo sviluppo delle comunità di macrofite ed alla presenza di torbidità minerale nei corpi idrici lacustri. L'utilizzo delle tecniche di remote sensing ha consentito la riproduzione della serie storica della temperatura delle acque di superficie del Lario validata con i dati misurati in campo in collaborazione con diversi istituti di ricerca (p. es. Pareeth *et al.* 2017).

Il Lario è inserito nel progetto INTERREG IT-CH "SIMILE", attivo da gennaio 2019, che prevede lo sviluppo e l'installazione su lago di boe per il monitoraggio ad alta frequenza di alcuni parametri selezionati, allo scopo di creare un sistema di monitoraggio integrato che utilizzi anche i dati satellitari. Le informazioni relative ai parametri chimico fisici e meteorologici verranno utilizzate per l'applicazione di modelli ecologici previsionali, quali GLM e FABM-AED.

Sono inoltre in essere attività di collaborazione con Istituto Agrario S. Michele all'Adige, Fondazione E. Mach in merito allo studio delle caratteristiche ecologiche di alcune specie fitoplanctoniche ed alle comunità microbiche dei grandi laghi sudalpini

Prospettive future

Le linee di indagine per il futuro sono legate alle attività previste dai progetti INTERREG "SIMILE" ed Eco-AlpsWater. Nel progetto SIMILE, l'elevata frequenza di acquisizione temporale e spaziale dei dati chimico-fisici, meteo e biologici consentirà di verificare l'efficacia degli interventi di riduzione dei carichi dei nutrienti in relazione ai cambiamenti climatici in atto. Le stesse informazioni consentiranno l'applicazione dei modelli ecologici in grado di simulare differenti scenari legati all'andamento del clima. Le attività svolte nel progetto Eco-AlpsWater consentiranno l'utilizzo di nuove tecniche molecolari NGS per la valutazione della biodiversità e lo studio dell'evoluzione temporale dei popolamenti fitoplanctonici. Ciò permetterà anche di operare un confronto tra i risultati ottenuti con i metodi tradizionali di microscopia e quelli molecolari anche al fine di migliorare la valutazione dello stato di qualità ecologica. La produzione di una mole così cospicua di dati porterà alla sperimentazione di nuovi metodi di valutazione statistici e matematici.

Ulteriori prospettive sono legate all'acquisizione negli anni futuri, da parte dell'agenzia, di strumentazioni tecnologiche di ultima generazione (p. es. citofluorimetri) volte ad aumentare la frequenza di acquisizione di informazioni qualitative e quantitative della comunità fitoplanctonica. Ciò consentirebbe di implementare un nuovo metodo di studio dei popolamenti fitoplanctonici che prevede l'utilizzo contestuale della tecnica classica di microscopia, dei metodi molecolari e della citofluorimetria.

Abstract

In Lake Como, only a few studies were carried out irregularly by various institutions until the end of the 1990s. Since the beginning of 2000, with the establishment of the Environmental Protection Agency of Lombardy (ARPA Lombardia), continuous monthly sampling and measurements have been carried out in order to assess the ecological status according to the Water Framework Directive, which combines the information of numerous hydromorphological, chemical and biological parameters to define the general state of functioning and structure of the ecosystem. Lake Como, originally an oligotrophic lake,

has undergone a process of eutrophication since the 1960s. Maximum eutrophication was achieved in the 1980s, when phytoplankton underwent a considerable change with the gradual increase in the importance of some toxic cyanobacteria, giving rise to large blooms in the Como sub-basin. Since the 1990s, thanks to a recovery program aimed at reducing nutrient loads and removing phosphate from detergents, an oligotrophication process has begun and the lake has reached the meso-eutrophic status.

Lago di Garda

Autori

Nico Salmaso¹, Adriano Boscaini¹, Cristina Cappelletti², Leonardo Cerasino¹, Francesca Ciutti², Monica Tolotti¹

Affiliazione

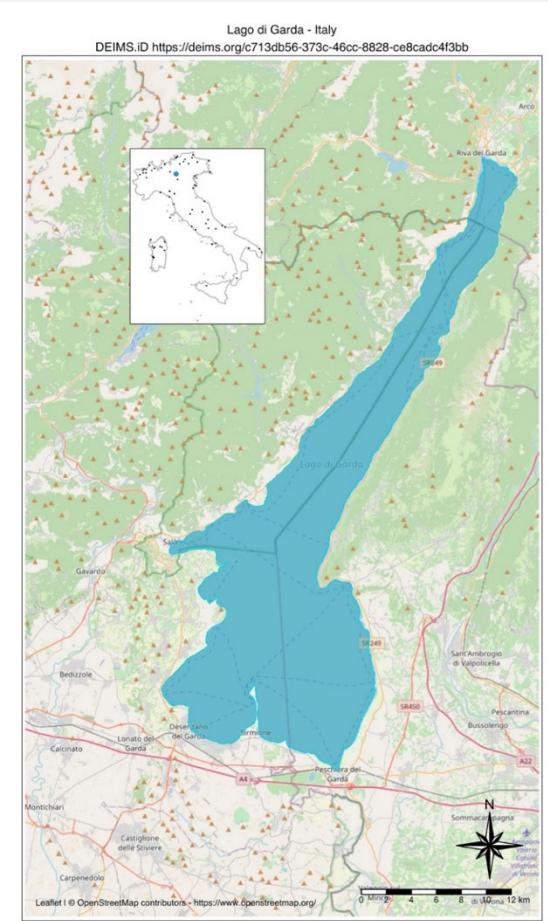
¹ Centro Ricerca e Innovazione, Fondazione Edmund Mach, Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, Italia

² Centro Trasferimento Tecnologico, Fondazione Edmund Mach, Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, Italia

Sigla: IT08-005-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/c713db56-373c-46cc-8828-ce8cadc4f3bb>

Responsabile sito: Nico Salmaso



Coordinate geografiche (deims.id): 45,581N; 10,621E

Localizzazione: Regioni Veneto, Lombardia, Trentino Alto Adige

Altitudine: 65 m s.l.m.

Area lago: 368 km²

Area bacino imbrifero: 2350 km²

Perimetro: 165 km

Profondità media: 133 m

Profondità massima: 350 m

Volume: 49,03×10⁹ m³

Tempo teorico di ricambio: 26,8 anni

Stato trofico: oligo-mesotrofo

Status di protezione: Natura 2000, IT3210018 (Basso Garda)

Tematiche di Ricerca: Ecologia, limnologia, eutrofizzazione e cambiamenti climatici, biodiversità, comunità acquisite, specie invasive, genetica e metabolomica delle alghe tossiche, paleolimnologia, telerilevamento

Descrizione del sito e delle sue finalità

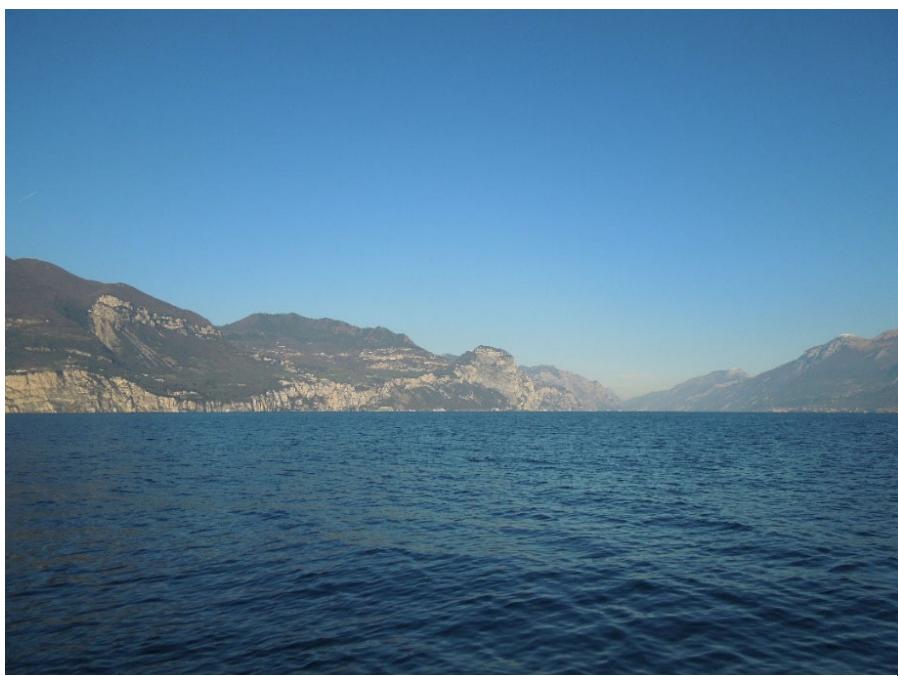


Fig. 14 - Bacino occidentale del Lago di Garda – 18 dicembre 2018 (Foto, N. Salmaso)

Nell'ambito del macrosito Laghi Sudalpini, il Lago di Garda (Figg. 14 e 15) costituisce il più esteso e il più grande lago italiano. Il Garda comprende oltre il 30% del patrimonio idrico raccolto nei laghi naturali e artificiali italiani. Considerando la batimetria, il Garda appare nettamente suddiviso in due bacini – occidentale e orientale – delimitati da una dorsale sommersa che congiunge la penisola di Sirmione con Punta San Vigilio.

In corrispondenza della dorsale, la Secca del Vo, posta circa 3 km a sud-ovest di P.S. Vigilio, coincide con la zona

di minore profondità (<10 m). Nella parte valliva del bacino occidentale i fondali si sviluppano in una piattaforma di fondo lunga circa 25 km, larga poco meno di 2 km e con profondità comprese tra 300 m e 350 m. Collocato nella pianura veneta, il bacino orientale è meno ampio e meno profondo (z_{\max} tra 70

e 80 m), configurandosi, come ben descritto da Barbanti (1974), come “un’appendice non completamente inserita nel contesto morfologico del bacino principale”. Nonostante la sua estensione, questo bacino comprende solo circa il 7% del volume complessivo.

I descrittori morfometrici del Lago di Garda, calcolati per l’intero bacino e per i due sottobacini, sono riportati di seguito (Tab. 1).

Il bacino idrografico del Lago di Garda ha una superficie di 2350 km². Se confrontato con la superficie lacustre, si tratta di un bacino imbrifero relativamente piccolo, caratterizzato da un rapporto area bacino/area lago di 1/6. Il principale immissario del Garda è il Sarca, il cui bacino idrografico costituisce il 54% dell’intero bacino imbrifero. In coincidenza con occasionali eventi di piena, una frazione delle acque del Fiume Adige può essere deviata nel Garda attraverso la galleria Adige (Mori)-Garda (Torbolo), con portate massime di 500 m³ s⁻¹. La galleria è stata utilizzata raramente. Alla fine di ottobre 2018, al fine di scongiurare l’esondazione dell’Adige nelle province venete, l’apertura della galleria ha determinato un apporto a lago di un volume di acqua deviata dall’Adige di poco inferiore a 20 milioni di metri cubi. L’emissario naturale del Garda è il Fiume Mincio. Fino al 1960 il fiume aveva

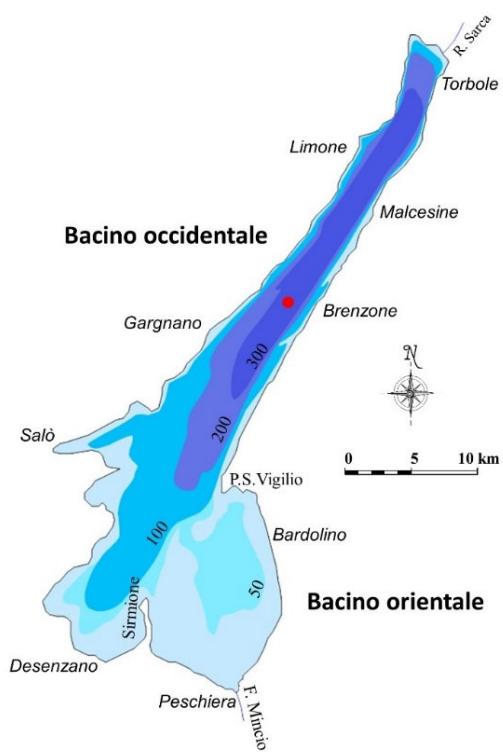


Fig. 15 - Mappa batimetrica del Lago di Garda (modificato, da Barbanti, 1974). Il cerchio rosso (45.69 N, 10.72 E) indica la stazione di ricerca LTER

una portata di circa 70-80 m³ s⁻¹. A partire dagli anni '60 furono realizzate opere di regolazione portando il deflusso medio del Mincio a poco meno di 60 m³ s⁻¹. Ulteriori informazioni per un inquadramento generale del Lago di Garda, inclusa la parte di gestione dei carichi di nutrienti, si può trovare nei numerosi capitoli del volume curato da (Bertin & Bortoli 2009).

Tab. 1 - Principali caratteristiche morfometriche dei bacini occidentale e orientale del Lago di Garda (da Barbanti 1974)

	Bacino occidentale	Bacino orientale	Bacino Completo
Area (km ²)	273	95	368
Lunghezza massima (km)	51.9	15.6	51.9
Larghezza massima (km)	11.7	9.8	16.7
Profondità massima (m)	350	81	350
Profondità media (m)	168	34	133
Volume (km ³)	45.77	3.27	49.03

Escludendo le prime osservazioni scientifiche svolte a cavallo tra il 1800 ed il 1900 (cf. Salmaso *et al.* 1997), le prime moderne indagini limnologiche sul Lago di Garda, pur se limitate a due uniche serie di campionamenti, furono effettuate nel 1951 da Marchesoni (1952). I risultati ottenuti comprendevano sia rilevazioni sul campo di profili verticali di temperatura e ossigeno disciolto sia analisi dei nutrienti algali, zooplancton e fitoplancton.

La prima serie organica di indagini condotte su base mensile fu intrapresa alla fine degli anni '60 del secolo scorso (D'Ancona *et al.* 1961; Tiso 1962; Merlo *et al.* 1961). Nel corso dello studio furono rilevate numerose variabili di interesse limnologico. Tra queste, le informazioni ottenute sulle caratteristiche fisiche delle acque e ossigeno disciolto, e sulla composizione dello zooplancton e del fitoplancton di grande taglia, costituiscono tuttora un importante elemento di paragone per la valutazione del grado di cambiamento delle caratteristiche qualitative delle acque del Garda.

È tuttavia tra il 1971 e 1972, con il lavoro curato da Gerletti (1974), che fu realizzata la prima indagine multidisciplinare sul Lago di Garda. La parte introduttiva, ancora attuale, riporta essenziali informazioni sugli aspetti geografici, geologici e climatici del lago e del bacino imbrifero. Relativamente alla parte sperimentale, le indagini permisero di ottenere informazioni sulle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, sulla struttura e composizione delle comunità biologiche (macrofite, fitoplancton, zooplancton e pesci), e sui carichi di nutrienti. I risultati costituiscono la prima base certa per un confronto con le condizioni ecologiche attuali del Garda.

A partire dagli anni '70, una serie di campionamenti annuali furono effettuati nel corso della massima circolazione primaverile da parte del CNR-Istituto Italiano di Idrobiologia; p. es. (Bonomi *et al.* 1979; Ambrosetti *et al.* 1983). Il risultato di queste indagini è costituito dalla più lunga serie storica omogenea di dati fisici e chimici disponibili, con frequenza annuale, per il Lago di Garda (Mosello *et al.* 2010).

Gli studi più recenti basati su campionamenti mensili sono stati condotti, dopo il lavoro dell'IRSA (Gerletti 1974), solo a partire dalla fine degli anni '80. Questi comprendono i lavori di Chiaudani & Premazzi (1990), le osservazioni effettuate dalla Provincia Autonoma di Trento (1992, 1995, 2000) e le ricerche limnologiche iniziate a partire dalla primavera del 1991 dal Dipartimento di Biologia dell'Università di Padova (Salmaso *et al.* 2003).

Ricollegandosi agli studi iniziati nel 1991 dall'Università di Padova, le ricerche scientifiche nella zona pelagica del Garda sono condotte dal gruppo di ricerca di idrobiologia dell'Istituto Agrario di S. Michele all'Adige, Fondazione Edmund Mach (responsabile del Sito di Ricerca LTER – Lago di Garda EU-IT0-044); le ricerche sono svolte in collaborazione con l'ARPAV di Verona. Il settore che comprende la ricerca scientifica finalizzata alla rilevazione, gestione e utilizzo di dati satellitari/remote sensing è gestito dal CNR-IREA di Milano (responsabile del Sito di Ricerca LTER – Lago di Garda B-Satellite Site-Stazione di Sirmione). Nell'ambito delle attività svolte per la determinazione della qualità ecologica delle

acque del lago, specifici monitoraggi sono svolti attraverso una collaborazione tra le agenzie per l'ambiente di Verona (ARPAV), Brescia (ARPAL) e Trento (APPA).

Nell'ambito delle attività iniziate sin dal 1991 nel sito di ricerca LTER_EU_IT_044, le indagini sono svolte, in collaborazione con l'ARPAV e su base mensile, nella stazione pelagica al largo di Brenzone. Le indagini sono basate sulla raccolta di un ampio ventaglio di variabili limnologiche comprendenti sia misure sul campo (trasparenza, K_d , profili con sonde multiparametriche) sia misure effettuate su campioni raccolti a profondità discrete (superficie 10, 20, 60, 100, 150, 200, 250, 300 m e fondo). Queste ultime comprendono sia variabili chimiche e fisiche (pH, conducibilità, nutrienti algali e bilancio ionico) sia variabili biologiche (clorofilla, protisti, fito- e zooplancton, comunità batteriche, tossine algali). In relazione all'attivazione di specifici ambiti di ricerca, al complesso di dati raccolti con regolarità si possono aggiungere altri set di variabili/campioni connessi con indagini di genetica di popolazione o paleolimnologia.

Gli obiettivi della ricerca sono molteplici e fondati su un approccio multidisciplinare finalizzato alla comprensione dell'evoluzione a lungo termine della qualità delle acque e degli effetti dei cambiamenti climatici e pressioni antropiche sulle comunità biotiche e funzionalità ecosistemica. Attività specifiche comprendono: l'ecologia del fitoplancton e impatto sul lago delle variazioni delle concentrazioni di nutrienti e delle fluttuazioni climatiche a diversa frequenza temporale (aumento delle temperature lacustri e fluttuazioni climatiche interannuali valutate attraverso l'utilizzo di indici di teleconnessione); l'identificazione dei meccanismi ambientali e biotici che favoriscono lo sviluppo dei cianobatteri; l'identificazione di ceppi tossici di cianobatteri (geni codificanti cianotoxine), e la misura delle concentrazioni di epato- e neurotoxine e il loro impatto sullo spettro di utilizzo della risorsa acqua (per scopi potabili e ricreativi); l'evoluzione a lungo termine della comunità zooplanktonica; l'evoluzione secolare del lago attraverso lo studio paleolimnologico delle comunità a diatomee e cladoceri nei sedimenti profondi; l'individuazione e impatto sull'ecosistema lago delle specie aliene e criptogeniche. Nel corso degli ultimi anni, le indagini sono state integrate da ulteriori filoni di ricerca nell'ambito della metagenomica e metabolomica. Queste comprendono l'analisi delle comunità microbiche, cianobatteriche e di protisti mediante l'utilizzo di un approccio culture-independent, basato su tecniche di Next Generation Sequencing e amplificazione massiva di geni 16S rRNA e 18S rRNA con tecniche MiSeq Illumina. Le analisi tassonomiche ed ecologiche dei cianobatteri isolati dalle acque del Garda sono completate con analisi metabolomiche semi-untargeted effettuate con tecniche LC-MS, per la caratterizzazione di molecole bioattive.

Le attività si avvalgono del supporto delle piattaforme tecnologiche di microscopia, chimica, metagenomica e metabolomica afferenti ai gruppi di Idrobiologia, Genomica, e Biologia Computazionale della FEM, Centro Ricerca e Innovazione (<https://www.fmach.it/>).

Risultati

Le analisi a lungo termine condotte sul Lago di Garda hanno evidenziato una significativa diminuzione di fosforo nella colonna d'acqua e aumento delle temperature delle acque superficiali e profonde associato ad un significativo riscaldamento documentato su scala regionale e globale (O'Reilly *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2018c). La diminuzione del fosforo può essere interpretata considerando i positivi effetti della deviazione dal lago di una frazione (che rimane tuttavia ancora da identificare) di carichi di nutrienti da parte del collettore circumlacuale (Boscaini 2009). Il riscaldamento del lago ha avuto effetti importanti sulle dinamiche di stratificazione termica delle acque e sulle comunità algali, determinando una significativa diminuzione degli episodi di mescolamento completo che, di fatto, si sono interrotti dal 2006 (Fig. 16). Il persistente periodo di meromissi ha comportato un incompleto rifornimento di nutrienti dalle acque più profonde verso quelle superficiali, contribuendo all'oligotrofizzazione degli strati trofogenici (Fig. 16). Nel complesso, questi processi di "climate warming-induced oligotrophication" (Salmaso *et al.* 2018c) sono fortemente mediati dalle caratteristiche fisiografiche tipiche dei laghi profondi, costituendo un tratto comune in tutti i grandi laghi sudalpini (Salmaso *et al.* 2014; Rogora *et al.* 2018; Viaroli *et al.* 2018). D'altra parte, il miglioramento dello stato ecologico del lago indotto da questi processi di meromissi

transitoria è solo apparente e precario, determinando un accumulo di nutrienti negli strati più profondi e una forte situazione di rischio in caso di eventi di circolazione completa.

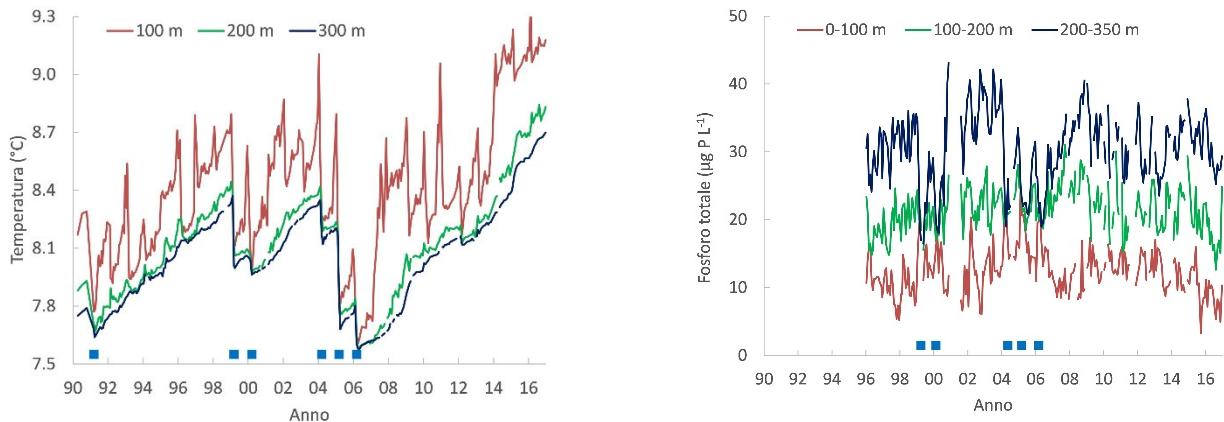


Fig. 16 - Dinamica temporale delle temperature dell'acqua e del fosforo totale nel Lago di Garda.
I quadrati blu indicano gli anni di completo mescolamento

La diminuzione dei nutrienti algali negli strati eufotici indotta dal lungo periodo di meromissi ha avuto conseguenze importanti nello sviluppo a lungo termine dei cianobatteri, determinando un consistente declino di *Planktothrix rubescens* (una tipica specie mesotrofa), specialmente dalla metà degli anni 2000. Nel contempo, alla diminuzione di questo gruppo ha fatto seguito la comparsa di altri cianobatteri tossigenici (vedi oltre) e l'aumento – favorito anche dal riscaldamento – di diverse specie mixotrofiche appartenenti alle dinoflagellate e criptoficee. In particolare, molti dinoflagellati mixotrofi presentano caratteristiche favorevoli per la crescita in ambienti caldi e poveri di nutrienti, potendo costituire uno dei gruppi più competitivi in un contesto di riscaldamento climatico.

Il lungo periodo di meromissi identificato nel Lago di Garda è stato associato a importanti modificazioni nei modi di circolazione atmosferica su scala continentale. In particolare, il riscaldamento delle acque è coinciso con un aumento dei valori invernali dell'East Atlantic pattern (EA_{DF}), un indice di teleconnessione rilevante per tutto il Nord Atlantico e il continente europeo. Valori positivi dell' EA_{DF} sono infatti associati a inverni più miti; al contrario, valori minori o negativi sono strettamente associati all'afflusso di aria fredda dalle regioni continentali verso il Nord Italia e il Mediterraneo (Salmaso *et al.* 2018b).

Una parte rilevante dell'attività è stata indirizzata all'identificazione delle principali specie tossigeniche di cianobatteri nel Lago di Garda e negli altri grandi laghi sudalpini. A questo riguardo, le ricerche hanno

richiesto la messa a punto di specifiche strategie di indagine, basate su un approccio multidisciplinare fondato sia sull'utilizzo di metodi classici di indagine limnologica, sia su tecniche genetiche e metabolomiche. Le indagini hanno permesso di verificare il progressivo aumento dell'importanza di una nuova specie, *Tychonema bourrellyi*, che, fino al 2014, non era mai stata documentata (Shams *et al.* 2015) (Fig. 17). La recente scoperta di *Tychonema* non è sufficiente per includere questo cianobatterio tra le specie alloctone. Piuttosto, *Tychonema* dovrebbe essere considerato un organismo “criptogenetico”, cioè una specie che non è né nativa né esotica e le cui



Fig. 17 - *Tychonema bourrellyi*, Lago di Garda, campione in coltura isolato nel marzo 2014, 400× (Shams *et al.* 2015)

origini sono sconosciute, non dimostrate in modo inequivocabile o, anche, oggetto di precedenti errate identificazioni (Kokociński *et al.* 2017). Le indagini genetiche e filogenetiche hanno permesso di documentare la presenza di questa specie non solo nel Garda, ma anche nei laghi di Iseo, Como e Maggiore; in quest'ultimo lago, la presenza di filamenti associabili a *Tychonema* era già stata suggerita dopo il 2005 (CNR-ISE 2007). Attualmente, nel Lago di Garda *T. bourrellyi* è presente con biomasse comparabili, se non superiori, a quelle di *P. rubescens*. Queste due specie, oltre ad avere caratteristiche ecologiche del tutto diverse (per *Planktothrix*; si veda D'Alelio *et al.* 2011), producono anche tossine diverse. Le analisi svolte con tecniche LC-MS hanno dimostrato la produzione di microcistine (in particolare i congeneri RRdm e LRdm) da parte di *P. rubescens* e di anatossina-a e omoanatossina-a (due potenti neurotossine) da parte di *T. bourrellyi* (Shams *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2016; Cerasino *et al.* 2017). La tossicità di *T. bourrellyi* è stata ulteriormente confermata dall'identificazione nella maggioranza dei ceppi isolati nei laghi di Garda, Iseo, Como e Maggiore di almeno due geni, *anaC* e *anaF*, appartenenti al cluster genico codificante l'anatossina-a (Shams *et al.* 2015; Salmaso *et al.* 2016). La scoperta della tossicità in *Tychonema* ha permesso di inserire recentemente questa specie nella lista dei cianobatteri tossici oggetto di monitoraggio e valutazione del rischio a livello europeo (Bernard *et al.* 2017).

Da evidenziare inoltre la messa a punto di sistemi di monitoraggio rapidi basati sull'utilizzo di tecniche di real time qPCR (Capelli *et al.* 2018) e il sequenziamento del genoma di un ceppo di *T. bourrellyi* isolato nelle acque del Garda (Pinto *et al.* 2017). Sempre in questo ambito di ricerca, sono state avviate indagini per la comprensione e caratterizzazione degli eventi di fioriture algali dovuti a *Dolichospermum lemmermannii* nei grandi laghi a sud delle Alpi. Nello specifico, sono state analizzate la biogeografia di ceppi di *D. lemmermannii* isolati in diversi laghi europei (Capelli *et al.* 2017), le caratteristiche metabolomiche (Cerasino *et al.* 2017), le caratteristiche genetiche ed ecologiche di ceppi isolati nei grandi laghi a sud delle Alpi (Salmaso *et al.* 2015b) e, utilizzando tecniche di paleolimnologia e resurrection ecology, le dinamiche di colonizzazione storica di *Dolichospermum* nel Lago di Garda (Salmaso *et al.* 2015a). Dal punto di vista gestionale, e a differenza di numerosi ceppi isolati nelle regioni centro e nord europee, i ceppi di *Dolichospermum* isolati dai laghi profondi sudalpini sono sempre risultati negativi per la presenza di tossine e geni codificanti tossine. Nel complesso, i risultati ottenuti hanno permesso da una parte di chiarire il rischio derivante dalla presenza di alghe tossiche nel Garda e nei grandi laghi sudalpini, e dall'altra di fornire indicazioni per la gestione delle risorse acquatiche, specialmente in relazione all'utilizzo per scopi di balneazione e ricreazione, e potabili.

Un confronto tra le popolazioni di zooplanton individuate alla fine degli anni '90 e quelle rilevate nei decenni precedenti è stata effettuata da Salmaso & Naselli-Flores (1999). Le uniche differenze documentabili e consolidate includevano la scomparsa di *Sida crystallina* dagli anni '50 e l'apparizione di nuovi rotiferi dagli anni '70 e '80. Più recentemente, le variazioni dei cladoceri dominanti in primavera (*Daphnia*) sono state messe in relazione con le modalità di variabilità atmosferica in inverno, così come descritte dalle fluttuazione dell'indice EA_{DF} (Manca *et al.* 2014).

La ricostruzione su scala secolare dell'evoluzione trofica del lago è stata effettuata utilizzando tecniche di paleolimnologia. Le indagini hanno permesso di ricostruire le dinamiche delle concentrazioni del fosforo totale a partire dal Medio Evo utilizzando bioindicatori specifici, quali pigmenti algali subfossili e diatomee (Milan *et al.* 2015), e cladoceri subfossili (Milan *et al.* 2017). Nel complesso, tali approcci hanno identificato nell'ultraoligotrofia (TP ca. 5-10 µg L⁻¹) la tipica condizione naturale di riferimento del Garda. Una discussione critica dell'applicazione e spettro di utilizzo delle tecniche di paleolimnologia nei grandi laghi perialpini è riportata in Tolotti *et al.* (2018).

Un altro filone di ricerca ha riguardato lo studio delle specie alloctone. Nel Lago di Garda sono state identificate oltre 50 specie alloctone, invasive o potenzialmente invasive appartenenti a diversi gruppi di vertebrati (oltre 20 pesci), invertebrati, piante acquatiche e alghe (Cappelletti *et al.* 2009; Ciutti *et al.* 2011, 2014; Cappelletti & Ciutti 2017; Ciutti & Cappelletti 2017). La scoperta di nuove specie alloctone, tra cui diverse invasive, è in rapida crescita, come testimoniato dalla recente identificazione di nuovi molluschi di recente introduzione nel Garda (Lopez-Soriano *et al.* 2018) e dalla preponderante presenza di pesci non autoctoni in tutti i laghi profondi sudalpini (Volta *et al.* 2018). In prospettiva, l'identificazione di

nuove specie alloctone potrà essere facilitata dall'utilizzo di tecniche di Next Generation Sequencing (NGS; vedi sotto).

Nel periodo più recente ha preso avvio un ulteriore filone di ricerca finalizzato allo studio delle comunità microbiche, fitoplanctoniche e a protisti nei corpi d'acqua dolce, compresa la stazione pelagica LTER del Garda. Le indagini, basate sull'utilizzo di tecniche NGS, hanno messo in evidenza la presenza di una ricca comunità microbica, caratterizzata da una spiccata e ricorrente stagionalità. Nello specifico, l'adozione di queste tecniche è risultata estremamente efficace anche nell'identificazione di nuove specie di cianobatteri potenzialmente tossici e prima d'ora mai identificati con tecniche di microscopia ottica, sia perché di piccole dimensioni (diversi strains di *Synechococcus* e *Cyanobium*) sia perché presenti con un numero di individui molto basso (pochissimi individui/DNA-reads, come nel caso di *Gloetrichia echinulata*) (Salmaso *et al.* 2018a). Uno studio svolto sui laghi profondi ha evidenziato forti differenze tra le comunità batteriche dei laghi meromittici/anossici e quelle dei laghi oligomittici. I risultati supportano l'ipotesi di un forte ruolo giocato dalla selezione ecologica nella creazione di specifici hotspot di biodiversità (Salmaso 2019). Analogamente, lo studio delle comunità a protisti ha permesso di stimare, per la prima volta, la biodiversità della componente microscopica eucariota, comprendente non solo la frazione fotosintetica, ma anche quella mixotrofica ed eterotrofica (Salmaso *et al.* 2019).

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

La ricerca nella stazione LTER del Garda è stata ed è finanziata, oltre che con fondi istituzionali FEM, con fondi esterni. Tra questi ultimi, i progetti ACE-SAP (PAT 2008-2011) ed EULAKES (EU Interreg-Central Europe 2010-2013) hanno permesso di iniziare l'importante filone di indagini indirizzato allo studio dei cianobatteri tossigenici. Sempre in questo filone, un'ampia collaborazione è iniziata nell'ambito del network COST EU Cyanocost (ES1105; 2012-2016), che ha permesso di ottenere importanti risultati sia consolidando le ricerche in corso (vedi sopra) sia ampliando gli ambiti di collaborazione (Babica *et al.* 2017; Meriluoto *et al.* 2017b, 2017a). Analogamente, le collaborazioni nell'ambito di un'altra COST action (Net-Lake ES1201; 2012-2016) hanno consentito di includere i dati sui livelli di cianotossine nel Garda in un più ampio contesto europeo (Mantzouki *et al.* 2018b, 2018a). Nell'ambito del progetto MetaVir-Alp (H2020 Marie Curie; 2016-2018), con referente l'Università di Trento e FEM secondment, sono state avviate indagini che hanno portato al sequenziamento dei genomi del cianobatterio *Tychonema bourrellyi* (Pinto *et al.* 2017) e di altri diversi batteri non fotosintetici (*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, e *Sediminibacterium*) (Pinto *et al.* 2018). Le attività svolte nell'ambito del partenariato del progetto H2020 RISE AlgaeCeuticals (2018-2021) sono invece finalizzate alla caratterizzazione di ceppi microalgal isolati in corpi lacustri, compreso il Garda, da utilizzare in colture massive per la caratterizzazione e produzione di biomolecole attive.

Infine, nel corso del 2018 ha preso avvio un ampio progetto europeo finanziato dal programma EU Interreg Alpine Space (Eco-AlpsWater 2018-2021) e coordinato dall'Unità Idrobiologia di FEM. L'obiettivo principale dell'iniziativa, che vede coinvolti 12 partner e 6 stati europei, è di integrare i tradizionali approcci di monitoraggio con l'analisi del DNA ambientale (eDNA), fornendo informazioni sulla composizione e sulla quantità (abbondanze relative) del biota acquatico. Le attività di ricerca su un numero esteso di laghi (compreso il Garda e altri grandi laghi sudalpini) e fiumi promuoveranno l'adozione dei sistemi di monitoraggio di nuova generazione presso le agenzie per l'ambiente e governative, e al censimento della biodiversità lacustre e fluviale nella regione alpina a un livello senza precedenti (<https://www.alpine-space.eu/projects/eco-alpswater/en/home>).

Attività di divulgazione e formazione

I risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche scientifiche sono stati oggetto, oltre che di pubblicazioni scientifiche (cf. Bibliografia) anche di numerose comunicazioni e poster presentati in congressi nazionali e internazionali, e di numerosi seminari, rivolti anche alle classi di scuole superiori. Il sito di ricerca è stato inoltre attivo (visite e seminari) nell'ambito del Cammino LTER 2016 “Il racconto del cambiamento tra

foreste, laghi e mare Bicistaffetta ecologica da Mantova a Venezia". Le attività sono state svolte con il fondamentale supporto di numerosi studenti di laurea e dottorato (cf. Bibliografia). Sempre nell'ambito della didattica scientifica, gli approcci e tecniche NGS applicati sul Lago di Garda sono stati oggetto di due summer school (Integrating 'Omics' Technologies into Aquatic Ecology) organizzate a S. Michele all'Adige nel 2017 e 2018.

Prospettive future

È indubbio che i maggiori progressi osservati nel corso degli ultimi 10 anni in campo limnologico siano stati promossi dall'adozione di tecnologie innovative che hanno permesso di esplorare variabili e dimensioni spaziali e temporali prima impossibili con l'adozione di tecnologie classiche. È il caso, per esempio, dei progressi osservati nel campo dell'ecologia microbica lacustre con l'adozione di tecniche NGS che non richiedono l'utilizzo di approcci dipendenti dall'isolamento e coltura di popolazioni, nonché dell'enorme mole di informazioni ottenute con l'applicazione di diverse tecniche di LC-MS sia targeted (determinazione di tossine algali e altre molecole target) sia untargeted (metaboliti di diversa natura) a organismi acquatici in coltura. La vitalità della ricerca scientifica nel Lago di Garda e nelle altre stazioni LTER dovrà essere fondata, oltre che sull'adozione e aggiornamento di sistemi e modelli concettuali, anche sull'apertura verso le nuove tecnologie. A questo riguardo, importanti prospettive nella ricerca e nel trasferimento tecnologico nel prossimo decennio saranno costituite dall'evoluzione delle tecniche di metagenomica utilizzate nella valutazione della biodiversità e funzionalità delle comunità acquatiche e dalla progressiva introduzione delle nuove tecnologie nei monitoraggi di nuova generazione. Analogamente, un'attenzione particolare sarà rivolta agli stressori che maggiormente stanno influenzando la qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini, tra questi la continua introduzione di microinquinanti e di specie esotiche, che sarà analizzata con sistemi tecnologici allo stato dell'arte. Questi nuovi approcci saranno determinanti per interpretare gli effetti dei cambiamenti climatici e delle altre alterazioni antropiche (eutrofizzazione, microinquinanti) sul sistema lago in una prospettiva nuova e privilegiata rispetto al passato, basata cioè su uno spettro più ampio e qualificato di informazioni. Nel contempo, queste attività saranno svolte mantenendo la struttura di base della ricerca LTER, fondata sulla raccolta costante delle variabili fisiche, chimiche e biologiche tradizionali. L'integrazione dei due livelli di ricerca – tradizionale e innovativo – sarà fondamentale nel gettare le basi della *Next Generation LTER*.

Abstract

The objectives of the research in the LTER station of Lake Garda are manifold and based on a multidisciplinary approach aimed at understanding the long-term evolution of water quality and the effects of climate change and anthropogenic pressures on biotic communities and ecosystem functionality. Specific activities include: phytoplankton ecology and impact of nutrient concentrations and climatic fluctuations (evaluated using teleconnection indices) at different temporal frequency; identification of environmental and biotic mechanisms favouring the development of cyanobacteria; the identification of toxic strains of cyanobacteria (genes encoding cyanotoxins), and measurement of hepatotoxic and neurotoxin concentrations and their impact on the use of water resources (for drinking and recreational purposes); the long-term evolution of the zooplankton community; the secular evolution of the lake through the paleolimnological study of diatoms and cladocerans in deep sediments; identification and impact on the lake ecosystem of alien and cryptogenic species. Over the last few years, investigations have been completed by further research lines including metagenomics and metabolomics. More specifically, microbial and cyanobacterial communities have been studied using culture-independent approaches, based on Next Generation Sequencing techniques and massive amplification of 16S rRNA genes with MiSeq Illumina techniques. The characterization of bioactive molecules in cyanobacterial species isolated in Lake Garda was performed using semi-untargeted metabolomic analysis with LC-MS techniques. The activities take advantage of the support of the technological platforms at FEM, Research and Innovation Center, namely Microscopy, Chemistry, Metagenomics and Metabolomics afferent to the

groups of Hydrobiology, Genomics, and Computational Biology. The integration of the two levels of research – traditional and innovative – will be fundamental in laying the foundations of the *Next Generation LTER*.

Ringraziamenti

La qualità dei dati ottenuti sul campo e in laboratorio è stata assicurata dal lavoro del personale tecnico della FEM afferente all'Unità di Idrobiologia, ed in particolare Andrea Zampedri, Lorena Ress e Milva Tarter. Sin dalla sua fondazione, la ricerca LTER sul Garda si è avvalsa della collaborazione dei colleghi dell'ARPAV di Verona, coordinati dal Responsabile dell'Ufficio Lago di Garda, Giorgio Franzini, supportato da Federica Giacomazzi, Chiara Zampieri, e Giampaolo Fusato. Nel corso degli anni la ricerca è stata supportata, oltre dalla FEM, da diversi programmi di ricerca, tra cui Interreg Central Europe e Interreg Alpine Space. Attività di networking sono state promosse nell'ambito dell'azione COST Cyanocost. Infine, vogliamo esprimere i nostri più sinceri ringraziamenti ai numerosi studenti in tesi di laurea e dottorato, e collaboratori post-doc, che hanno contribuito alla continuità della ricerca nel Lago di Garda (cf. *bibliografia*); tra questi, Camilla Capelli, Domenico D'Alelio, Manuela Milan, Sajid Pareeth, Shiva Shams e Jonas Bylemans.

Lago di Garda B) – Stazione Sperimentale di Sirmione “Eugenio Zilioli”: Satellite Sites

Autori

Mariano Bresciani, Claudia Giardino, Paola Carrara, Pietro Alessandro Brivio, Mauro Musanti, Simone Lella

Affiliazione

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Ellettromagnetico dell’Ambiente (IREA), Via Bassini 15, 20133 Milano, Italia.

Tematiche di ricerca e tipologia di dati raccolti

Le attività di ricerca con integrazione di misure in situ e tecniche di telerilevamento del Garda sono iniziate nel 1997 a cura del CNR-IREA all’interno del progetto del SALMON (Satellite Remote Sensing for Lake Monitoring, 4FP EC), progetto precursore in Europa delle attività scientifiche sulle tecnologie di telerilevamento applicate allo studio della qualità dell’acqua. La stazione Sperimentale, ubicata a Sirmione, dal 2000 è convenzionata con il Centro Rilevamento Ambientale (CRA) del Comune di Sirmione. Dal 2003 al 2012 sono state prodotte mappe di qualità dell’acqua nella zona eupotica (Clorofilla-a, Solidi Sospesi Totali, CDOM, bloom di cianobatteri superficiali) da immagini satellitari (MERIS e MODIS) (circa 50 per anno) e dal 2014 vengono prodotte mappe da immagini satellitari Sentinel-2 e Sentinel-3 (Bresciani *et al.* 2011; Bresciani *et al.* 2018). Sono inoltre prodotte mappe di temperatura superficiale da dati Landsat e mappe del substrato colonizzato da macrofite (Bresciani *et al.* 2012) e mappe di vegetazione ripariale (Bresciani *et al.* 2009) derivate da sensori aviotrasportati (es. MIVIS) e da sensori ad elevata risoluzione spaziale (es. RapidEye, WordView).

La stazione è utilizzata dal CNR-IREA come area di test per le attività di calibrazione / validazione dei dati satellitari, per questo fine ogni anno si effettuano campagne di misura di raccolta di dati *in situ* relative alle proprietà ottiche apparenti dell’acqua (radianza/irradianza e riflettanza) della superficie e colonna d’acqua, proprietà ottiche inerenti (assorbimenti e backscattering), campionamenti limnologici (concentrazioni di Clorofilla-a, Solidi Sospesi Totali, Trasparenza, Conducibilità, Temperatura) parametri biofisici e morfologici della macrofite e dei canneti.



Fig. 18 - Penisola di Sirmione acquisita dal satellite WordView-2 il 4 luglio 2018 (DigitalGlobe)

Nel 2014 è stato installato il Fotometro CIMEL presso il Museo delle Grotte di Catullo, il fotometro è inserito nella rete mondiale AERONET e misura in continuo la radiazione incidente da cui stima le concentrazioni di aerosol, ozono, vapore acqueo e permette di derivare le proprietà ottiche degli aerosol atmosferici.

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano la valutazione delle modificazioni spaziali e temporali della qualità dell'acqua superficiale in relazione alle variabili ambientali; la valutazione delle dinamiche di presenza ed abbondanza delle macrofite acquatiche e l'impatto delle pratiche di gestione (taglio) sulla crescita e sullo stato delle aree a canneto.

Risultati

Le attività di ricerca degli ultimi 5 anni si sono inserite all'interno di differenti progetti nazionali e internazionali. In particolare, il progetto FP-7 GLASS (Global Lakes Sentinel Services) attivo dal 2013 al 2016 e il progetto H2020 EOMORES (Earth Observation based services for Monitoring and Reporting of Ecological Status) in corso dal 2016 hanno e stanno permettendo la continua produzione di mappe tematiche con differenti sensori satellitari grazie ad accurati processi d'elaborazione d'immagini comprensivi di modelli di trasferimento radiativo dedicati sia alla componente atmosferica sia alla componente acquatica.

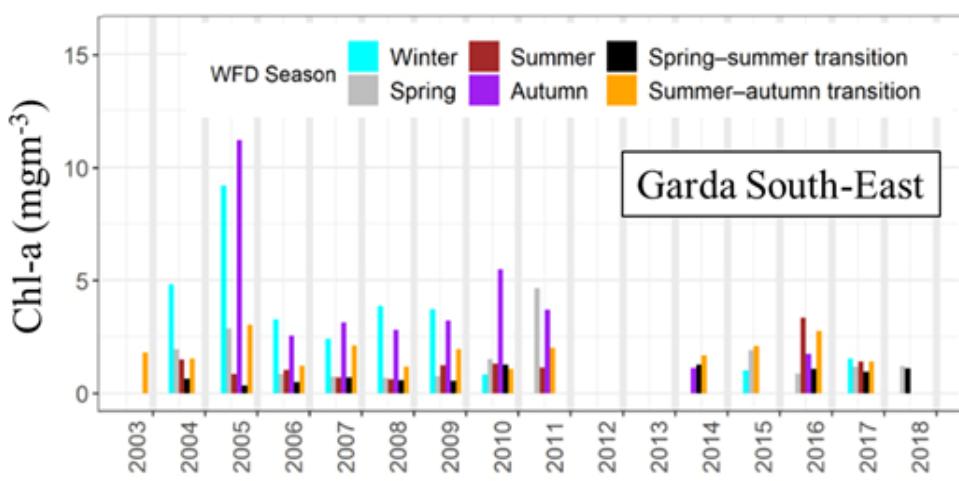


Fig. 19 - Concentrazioni medie di Clorofilla-a, per la zona eufotica della colonna d'acqua nell'area sud-est (Padenghe-Sirmione) del Lago di Garda, raggruppate nei sei periodi di campionamento della WFD ottenute da immagini satellitari nel periodo 2003-2018 (@CNR-IREA)

giudizio di qualità delle acque in accordo con le tempistiche di campionamento fornite dalla WFD, i risultati per la zona sud-est del basso Garda (Padenghe-Sirmione) sono visibili nella Fig. 19.

All'interno del progetto BLASCO (Blending LABoratory and Satellite techniques for detecting Cyanobacteria), finanziato da Fondazione CARIPLO, le attività di ricerca si sono focalizzate sull'individuazione delle fioriture superficiali di cianobatteri (Bresciani *et al.* 2017). L'implementazione di algoritmi e l'analisi temporale ha permesso d'identificare le fioriture attraverso l'utilizzo d'immagini satellitari d'ultima generazione.

L'analisi delle mappe prodotte ha permesso di identificare fenomeni di fioritura superficiale di cianobatteri che hanno avuto luogo con dinamiche estremamente rapide come evidenziato nelle mappe di Fig. 20 in cui è stato possibile individuare un'intensa fioritura superficiale di *Dolichospermum lemmermannii* verificatasi nell'agosto del 2016 (Bresciani *et al.* 2018).

Dall'analisi di oltre 1 milione di pixel è emerso come la concentrazione media di Clorofilla-a delle acque superficiali del lago di Garda sia risultata di $1,18 \text{ mg m}^{-3}$; l'analisi effettuata con il Seasonal Kendall test per oltre 200 mappe per il periodo 2003-2018 ha evidenziato una Media di Sen Slope di 0.053 mg m^{-3} .

Tutti i prodotti di Clorofilla-a ottenuti sono stati aggregati al fine di fornire un

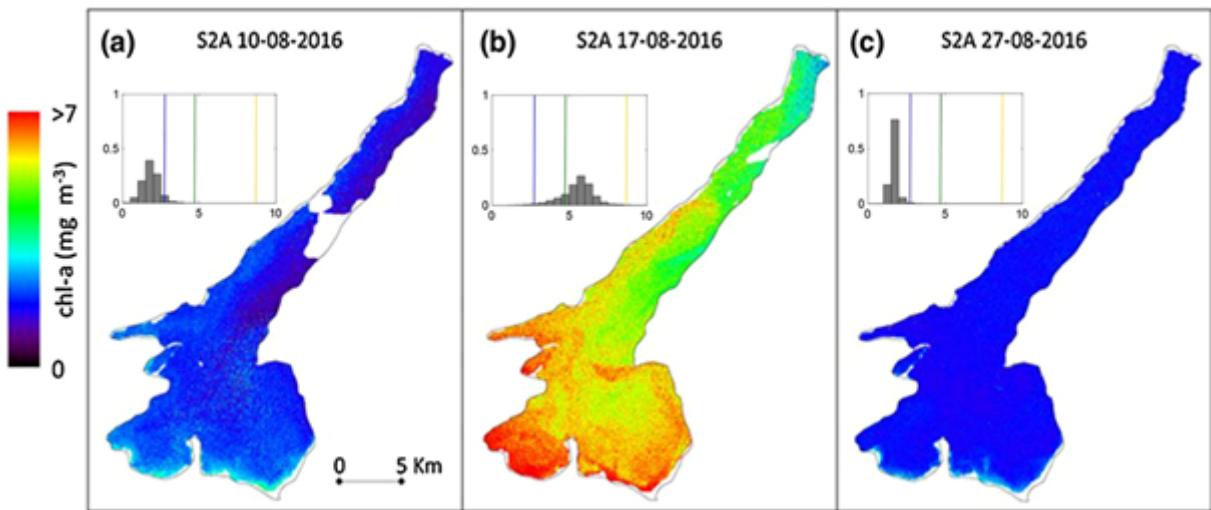


Fig. 20 - Mappe di concentrazioni di Clorofilla-a ottenute da immagini Sentinel-2.
Nei grafici sono rappresentati il numero di pixel in frazione percentuale distribuiti in base ai valori della concentrazione di Clorofilla-a.
Le linee verticali colorate rappresentano i limiti di qualità indicati dalla WFD

I progetti CLAM-PHYM (Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA HYperspectral Mission) (2011-2015) dell’Agenzia Spaziale Italiana e il progetto FP-7 INFORM (Improved monitoring and forecasting of ecological status of European INland waters by combining Future earth ObseRvation data and Models) (2014-2017) hanno permesso di implementare differenti algoritmi dedicati alla stima dei parametri di qualità dell’acque, alla correzione atmosferica dei dati e a modelli bio-ottici per la caratterizzazione delle macrofite sommerse e la batimetria nella fascia costiera (Giardino *et al.* 2012; Giardino *et al.* 2014; Cazzaniga *et al.* 2019).

Recentemente, all’interno del progetto H2020 SPACE-O (Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services) conclusosi nel 2018, il CNR-IREA ha prodotto mappe del tasso di evaporazione (Fig. 21) da dati Landsat-8 del Lago di Garda utili ai fini della stima del bilancio idrologico.

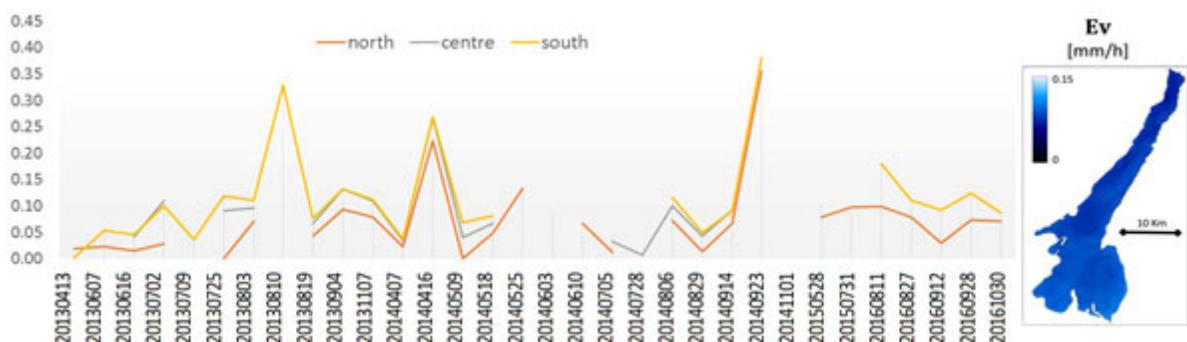


Fig. 21 - Andamento dei valori di Evaporazione per il periodo 2013-2016
dell’intera superficie del lago di Garda ottenuti da dati Landsat-8 (@CNR-IREA)

Le attività di ricerca sono state svolte in collaborazione con numerosi enti di Ricerca Nazionali ed Internazionali. Le attività della stazione sono state oggetto di tesi di laurea e dottorato, svolte in collaborazione con Università italiane. Numerose sono inoltre le attività di formazione, tra cui la Summer School “SENTINEL FOR WATER RESOURCES” dell’Associazione Italiana di Telerilevamento tenutasi dal 18 al 22 Settembre 2017 presso la Stazione Sperimentale a cui hanno partecipato circa 20 studenti provenienti da istituti italiani e internazionali.

La stazione è stata sede il 1 luglio 2016 di una tappa nei Cammini LTER Terramare – “Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna”.

Prospettive future

Le attività di calibrazione e validazione si intensificheranno grazie al recente progetto H2020 HYPERNETS (A new hyperspectral radiometer integrated in automated networks of water and land bidirectional reflectance measurements for satellite validation) che permetterà di avere *in situ* uno spetroradiometro che misurerà in continuo le proprietà ottiche apparenti delle acque nel basso Lago di Garda. Inoltre la Stazione sperimentale di Sirmione è stata inserita come sito test per la calibrazione / validazione delle future immagini satellitari iperspettrali del sensore PRISMA dell’Agenzia Spaziale Italiana, lanciato a fine febbraio 2019. Le immagini iperspettrali PRISMA hanno il grande vantaggio di poter permettere stime ancora più accurate dei parametri di qualità delle acque e di permettere stime quantitative dei pigmenti secondari fitoplanctonici e la separazione delle componenti organiche ed inorganiche del materiale in sospensione nella zona superficiale della colonna d’acqua.

Oltre alle attività di calibrazione e validazione, e alla prosecuzione della generazione di mappe di qualità delle acque e di mappe di caratterizzazione del fondale delle zone costiere, le ricerche previste nel prossimo futuro si focalizzeranno sull’analisi biofisica del segnale di fluorescenza indotto dalla luce solare in ambienti acquatici interni tramite l’integrazione di misure radiometriche iperspettrali e fluorimetriche da misure di campo, di laboratorio e modellistica del trasferimento radiativo.

Inoltre, tutti i dati ad oggi prodotti, integrati con le misure *in situ*, saranno elementi di analisi all’interno del progetto ESA LAKE ECV, recentemente finanziato, per la valutazione dei cambiamenti climatici in corso.

Abstract

The Experimental Station “Eugenio Zilioli” is an important support unit of CNR-IREA for all research activities focused on remote sensing of water quality and for developing the applications interesting the Lake Garda region. This small experimental station is located north of the peninsula of Sirmione in Lake Garda. Since 2000, the Station collaborates with the Environmental Unit of the Municipality of Sirmione (CRA) for promoting education and divulgation activities in the field of remote sensing of the environment. This venue hosts the scientific activities related to the research projects on remote sensing of lakes, in particular activities related to calibration and validation of satellite processing and algorithms development. Since 2003, maps of the surface water quality from different satellite sensors are regularly produced. Furthermore, macrophytes and bathymetry maps are produced from airborne and high spatial resolution images. Since 2014, the station is part of the NASA AERONET Site. Moreover, environmental monitoring actions for the management of common reeds in southern Lake Garda and educational activities involving hundreds of students from middle and high schools have been carried out.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il Comune di Sirmione, il Museo delle Grotte di Catullo e il Polo Museale Regionale della Lombardia per la collaborazione. Inoltre, si ringraziano Ilaria Cazzaniga, Monica Pinardi e Rossano Bolpagni per le attività di campo svolte.

Lago d'Iseo

Autori

Barbara Leoni, Valentina Soler, Martina Patelli, Veronica Nava

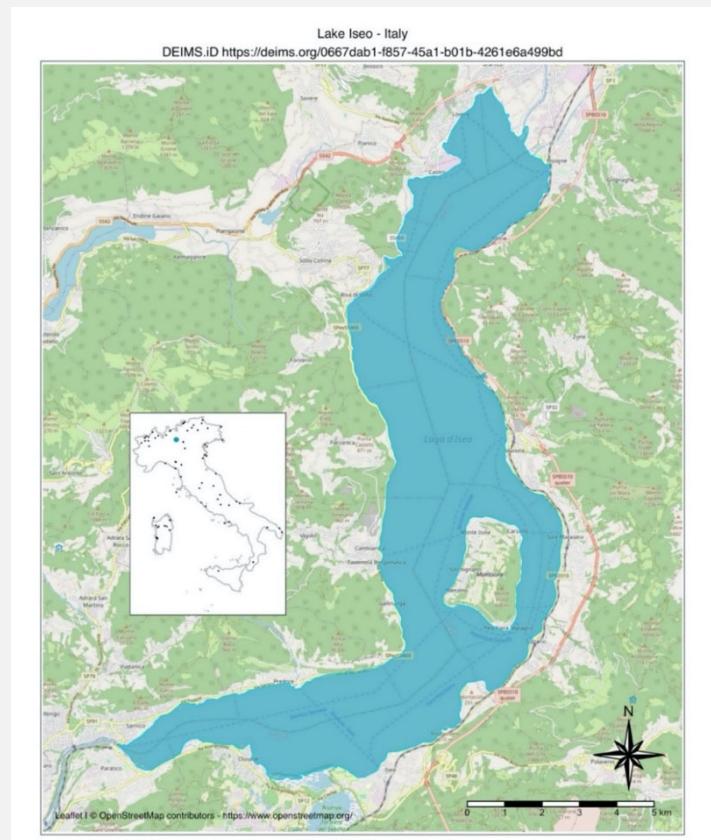
Affiliazione

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Università degli Studi di Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, I 20126 Milano

Sigla: IT08-006-A

Responsabile Sito: Barbara Leoni

DEIMS.ID: <https://deims.org/0667dab1-f857-45a1-b01b-4261e6a499bd>



Coordinate geografiche (deims.id): 45,722 N; 10,0679 E
Localizzazione: Regione Lombardia
Altitudine: 186 m s.l.m.
Area lago: 65 km²
Area bacino imbrifero: 1800 km²
Perimetro: 60 km
Profondità media e massima: 124 m e 251 m
Volume: 7,57×10⁹ m³

Tempo teorico di ricambio idrico: > 20 anni
Stato trofico: meso-eutrofo
Status di protezione: Riserva Naturale Regionale Orientata “Torbiere del Sebino” IT 2070020 SIC/2PS. Appartenenza ad altre reti di monitoraggio/ricerca: Rete di monitoraggio nazionale ai sensi del Decreto legislativo 152/2006 e del DM 260/2010, Rete Natura 2000.
Tematiche di ricerca: evoluzione dello stato trofico; dinamiche dei popolamenti planctonici; effetti dei cambiamenti climatici su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche; indagini paleo-limnologiche.

Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 22 - Stazione di campionamento del Lago d'Iseo, centro lago (Foto B. Leoni)

Il Lago d'Iseo (Figg. 22 e 23) è posto ai piedi delle Alpi e alla fine della valle Camonica (182 m sul livello del mare), tra le Province di Bergamo e Brescia (Regione Lombardia). Il principale immissario ed emissario è il Fiume Oglio.

Il Lago di Iseo è per importanza il quarto fra i grandi laghi del distretto lacustre subalpino. È di grande rilevanza per scopi idrici (uso potabile, agricolo e industriale) in quanto

collocato in un'area densamente popolata e produttiva, e di notevole interesse turistico e ricreativo.

La prima indagine multidisciplinare sul Lago di Iseo venne realizzata tra il 1971 e il 1972. In tale studio furono rilevate informazioni dettagliate sulle caratteristiche chimiche e fisiche delle acque, sulla struttura e composizione delle comunità biologiche, oltre a stime riguardanti i carichi di nutrienti e indagini sugli aspetti geografici, geologici e climatici del lago e del suo bacino imbrifero. A partire dagli anni '70, una serie di campionamenti a frequenza annuale, svolti a cura del CNR di Verbania, sono stati effettuati in corrispondenza del periodo di massimo mescolamento primaverile (marzo). Le ricerche LTER con frequenza mensile sull'Iseo sono iniziate nel 1992. Il primo periodo della ricerca è stato coordinato dalla Dott.ssa Letizia Garibaldi dell'Università degli Studi di Milano. Dal 1999 le attività sono invece condotte dal gruppo di Ecologia e gestione delle acque interne dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca (<http://www.disat.unimib.it/>).

La stazione limnologica principale del Lago d'Iseo è posta in corrispondenza del punto di massima profondità, al centro del transetto fra il Comune di Tavernola (Bergamo) e quello di Siviano (Monte Isola – Brescia). Per ricerche specifiche sono state prese in esame, per periodi limitati, anche altre stazioni di campionamento. I campionamenti per le indagini limnologiche sono svolti con frequenza mensile dal gruppo di Ecologia e gestione delle acque interne dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca e considerano diverse profondità lungo la colonna d'acqua (superficie, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250 m). I dati a lungo termine comprendono dati di limnologia fisica (termica lacustre, trasparenza, profondità di mescolamento), idrochimica del lago (pH, conducibilità, alcalinità, principali anioni e cationi, nutrienti, ossigeno dissolto), clorofilla, fitoplancton, zooplancton.

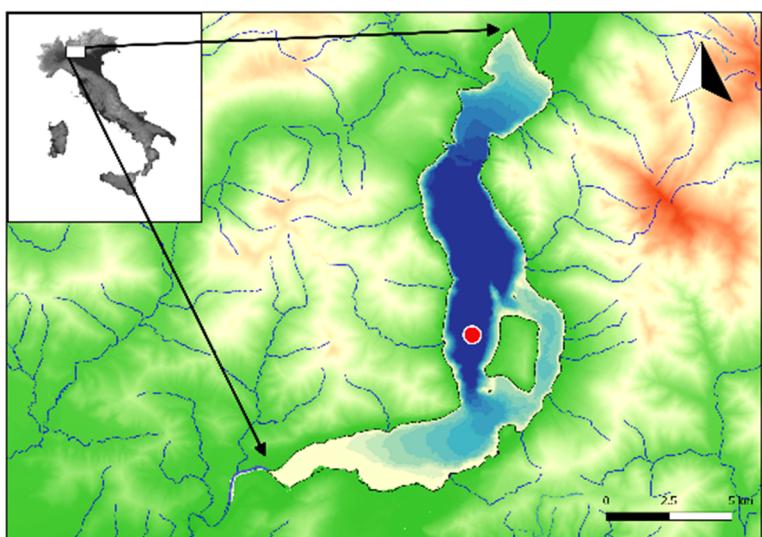


Fig. 23 - Lago d'Iseo - stazione di campionamento e batimetria (Nava et al. 2017)

A questi dati si sono nel tempo affiancate ulteriori indagini, tra cui l'idrochimica dei tributari, lo studio della fauna ittica e del bacterioplancton (in collaborazione con Fondazione Edmund Mach e CNR Verbania), l'identificazione dei meccanismi ambientali e biotici che favoriscono lo sviluppo dei cianobatteri; l'identificazione di ceppi tossici di cianobatteri (geni codificanti cianotossine) e la misura delle concentrazioni di epato- e neurotossine e il loro impatto sullo spettro di utilizzo della risorsa acqua (in collaborazione con Fondazione Edmund Mach). Dal 2014 il monitoraggio del popolamento zooplanctonico è stato affiancato da analisi isotopiche per lo studio delle reti trofiche. Inoltre, nell'ambito delle ricerche sulle sostanze pericolose vengono considerati alcuni contaminanti in organismi indicatori (zooplankton, pesci – in collaborazione con l'Università degli Studi dell'Insubria).

Le principali tematiche di ricerca LTER affrontate nel sito riguardano l'evoluzione dello stato trofico, le dinamiche dei popolamenti planctonici, gli effetti dei cambiamenti climatici su idrologia, termica lacustre, idrochimica e comunità biologiche, la paleolimnologia e modelli ecologici.

Risultati

Dagli anni '70 del secolo scorso il lago ha mostrato un progressivo deterioramento della qualità delle acque dovuto all'eutrofizzazione. Le concentrazioni medie di fosforo totale sono passate da poco più di $10 \mu\text{g P L}^{-1}$ nel 1967, a $25-35 \mu\text{g P L}^{-1}$ negli anni 1975-1985 fino a $60 \mu\text{g P L}^{-1}$ negli anni 2000.

L'aumento di fosforo ha avuto profonde ripercussioni sulle caratteristiche fisiche e biologiche, determinando una diminuzione della trasparenza delle acque, un aumento di biomassa algale e un aumento, in particolare, dei cianobatteri (*Planktothrix*) anche sotto forma di fioriture dovute a *Dolichospermum* (= *Anabaena*) *lemmermannii* (Garibaldi *et al.* 2003). I cambiamenti climatici in corso hanno da una parte enfatizzato gli impatti antropici già sussistenti e dall'altra hanno determinato una serie di conseguenze sia dirette che indirette sulle dinamiche lacustri. Uno dei principali effetti dell'aumento delle temperature è la diminuzione della frequenza degli eventi di circolazione profonda tardo-invernale. Considerando come arco temporale gli ultimi 25 anni, si è assistito ad un completo mescolamento della colonna d'acqua solo negli anni 2005-2006, mentre negli anni più recenti il rimescolamento ha interessato non più del 20% della colonna d'acqua. Il rarefarsi degli eventi di piena circolazione porta ad un accumulo di sostanza organica nell'ipolimnio profondo e conseguentemente allo sviluppo di condizioni ipossiche, con concentrazioni medie di ossigeno pari a $0,6 \text{ mg L}^{-1}$ tra i 200 e i 245 m di profondità (Fig. 24). Anche in seguito al rimescolamento completo della colonna d'acqua avvenuto nel 2005-2006 non è stata registrata una completa ossigenazione delle acque profonde, in quanto è stata rilevata sul fondo una ricarica massima di ossigeno pari al 63%. Situazioni di mancanza di ossigeno possono essere tuttavia osservate anche fino a spessori di acqua di 75 m di profondità. Eventi di circolazione limitati agli strati superficiali portano in ipolimnio alla formazione di composti tossici e all'accumulo di ioni, tra cui quelli di fosforo e di azoto. Nonostante i fenomeni di circolazione poco profonda riducano l'apporto di fosforo dagli strati più profondi, le concentrazioni di fosforo in epilimnio risultano ugualmente elevate (Fig. 25) (Leoni *et al.* 2014). Per tale motivo il Lago di Iseo può essere classificato come un lago meso-eutrofo.

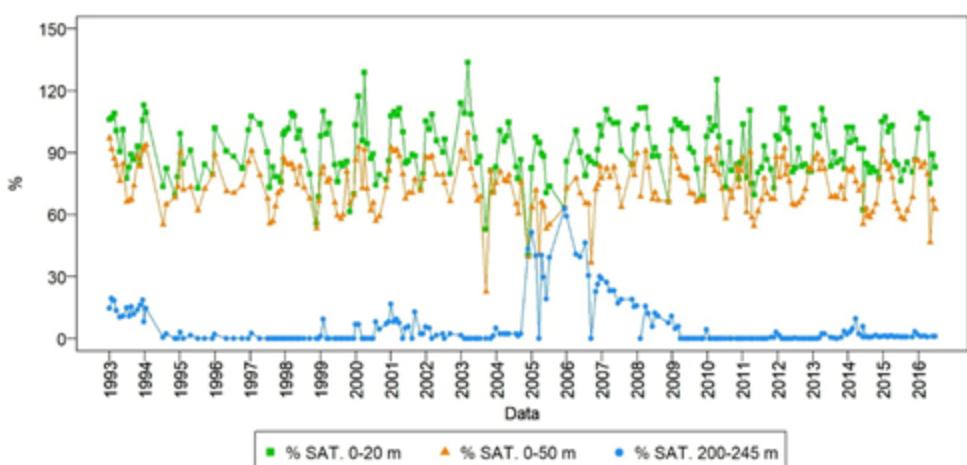


Fig. 24 - Serie a lungo termine (1993-2016) della percentuale di saturazione di ossigeno dissolto negli strati superficiali (media tra 0 e 20 m e tra 0 e 50 m) e negli strati più profondi (media tra 200 e 245 m)

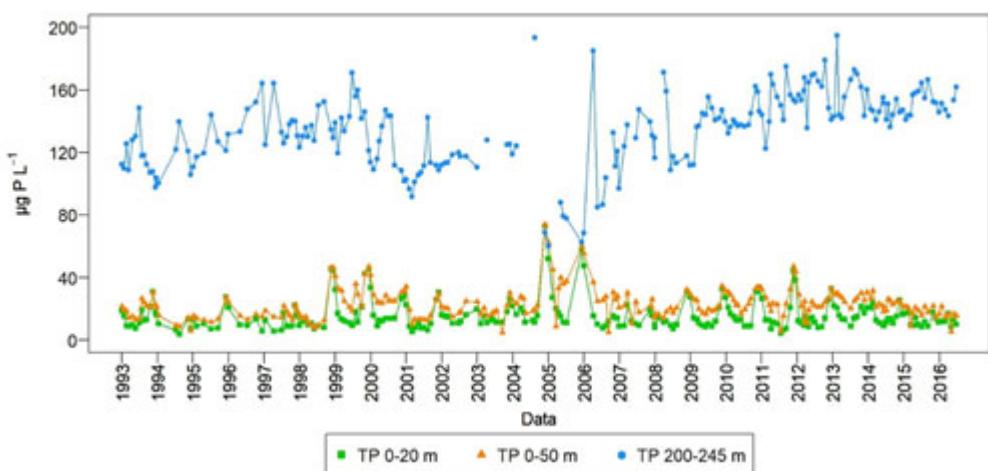


Fig. 25 - Serie a lungo termine (1993-2016) della concentrazione di fosforo totale negli strati superficiali (media tra 0 e 20 m e tra 0 e 50 m) e negli strati profondi (media tra 200 e 245 m)

La disponibilità del fosforo e l'aumento delle temperature superficiali, a cui si sta assistendo in conseguenza alle variazioni climatiche, hanno determinato un incremento e una variazione nella composizione specifica della comunità fitoplanctonica. In tempi recenti, infatti, è stata osservata la proliferazione di popolazioni di cianobatteri criptogenetici potenzialmente tossici, che negli anni precedenti non popolavano il Lago d'Iseo (e.g. *Tychonema bourrellyi*) (Nava *et al.* 2017). La comunità zooplanktonica, composta sia da consumatori primari (si nutrono di alghe) che da consumatori secondari (predatori), presenta delle alterazioni nei propri cicli che possono essere ricondotte alle variazioni meteo-climatiche (Leoni *et al.* 2018). Quest'ultime possono essere efficacemente descritte dagli indici di teleconnessione, che descrivono ricorrenti e persistenti anomalie di circolazione tra due distanti aree geografiche. Tra i molti indici presenti, i modelli di variabilità climatica più adatti a descrivere l'area mediterranea sono l'*East Atlantic pattern* (EA) e l'*Eastern Mediterranean Pattern* (EMP). Valori di EA negativi, corrispondenti a EMP positivi, indicano inverni più freddi e di conseguenza un'inferiore temperatura dell'acqua, con una maggiore probabilità di rimescolamento profondo. Tali indici sembrano innescare un effetto a cascata

sulla rete trofica pelagica, con variazioni nella comunità fitoplanctonica, che a sua volta influenza la fenologia della comunità zooplanctonica.

In conclusione, gli studi condotti ad oggi sul Lago di Iseo hanno permesso di caratterizzare nel dettaglio tale ambiente e di acquisirne una conoscenza approfondita. Un approccio integrato, che consideri le differenti componenti biologiche e al contempo le diverse caratteristiche chimico-fisiche, è di fondamentale importanza al fine di comprendere la complessità propria di tale ecosistema. In tale contesto dati che coprono un esteso intervallo temporale forniscono informazioni fondamentali per individuare l'evoluzione e prevedere gli sviluppi futuri degli ambienti lenti, i quali rispondono alle mutate pressioni antropiche e fungono da "sentinelle" per le variazioni climatiche su scale temporali ampie. Tali informazioni hanno un valore fondamentale non solo nel contesto della ricerca scientifica di base ma anche nella corretta e adeguata gestione della risorsa ambientale.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

La attività di ricerca degli ultimi anni si sono inserite all'interno di differenti progetti, principalmente tramite i finanziamenti ordinari dell'Ateneo (FA-UNIMIB).

Il Lago Iseo è sito di ricerca nell'ambito del progetto CARIPLO 2016-2018 'Lake, stream and groundwater modeling to manage water quantity and quality in the system of Lake Iseo-Oglio River' responsabile della ricerca dr. B. Leoni. Sono stati avviati degli studi modellistici per simulare gli effetti dei cambiamenti climatici sulle dinamiche di mescolamento del lago, in particolare l'evoluzione della frequenza del mescolamento invernale e la durata dei periodi di stratificazione. Le simulazioni sono volte anche a comprendere l'effetto della diminuzione della profondità di mescolamento del lago sulla distribuzione dell'ossigeno, sui nutrienti e sulle fioriture algali.

Inoltre, sono in atto studi relativi alla migliore comprensione della rete trofica pelagica anche mediante l'utilizzo degli isotopi stabili, i cui risultati potranno essere utili per l'analisi della distribuzione dei contaminanti nel comparto biologico, e studi relativi al ciclo delle microplastiche sia nella colonna d'acqua sia nei sedimenti.

Attività di divulgazione, formazione

I risultati ottenuti nell'ambito delle ricerche scientifiche sono stati oggetto, oltre che di pubblicazioni scientifiche anche di numerose comunicazioni e poster presentati in congressi nazionali e internazionali, e di numerosi seminari, rivolti alle classi di scuole superiori e alla cittadinanza. Sempre nell'ambito di attività didattiche rivolte a studenti di scuole superiori sono state organizzate attività di campo per illustrare le principali metodiche di campionamento. Le attività sono state svolte con il fondamentale supporto di numerosi studenti di laurea e dottorato (cf. Bibliografia).

Prospettive future

Le ricerche future sul Lago d'Iseo prevedono la prosecuzione delle indagini volte a stabilire l'impatto dei cambiamenti climatici e degli impatti antropici sull'ecosistema lago, sui parametri idrochimici e sulle comunità biotiche, poiché i risultati ottenuti dall'analisi dei dati a lungo termine indicano come lo stato ecologico attuale del lago sia il risultato di un delicato equilibrio tra il controllo imposto dai fattori meteoclimatici e quello legato alla pressione antropica che ancora grava sull'ecosistema. Le ricerche si concentreranno sull'interazione tra diversi fattori di perturbazione come: apporto di nutrienti dal bacino; alterazioni idro-morfologiche; introduzione di plastiche e microplastiche in grado di alterare la rete trofica e compromettere la qualità delle acque lacustri. Gli studi paleolimnologici, inoltre, permetteranno di approfondire e studiare da un'altra prospettiva queste tematiche.

Abstract

Lake Iseo is a deep subalpine lake (surface area 60.9 km², max depth 258 m, volume 7.6 km³) located in Lombardy region, Italy. It lies in the foothills of the Alps (190 m a.s.l.) at the end of a prealpine valley,

Val Camonica. The inflow and outflow of water in the lake are from the River Oglio, which passes through the lake. Lake Iseo underwent eutrophication since the 1970s; over the past 40 years, the increase in nutrient loadings brought the lake to a meso-eutrophic condition, with average concentration of total phosphorus of $60 \mu\text{g P L}^{-1}$. Regular monthly studies on Lake Iseo have been established in 1992 by Dr. Letizia Garibaldi, University of Milan and from 1999, still on going, by the group of Freshwater ecology and management, University of Milano-Bicocca (<http://www.disat.unimib.it/>). The sampling station is located in the centre of the lake, between the municipality of Tavernola (Bergamo) and Siviano (Monte Isola – Brescia), in correspondence of the deepest point. Physical, chemical and biological long-term data are regularly monitored through the collection of water samples at discrete depths and of phytoplankton and zooplankton samples. The main research topics regarding this site are the evolution of the trophic status, the dynamic of phytoplankton and zooplankton, the effects of climate change on hydrology, thermal structure, water chemistry and biological communities, paleolimnology, and ecological modelling.

Ringraziamenti

I dati a lungo termine per il Lago d'Iseo sono stati raccolti con la collaborazione della Polizia Provinciale di Brescia e di ARPA Brescia. Si ringrazia il prof. Pietro Fumagalli e la dott.ssa Morena Spreafico per la collaborazione nelle attività di campionamento e analisi dei dati. Infine, vogliamo esprimere i nostri più sinceri ringraziamenti ai numerosi studenti in tesi di laurea che hanno contribuito alla continuità della ricerca nel Lago d'Iseo.

Sitografia

<http://www.ise.cnr.it/lter/famecandia.htm>
www.parks.it/parco.lago.candia/

Bibliografia citata

- Ambrosetti W., Barbanti L. (1999). Deep water warming in lakes: An indicator of climatic change. *J. Limnol.* 58, 1-9. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.1999.1>.
- Ambrosetti W., Barbanti L., Mosello R., Rolla A. & Ruggiu D. (1983). Mescolamento, caratteristiche chimiche, fitoplancton e situazione trofica nei laghi profondi sudalpini. Collana P.F. Promozione della qualità dell'ambiente. CNR AQ/2/20.
- Babica P., Capelli C., Drobac D. & Gkelis S. (2017). Cyanobacterial blooms and toxins in water resources: Occurrence, impacts and management. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: Themed Issue-Cyanobacteria, 1-178.
- Barbanti L. (1974). Morfologia della conca lacustre In Gerletti, M. (ed), *Indagini sul Lago di Garda*. IRSA quaderni 18, Roma: 101-115.
- Barbanti L., Bonacina C., Bonomi G. & Ruggiu D. (1972). Lago d'Orta: situazione attuale e previsioni sulla sua evoluzione in base ad alcune ipotesi di intervento. Ed. Istituto Italiano di Idrobiologia, Pallanza: pp. 113.
- Baudo R. & Beltrami M. (2001). Chemical composition of Lake Orta sediments. *Journal of Limnology*, 60(2), 213-236.
- Baudo R., Occhipinti A., Nocentini A.M., Sabolla M. Benthos of Lake Orta (in the year 1996). *Journal of Limnology* 60, no. 2 (2001): 241-248.
- Bernard C., Ballot A., Thomazeau S., Maloufi S., Furey A., Mankiewicz-Boczek J., Pawlik-Skowronska B., Capelli C. & Salmaso N. (2017). Appendix 2. Cyanobacteria associated with the production of cyanotoxins In Meriluoto, J., L. Spoof, & G. A. Codd (eds), *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 501-525.
- Bertin F. & Bortoli A. (eds) (2009). Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian. ANSAC, Rome.
- Bettinetti R., Morabito G. & Provini A. (2000). Phytoplankton assemblage structure and dynamics as indicator of the recent trophic and biological evolution of the western basin of Lake Como (N. Italy). *Hydrobiologia*, 435: 177-190.
- Bonacina C. & Pasteris A. (2001). Zooplankton of Lake Orta after liming: an eleven years study. *Journal of Limnology*, 60(1), 101-109.
- Bonacina C., Bonomi G., Barbanti L., Mosello R. & Ruggiu D. (1988a). Recovery of an industrially acidified, ammonium and heavy metals polluted lake (Lake Orta, N. Italy), due to the adoption of treatment plants. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, 23, 535-544.
- Bonacina C., Calderoni A. & Mosello R. (1988b). Il Lago d'Orta: evoluzione dell'inquinamento e interventi diretti al recupero di uno dei più grandi laghi acidi del mondo. *Acqua Aria*, 20(1), 69-74.
- Bonacina C., Bonomi G. & Monti C. (1986). Oligochaete cocoon remains as evidence of past lake pollution. *Hydrobiologia*, 143, 395-400.
- Bonacina C., & Bonomi G. (1984). I grandiosi effetti ambientali determinati dalle prime fasi del disinquinamento del Lago d'Orta. *Documenta dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 2, pp. 24.
- Bonomi G., Calderoni A. & Mosello R. (1979). Some remarks on the recent evolution of the deep Italian subalpine lakes. *Symp. Biol. Hung.* 19: 87-111.
- Bonacina C. (1970). Il Lago d'Orta: ulteriore evoluzione della situazione chimica e della struttura della biocenosi lacustre. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 26, 141-204.

-
- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T., Buzzi F., Morabito G. and Giardino C. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia*, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3462-2>
- Bresciani M., Giardino C., Lauceri R., Matta E., Cazzaniga I., Pinardi M., Lami A., Austoni M., Viaggiu E., Congestri R. & Morabito G. (2016). Earth observation for monitoring and mapping of cyanobacteria blooms. Case studies on five Italian lakes. *Journal of Limnology*. Doi: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1565>. ISSN 1323-1650
- Bresciani M., Bolpagni R., Braga F., Oggioni A., Giardino C. (2012). Retrospective assessment of macrophytic communities in southern Lake Garda (Italy) from in situ and MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data, *Journal of Limnology*, vol. 71(1): 180-190.
- Bresciani M., Stroppiana D., Odermatt D., Morabito G., Giardino C. (2011). Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes, *Science of the Total Environment*, 409, 3083-3091.
- Boscaini A. (2009). Natural and anthropogenic loads of nutrients In Bertin, F., & A. Bortoli (eds), Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian. ANSAC, Roma: 51-63.
- Bresciani M., Stroppiana D., Montagna M., Fila G., Giardino C. (2009). Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy, *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2): 125-137.
- Buzzi F. (2002). Phytoplankton assemblages in two sub-basins of Lake Como. *J. Limnol.*, 61 (1): 117-128.
- Calderoni A., Tartari G.A. (2001). Evolution of the water chemistry of Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 60(1), 69-78.
- Calderoni A., Mosello R., Ruggiu D. (1992). Sixty years of limnology on Lago d'Orta: a case history of recovery from heavy pollution. In: Guilizzoni, P., Tartari, G., & Giussani, G., (Eds), *Limnology in Italy. Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 50, 201-224.
- Calderoni A., de Bernardi R., Mosello R. (1990). L'inquinamento del Lago d'Orta e suo risanamento mediante liming. *Inquinamento*, 32(11), 8-18.
- Callieri C., Corno G., Contesini M., Fontaneto D., Bertoni R. (2017). Transparent exopolymer particles (TEP) are driven by chlorophyll a and mainly confined to the euphotic zone in a deep subalpine lake. *Inland Waters* 7: 118.127.
- Callieri C., Bertoni R., Contesini M., Bertoni F. (2014). Lake level fluctuations boost toxic cyanobacterial "oligotrophic blooms". *PLoS One* 9, e109526.
- Capelli C., Cerasino L., Boscaini A. & Salmaso N. (2018). Molecular tools for the quantitative evaluation of potentially toxigenic *Tychonema bourrellyi* (Cyanobacteria, Oscillatoriales) in large lakes. *Hydrobiologia*, this issue. 824: 109-119.
- Capelli C., Ballot A., Cerasino L., Papini A. & Salmaso N. (2017). Biogeography of bloom-forming microcystin producing and non-toxigenic populations of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria). *Harmful Algae* 67: 1-12.
- Cappelletti C. & Ciutti F. (2017). Bivalvi alloctoni nel Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E. & Ciutti F. (2009). *Sinanodonta woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae): A new non-indigenous species in lake Garda (Italy). *Aquatic Invasions* 4: 685-688.
- Cattaneo A., Michèle D.E., Morabito G., Mosello R. & Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *Journal of Limnology*, 70(2), 177-185.
- Cazzaniga I., Bresciani M., Colombo R., Della Bella V., Padula R. and Giardino C. (2019). A comparison of Sentinel-3-OLCI and Sentinel-2-MSI-derived Chlorophyll-a maps for two large Italian lakes. *Remote Sensing Letters*, 10(10), 978-987.

-
- Cerasino L., Capelli C. & Salmaso N. (2017). A comparative study of the metabolic profiles of common nuisance cyanobacteria in southern perialpine lakes. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 22-32.
- Chiaudani G. & Premazzi G. (1993). Il Lago di Como. Condizioni ambientali attuali e modello di previsione dell'evoluzione delle qualità delle acque. Commissione delle Comunità Europee. EUR 15267 IT.: pp. 237.
- Chiaudani G. & Premazzi G. (1990). Il Lago di Garda. Evoluzione trofica e condizioni ambientali attuali. Commissione delle Comunità Europee, EUR 12925, Lussemburgo.
- Ciampittiello M., Volta P., Saidi H., Dresti C., Cerutti I., Zellino C. & Morabito G. (2017). Relazione finale sulle attività oggetto del contratto per il servizio di indagine limnologica sul lago e sulla palude di Candia – Report CNR-ISE, 01.17.
- Ciutti F., Cappelletti C. (2017). Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F., Flaim G., Beltrami M.E. & Cappelletti C. (2014). Non-indigenous fish fauna in Trentino lakes (Northern Italy). *Italian Journal of Freshwater Ichthyology* 192-201.
- Ciutti F., Beltrami M.E., Confortini I., Cianfanelli S. & Cappelletti C. (2011). Non-indigenous invertebrates, fish and macrophytes in Lake Garda (Italy). *Journal of Limnology* 70: 315-320.
- CNR-ISE, Sede di verbania (2016). Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2013-2015. Campagna 2015 e Rapporto triennale 2013-2015. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): pp. 146.
- CNR-ISE (2007). Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.).
- Corbella C., Tonolli V. & Tonolli L. (1958). I sedimenti del Lago d'Orta testimoni di una disastrosa polluzione cupro-ammoniacale. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 10, 9-50.
- D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M. & Salmaso N. (2011). Planktothrix populations in subalpine lakes: selection for strains with strong gas vesicles as a function of lake depth, morphometry and circulation. *Freshwater Biology* 56: 1481-1493.
- D'Ancona U., Mozzi C. & Merlo S. (1961). Ricerche limnologiche sul Lago di Garda. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 14: 838-845.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Teruggi A., Fontaneto D., Bertoni R., Callieri C., Corno G. (2015). Constitutive presence of antibiotic resistance genes within the bacterial community of a large subalpine lake. *Mol. Ecol.* 24, 3888-3900. <https://doi.org/10.1111/mec.13293>
- Eckert E.M., Di Cesare A., Coci M., Corno G. (2018). Persistence of antibiotic resistance genes in large subalpine lakes: the role of anthropogenic pollution and ecological interactions. *Hydrobiologia* 824, 93-108. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3480-0>
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittiello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Clim. Dyn.* 51, 10.1007/s00382-018-4094-6. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4094-6>
- Galanti G., Ciampittiello M., Cervelli S., De Bernardi R., Giussani G., Morabito G., Mosello R., Oggioni A., Riccardi N., Balestrini R., Salerno F., Tartari G., Farina R. (2004). Il controllo dell'eutrofizzazione attraverso la gestione integrata del lago e del suo bacino imbrifero. Studi ed esperienze nell'area di sperimentazione del Lago di Candia. Progetto MI.CA.RI. Strumenti e procedure per il miglioramento della capacità ricettiva di corpi idrici superficiali. Report CNR-ISE, 05.04: pp. 23.
- Galanti G., Guilizzoni P., Mangoni M., Nocentini A. & Piva A. (1991). A study on the littoral sediments and macrobenthos in connection with the harvesting of aquatic macrophytes in Lago di Candia (N.

-
- Italy). In: Giussani, G., Van Liere L. and Moss B. (Eds.), Ecosystem research in freshwater environment recovery. Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 48: 163-184.
- Galanti G., Guilizzoni P. & Libera V. (1990). Biomanipulation of Lago di Candia (Northern Italy): a three-year experience of aquatic macrophyte management. In: Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.-L. and van Donk E. (Eds.), Biomanipulation-Tool for Water Management. Hydrobiologia, 200/201: 409-417.
- Garibaldi L., Anzani A., Marieni A., Leoni B. & Mosello R. (2003). Studies on the phytoplankton of the deep subalpine Lake Iseo. Journal of Limnology 62, 177.
- Gerletti M. (ed) (1974). Indagini sul Lago di Garda. IRSA Quaderni 18, Roma.
- Giardino C., Bresciani M., Cazzaniga I., Schenk K., Rieger P., Braga F., Matta E., Brando V.E. (2014). Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. Sensors, 14: 24116-24131. ISSN: 1424-8220.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M. (2012). BOMBER: A tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images. Computers & Geosciences, 45:313-318.
- Giussani G., Galanti G., De Bernardi R., Morabito G., Mosello R., Oggioni A., Riccardi N., Cerutti I., Pranzo A., Tartari G.A. (2004). Messa a punto di ecotecnologie interne al corpo idrico per mitigare gli effetti dell'eutrofizzazione e per aumentare le sue capacità ricettive nei confronti di agenti eutrofizzanti. Lago di Candia. Progetto MI.CA.RI. Strumenti e procedure per il miglioramento della capacità ricettiva di corpi idrici superficiali Report CNR-ISE, 03.04: pp. 56.
- Giussani G., de Bernardi R. & Ruffoni T. (1990). Three years of experience in biomanipulating a small eutrophic lake: Lago di Candia (Northern Italy). In: Gulati R.D., Lammens E.H.R.R., Meijer M.-L. and van Donk E. (Eds.), Biomanipulation-Tool for Water Management. Hydrobiologia, 200/201: 357-366.
- Guilizzoni P., Levine S.N., Manca M. et al. (2012). Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. JOURNAL OF LIMNOLOGY 71:1-22. DOI: 10.4081/jlimnol.2012.e1
- Guilizzoni P., Lami A., Marchetto A., Appleby P.G., Alvisi F. (2001). Fourteen years of palaeolimnological research of a past industrial polluted lake (L. Orta, Northern Italy): an overview. Journal of Limnology 60(2), 249-262.
- Guzzella L.M., Novati S., Casatta N., Roscioli C., Valsecchi L., Binelli A., Parolini M., Solcà N., Bettinetti R., Manca M., Mazzoni M., Piscia R., Volta P., Marchetto A., Lami A., Marziali L. (2018). Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. Hydrobiologia 824(1), 271-90. DOI: 10.1007/s10750-017-3494-7
- Kokociński M., Akçaaalan R., Salmaso N., Stoyneva-Gärtner M.P. & Sukenik A. (2017). Expansion of Alien and Invasive Cyanobacteria. In Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (eds), Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis. Wiley, Chichester: 28-39.
- Lami A., Marchetto A., Lo Bianco R. et al. (2000). The last ca 2000 years palaeolimnology of Lake Candia (N. Italy): inorganic geochemistry, fossil pigments and temperature time-series analyses. Journal of Limnology 59:31-46.
- Leoni B., Nava V. & Patelli M. (2018). Relationships among climate variability, Cladocera phenology and the pelagic food web in deep lakes in different trophic states. Marine and Freshwater Research, 69(10), 1534-1543.
- Leoni B., Garibaldi L. & Gulati R. (2014). How does interannual trophic variability caused by vertical water mixing affect reproduction and population density of the *Daphnia longispina* group in Lake Iseo, a deep stratified lake in Italy? Inland Waters 4, 193-203.

-
- Lopez-Soriano J., Quiñonero-Salgado S., Cappelletti C., Faccenda F. & Ciutti F. (2018). Unraveling the complexity of Corbicula clams invasion in Lake Garda (Italy). *Advances in Oceanography and Limnology* 9: 97–104.
- Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>
- Manca M., Rogora M. & Salmaso N. (2014). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology* 74: 123-132.
- Manca M. & Comoli P. (1995). Temporal variations of fossil Cladocera in the sediments of Lake Orta (N. Italy) over the last 400 years. *Journal of Paleolimnology*, 14(2), 113-122.
- Mantzouki E., Campbell J., Van Loon E., Visser P., Konstantinou I., Antoniou M., Giuliani G., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Maronić D.Š., Stević F., Pfeiffer T.Ž., Vučelić I.B., Žutinić P., Udovič M.G., Plenković-Moraj A., Tsiarta N., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Christoffersen K.S., Warming T.P., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Kangro K., Häggqvist K., Salmi P., Arvola L., Fastner J., Straile D., Rothhaupt K.O., Fonvielle J., Grossart H.P., Avagianos C., Kaloudis T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Gkelis S., Panou M., McCarthy V., Perello V.C., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Koreivienė J., Karosiene J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Haande S., Skjelbred B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Nawrocka L., Kobos J., Mazur-Marzec H., Alcaraz-Párraga P., Wilk-Woźniak E., Krztoń W., Walusiak E., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwieck M., Pęczuła W., Napiórkowska-Krzebietke A., Dunalska J., Sieńska J., Szymbański D., Kruk M., Budzyńska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyasz B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokociński M., Madrecka B., Kostrzevska-Szlakowska I., Frąk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Ochocka A., Pasztalenie A., Jasser I., Antão-Geraldes A.M., Leira M., Hernández A., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Aleksovski B., Krstić S., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Remec-Rekar S., Elerse T., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrubia T., Obrador B., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Úbeda B., Gálvez J.Á., Marcé R., Catalán N., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Cillero-Castro C., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Özen A., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Verspagen J.M.H., De Senerpont Domis L.N., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Lürling M., Maliaka V., Faassen E.J., Latour D., Carey C.C., Paerl H.W., Torokne A., Karan T., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Çelik K., Özhan K., Karakaya N., Koçer M.A.T., Yılmaz M., Maraşlıoğlu F., Fakioglu Ö., Soylu E.N., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkin K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Alp M.T., Özkan K., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Richardson J., Edwards C., Bergkemper V., O'leary S., Beirne E., Cromie H. & Ibelings B.W. (2018a). A European Multi Lake Survey dataset of environmental variables, phytoplankton pigments and cyanotoxins. *Scientific Data* Nature Publishing Group 5: 180226.
- Mantzouki E., Lürling M., Fastner J., de Senerpont Domis L., Wilk-Woźniak E., Wilk-Woźniak E., Koreivienė J., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Krztoń W., Walusiak E., Karosiene J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Cillero-Castro C., Budzynska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyasz B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokociński M., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Karakaya N., Häggqvist K., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Özhan K., Gkelis S., Panou M., Fakioglu Ö., Avagianos C., Kaloudis T., Çelik K., Yılmaz M., Marcé R., Catalán N., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Antoniou M.G., Tsiarta N., McCarthy V., Perello V.C., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkin K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal

R., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Richardson J., Visser P.M., Verspagen J.M.H., Karan T., Soylu E.N., Maraşoğlu F., Napiórkowska-Krzelbietke A., Ochocka A., Pasztaleniec A., Antão-Geraldes A.M., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Špoljarić Maronić D., Stević F., Žuna Pfeiffer T., Fonvielle J., Straile D., Rothhaupt K.O., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Kočer M.A.T., Alp M.T., Remec-Rekar S., Elersek T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Haande S., Skjelbred B., Madrecka B., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Edwards C., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Aleksovski B., Krstić S., Vučelić I.B., Nawrocka L., Salmi P., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Úbeda B., Gálvez J.Á., Özén A., Christoffersen K.S., Warming T.P., Kobos J., Mazur-Marzec H., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Arvola L., Alcaraz-Párraga P., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwiecki M., Pęczula W., Leira M., Hernández A., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballera R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Kostrzewska-Szlakowska I., Jasser I., Žutinić P., Gligora Udovič M., Plenković-Moraj A., Frąk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Özkan K., Maliaka V., Kangro K., Grossart H.P., Paerl H.W., Carey C.C. & Ibelings B.W. (2018b). Temperature effects explain continental scale distribution of cyanobacterial toxins. *Toxins* 10: 156.

Marchesoni V. (1952). Ricerche orientative sulla microflora pelagica del Garda. *Studi Trentini Scienze Naturali, Acta Biologica* 29: 85-109.

Marchetto A. & Bettinetti R. (1995). Reconstruction of the phosphorus history of two deep, subalpine Italian lakes from sedimentary diatoms, compared with long-term chemical measurements. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 53:27-38.

Meriluoto J., Blaha L., Bojadzija G., Bormans M., Brient L., Codd G.A., Drobac D., Faassen E.J., Fastner J., Hiskia A., Ibelings B.W., Kaloudis T., Kokocinski M., Kurmayer R., Pantelić D., Quesada A., Salmaso N., Tokodi N., Triantis T.M., Visser P.M. & Svirčev Z. (2017a). Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in European waters – recent progress achieved through the CYANOCOST Action and challenges for further research. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 161-178.

Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (2017b). *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester.

Merlo S., Mozzi C., D'Ancona U., Mozzi C. & Merlo S. (1961). Ricerche limnologiche sul Lago di Garda. *Arch. Oceanogr. Limnol.* 13: 838-845.

Milan M., Bigler C., Tolotti M. & Szeroczyńska K. (2017). Effects of long term nutrient and climate variability on subfossil Cladocera in a deep, subalpine lake (Lake Garda, northern Italy). *Journal of Paleolimnology* Springer Netherlands 58: 335-351.

Milan M., Bigler C., Salmaso N., Guella G. & Tolotti M. (2015). Multiproxy reconstruction of a large and deep subalpine lake's ecological history since the Middle Ages. *Journal of Great Lakes Research* 41: 982-994.

Monti R. (1930). La graduale estinzione della vita nel limnobia del Lago d'Orta. *Rendiconti dell'Istituto Lombardo di Scienze e Lettere*, 63: 3-22.

Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittiello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*. 824(1), 163-175 doi: 10.1007/s10750-018-3549-4.

Morabito G. (2016). Phytoplankton assemblages in Lake Orta: has functional structure recovered in one of the largest acidic lakes in the world? *Journal of Limnology*, 75(s2).

Morabito G., Oggioni A. & Austoni M. (2012). Resource ratio and human impact: How diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia* 698: 47-60.

-
- Morabito G., Ruggiu D. & Panzani P. (2001). Trends of phytoplankton characteristics and their communities in pre-and post-liming time in Lake Orta (1984-1998). *Journal of Limnology*, 60(1), 91-100.
- Mosello R., Ruggiu D. (1985). Nutrient Load, Trophic Conditions and Restoration Prospects of Lake Maggiore. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 70, 63-75. <https://doi.org/10.1002/iroh.19850700106>.
- Mosello R., Bonacina C., Carollo A., Libera V. & Tartari G.A. (1986a). Acidification due to inlake ammonia oxidation: an attempt to quantify the proton production in a highly polluted subalpine Italian lake (Lake Orta). *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 44, 47-71.
- Mosello R., Baudo R., & Tartari G.A. (1986b). Metal concentrations in a highly acidic lake: L. Orta (Northern Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 44, 73-96.
- Mosello R., Calderoni A. & Tartari, G.A. (1989). pH related variations of trace metal concentrations in L. Orta. *Science of Total Environment*, 87/88, 255-268.
- Mosello R., Ruggiu D., Pugnetti A. & Moretti M. (1991). Observed trends in the trophic conditions and possible recovery of the deep subalpine Lake Como (Northern Italy). *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, 49: 79-98.
- Mosello R., Brizzio M.C., Garibaldi L., Buzzi F., Colzani L., Pizzotti E. & Mocellin D. (1999). Attuali condizioni trofiche dei bacini di Como e Lecco del Lario. *Acqua-Aria*, 9: 71-81.
- Mosello R., Brizzio M.C., Buzzi F., Colzani L., Pizzotti E. & Mocellin D. (2001). Qualità delle acque dei tributari e del Lario nel biennio 1998-1999. *Atti A.I.O.L.*, Genova, 14: 137-146.
- Mosello R., Ambrosetti W., Arisci S., Bettinetti R., Buzzi F., Calderoni A., Carrara E., De Bernardi R., Galassi S., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Oggioni A., Pagnotta R., Ricci D., Rogora M., Salmaso N., Simona M., Tartari G., Veronesi M. & Volta P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biologia Ambientale* 24: 167-177.
- Nava V., Patelli M., Soler V. & Leoni B. (2017). Interspecific relationship and ecological requirements of two potentially harmful cyanobacteria in a Deep South-Alpine Lake (L. Iseo, I). *Water* 9(12), 993.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K., Hampton S.E., Read J.S., Rowley R.J., Schneider P., Lenters J.D., McIntyre P.B., Kraemer B.M., Weyhenmeyer G.A., Straile D., Dong B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J.L., Baron J.S., Brookes J.D., de Eyto E., Dokulil M.T., Hamilton D.P., Havens K., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hook S., Izmost'Eva L.R., Joehnk K.D., Kangur K., Kasprzak P., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., Livingstone D.M., MacIntyre S., May L., Melack J.M., Mueller-Navarra D.C., Naumenko M., Noges P., Noges T., North R.P., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer A., Rogora M., Rudstam L.G., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow S.G.G., Schmid M., Schmidt S.R., Silow E., Soylu E., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Williamson C.E. & Zhang G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters* 42: 10773-10781.
- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Adrian R., Neteler M., Salmaso N. (2017). Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data. 2017. *Science of The Total Environment* 578, 417-426.
- Parise G. & Riva A. (1982). Cladocera remains in recent sediments as indices of cultural eutrophication of Lake Como. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 44(2): 277-287.
- Pavesi P. (1884). Batimetria del Lago d'Orta. *Rendiconti – Reale Istituto Lombardo*.
- Picotti M. (1957). Ricerche nel lago d'Orta. *Bollettino di Pesca, Piscicoltura e Idrobiologia*, 12 (2), 3-36.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2017). Draft Genome Sequence of the Planktic Cyanobacterium *Tychonema bourrellyi*, Isolated from Alpine Lentic Freshwater. *Genome announcements American Society for Microbiology (ASM)* 5: e01294-17.

-
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2018). Draft Genome Sequences of Novel Pseudomonas, Flavobacterium, and Sediminibacterium Species Strains from a Freshwater Ecosystem. *Genome announcements American Society for Microbiology* 6: e00009-18.
- Piscia R., Guilizzoni P., Fontaneto D., Vignati D.A., Appleby P.G. & Manca M. (2012, January). Dynamics of rotifer and cladoceran resting stages during copper pollution and recovery in a subalpine lake. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 48, No. 2, pp. 151-160). EDP Sciences.
- Piscia R., Tabozzi S., Bettinetti R., Nevalainen L. & Manca M.M. (2016a). Unexpected increases in rotifer resting egg abundances during the period of contamination of Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75.
- Piscia R., Yan N.D. & Manca M.M. (2016b). Mechanisms underlying recovery of zooplankton in Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Poma G., Roscioli C., Guzzella L. (2014). PBDE, HBCD, and novel brominated flame retardant contamination in sediments from Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 186(11). DOI: 10.1007/s10661-014-3959-3.
- Provincia Autonoma di Trento (1992). Lago di Garda. Relazioni annuali sui rilevamenti idrobiologici. Anni 1988, 1989, 1990, 1991. Stazione Sperimentale Agraria Forestale di S. Michele all'Adige, Settore Ricerche Idrobiologiche ed Ambientali di Riva del Garda. (Relazioni tecniche).
- Provincia Autonoma di Trento (1995). Annali dei dati idrobiologici. Anni 1993-1994. A cura dell'Istituto Agrario di S. Michele all'Adige. (Relazioni tecniche).
- Provincia Autonoma di Trento (2000). Quaderni del Garda, 1996-1999. A cura del Laboratorio di Idrobiologia Forte S. Nicolò, Riva del Garda. (Relazioni tecniche).
- Riccardi N., Froufe E., Lopes-Lima M. & Mazzoli C. (2016). When and how? Freshwater mussel recolonization in Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Lepori F., Mosello R., Patelli M. & Salmaso N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824, 33-50. DOI: 10.1007/s10750-018-3623-y.
- Salmaso N., Decet F. & Mosello R. (1997). Chemical characteristics and trophic evolution of the deep subalpine Lake Garda (Northern Italy). *Memorie dell'Istituto italiano di Idriobiologia* 56: 51-76.
- Salmaso N. & Naselli-Flores L. (1999). Studies on the zooplankton of the deep subalpine Lake Garda. *Journal of Limnology* 58: 66-76.
- Salmaso R., Mosello L., Garibaldi F., Decet M., Brizzio C. & Cordella P. (2003). Vertical mixing as a determinant of trophic status in deep lakes: a case study from two lakes south of the Alps (Lake Garda and Lake Iseo). *Journal of Limnology* 62: 33-41.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M. & Simona M. (2014). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: A new emerging paradigm. *Hydrobiologia* 731: 31-48.
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C., Cerasino L., Milan M., Putelli S. & Tolotti M. (2015a). Historical colonization patterns of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria) in a deep lake south of the Alps. *Advances in Oceanography and Limnology* 6: 33-45.
- Salmaso N., Capelli C., Shams S. & Cerasino L. (2015b). Expansion of bloom-forming *Dolichospermum lemmermannii* (Nostocales, Cyanobacteria) to the deep lakes south of the Alps: Colonization patterns, driving forces and implications for water use. *Harmful Algae* 50: 76-87.
- Salmaso N., Cerasino L., Boscaini A. & Capelli C. (2016). Planktic *Tychonema* (Cyanobacteria) in the large lakes south of the Alps: Phylogenetic assessment and toxicogenic potential. *FEMS Microbiology Ecology* 92: fw155.
- Salmaso N., Boscaini A., Cerasino L. (2017). High-throughput sequencing reveals high cyanobacterial diversity in a large perialpine lake. In: XXVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia:

-
- La ricerca ecologica in un mondo che cambia, Napoli, 12-15 settembre 2017. Napoli: Società Italiana di Ecologia: 11. handle: <http://hdl.handle.net/10449/44469>
- Salmaso N., Albanese D., Capelli C., Boscaini A., Pindo M. & Donati C. (2018a). Diversity and Cyclical Seasonal Transitions in the Bacterial Community in a Large and Deep Perialpine Lake. *Microbial Ecology* Springer US 76: 125-143.
- Salmaso N., Anneville O., Straile D. & Viaroli P. (2018b). European large perialpine lakes under anthropogenic pressures and climate change: present status, research gaps and future challenges. *Hydrobiologia* 824: 1-32.
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C. & Cerasino L. (2018c). Ongoing ecological shifts in a large lake are driven by climate change and eutrophication: evidences from a three-decade study in Lake Garda. *Hydrobiologia*, this issue. Springer International Publishing, DOI: 10.1007/s10750-017-3402-1
- Salmaso N. (2019). Effects of habitat partitioning on the distribution of bacterioplankton in deep lakes. *Frontiers in Microbiology* 10: 2257. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02257
- Salmaso N., Boscaini A. & Pindo M. (2019). Unveiling the hidden diversity of photosynthetic and mixotrophic protists in a large and deep subalpine lake using a high throughput sequencing approach. Seventh European Phycological Congress, *European Journal of Phycology* 54: 75. Shams S., C. Capelli, L. Cerasino, A. Ballot, D. R. Dietrich, K. Sivonen, & N. Salmaso, 2015. Anatoxin-a producing *Tychonema* (Cyanobacteria) in European waterbodies. *Water Research* 69: 68-79.
- Tiso A. (1962). I sali nutritivi nelle acque del Lago di Garda. *Arch. Oceanogr. Limnol. Arch. Oceanogr. Limnol.* 12: 361-378.
- Tolotti M., Dubois N., Milan M., Perga M.E., Straile D. & Lami A. (2018). Large and deep perialpine lakes: a paleolimnological perspective for the advance of ecosystem science. *Hydrobiologia* Springer International Publishing 824: 291-321.
- Viaroli P., Azzoni R., Bartoli M., Iacumin P., Longhi D., Mosello R., Rogora M., Rossetti G., Salmaso N. & Nizzoli D. (2018). Persistence of meromixis and its effects on redox conditions and trophic status in Lake Idro (Southern Alps, Italy). *Hydrobiologia* Springer International Publishing 824: 51-69.
- Vignati D.A., Bettinetti R. & Marchetto A. (2016). Long-term persistence of sedimentary copper contamination in Lake Orta: potential environmental risks 20 years after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Vollenweider R.A. (1963). Studi sulla situazione attuale del regime chimico e biologico del Lago d'Orta. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 16, 21-125.
- Volta P., Yan N.D. & Gunn J.M. (2016). Past, present and future of the fish community of Lake Orta (Italy), one of the world's largest acidified lakes. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Volta P., Jeppesen E., Sala P., Galafassi S., Foglini C., Puzzi C. & Winfield I.J. (2018). Fish assemblages in deep Italian subalpine lakes: history and present status with an emphasis on non-native species. *Hydrobiologia* 824: 255-270.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Articoli ISI (IF) e/o SCOPUS (CiteScore)

- Amalfitano S., Corno G., Eckert E.M., Fazi S., Ninio S., Callieri C., Grossart H.P., Eckert W. (2017). Tracing particulate matter and associated microorganisms in freshwaters. *Hydrobiologia*, 800: 145-154.
- Ambrosetti V., Barbanti L., Rolla A., Castellano L., Sala N. (2012). Hydraulic paths and estimation of the real residence time of the water in Lago Maggiore (N. Italy): application of massless markers transported in 3D motion fields. *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 23-33. CNR.
- Ambrosetti W., Barbanti L. & Carrara E.A. (2010). Mechanisms of hypolimnion erosion in a deep lake (Lago Maggiore, N. Italy). *J. Limnol.*, 69(1): 3-14.

-
- Babica P., Capelli C., Drobac D. & Gkelis S. (2017). Cyanobacterial blooms and toxins in water resources: Occurrence, impacts and management. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: Themed Issue-Cyanobacteria, 1-178.
- Bertoni R., Callieri C., Corno G., Rasconi S., Caravati E. & Contesini M. (2010). Long-term trends of epilimnetic and hypolimnetic bacteria and organic carbon in a deep holo-oligomictic lake. *Hydrobiologia* 644: 279-287.
- Bertoni R., Ambrosetti W. and Callieri C. (2010). Physical constraints in the deep hypolimnion of a subalpine lake driving planktonic Bacteria and Archaea distribution. *Advances in Oceanography and Limnology*, 1 (1): 85-96.
- Bertoni R., Bertoni M., Morabito G., Rogora M., Callieri C. (2016). A non-deterministic approach to forecasting the trophic evolution of lakes. *J. Limnol.*, 75(s1): 242-252.
- Bettinetti R., Galassi S., Guzzella L., Quadroni S. & Volta P. (2010). The role of zooplankton in DDT biomagnification in a pelagic food web of Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Sciences and Pollution Research* 17: 1508-1518.
- Bettinetti R., Garibaldi L., Leoni B., Quadroni S. & Galassi S. (2012). Zooplankton as an early warning system of persistent organic pollutants contamination in a deep lake (lake Iseo, Northern Italy). *Journal of Limnology* 71, 36.
- Bettinetti R., Quadroni S., Manca M., Piscia R., Volta P., Guzzella L., Roscioli C., Galassi S. (2012). Seasonal fluctuations of DDTs and PCBs in zooplankton and fish of Lake Maggiore (Northern Italy). *Chemosphere*, vol. 88 (3): 344-351.
- Bresciani M., Bolpagni R., Braga F., Oggioni A., Giardino C. (2012). Retrospective assessment of macrophytic communities in southern Lake Garda (Italy) from in situ and MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) data, *Journal of Limnology*, vol. 71(1): 180-190.
- Bresciani M., Giardino C., Boschetti L. (2011). Multi-temporal assessment of bio-physical parameters in lakes Garda and Trasimeno from MODIS and MERIS. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43(3): 49-62.
- Bresciani M., Giardino C., Lauceri R., Matta E., Cazzaniga I., Pinardi M., ... & Morabito G. (2016). Earth observation for monitoring and mapping of cyanobacteria blooms. Case studies on five Italian lakes. *Journal of Limnology*. DOI: <http://dx.doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1565>. ISSN 1323-1650.
- Bresciani M., Sotgia C., Fila G.L., Musanti M., Bolpagni R. (2011). Assessing common reed bed health and management strategies in Lake Garda (Italy) by means of Leaf Area Index measurements. *Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (2): 9-22.
- Bresciani M., Stroppiana D., Montagna M., Fila G., Giardino C. (2009). Monitoring reed vegetation in environmentally sensitive areas in Italy, *Italian Journal of Remote Sensing*, 41(2): 125-137.
- Bresciani M., Stroppiana D., Odermatt D., Morabito G., Giardino C. (2011). Assessing remotely sensed chlorophyll-a for the implementation of the Water Framework Directive in European perialpine lakes, *Science of the Total Environment*, 409, 3083-3091.
- Bresciani M., Cazzaniga I., Austoni M., Sforzi T., Buzzi F., Morabito G. and Giardino C. (2018). Mapping phytoplankton blooms in deep subalpine lakes from Sentinel-2A and Landsat-8. *Hydrobiologia*, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3462-2>
- Callieri C. (2016). Micro-players for macro-roles: aquatic microbes in deep lakes. *J. Limnol.* 75(s1): 191-200.
- Callieri C. (2017). *Synechococcus* plasticity under environmental changes. *FEMS Microbiology Letters* 364, fnx229.
- Callieri C., Caravati E., Corno G., Bertoni R. (2012). Picocyanobacterial community structure and space-time dynamics in the subalpine Lake Maggiore (N. Italy). *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 95-103.

- Callieri C., Corno G., Caravati E., Rasconi S., Contesini M., Bertoni R. (2009). Bacteria, Archaea, and Crenarchaeota in the Epilimnion and Hypolimnion of a Deep Holo-Oligomictic Lake. *Applied and Environmental Microbiology*, 75 (22): 7298-7300. DOI: 10.1128/AEM.01231-09.
- Callieri C., Corno G., Contesini M., Fontaneto D., Bertoni R. (2017). Transparent exopolymer particles (TEP) are driven by chlorophyll a and mainly confined to the euphotic zone in a deep subalpine lake. *Inland Waters* 7: 118.127.
- Callieri C., Hernández-Avilés S., Salcher M.M., Fontaneto D., Bertoni R. (2016). Distribution patterns and environmental correlates of Thaumarchaeota abundance in six deep subalpine lakes. *Aquatic Sciences*, 78: 215-225.
- Callieri C. (2010). Single cells and microcolonies of freshwater picocyanobacteria: a common ecology. *J. Limnol.*, 69(2): 257-277.
- Callieri C., Bertoni R., Contesini M., Bertoni F. (2014). Lake level fluctuations boost toxic cyanobacterial “oligotrophic blooms”. *PLoS One* 9, e109526.
- Callieri C., Coci M., Eckert E.M., Salcher M.M., Bertoni R. (2014). Archaea and Bacteria in deep lake hypolimnion: in situ dark inorganic carbon uptake. *J. Limnol.* 73: 47-54.
- Cantonati M., Angeli N., Virtanen L., Wojtal A.Z., Gabrieli J., Falasco E., Lavoie I., Morin S., Marchetto A., Fortin C. & Smirnova S. (2014). *Achnanthidium minutissimum* (Bacillariophyta) valve deformities as indicators of metal enrichment in diverse widely-distributed freshwater habitats. *Science of the Total Environment*, 475, 201-215.
- Capelli C., Ballot A., Cerasino L., Papini A. & Salmaso N. (2017). Biogeography of bloom-forming microcystin producing and non-toxigenic populations of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria). *Harmful Algae* 67: 1-12.
- Capelli C., Cerasino L., Boscaini A. & Salmaso N. (2018). Molecular tools for the quantitative evaluation of potentially toxigenic *Tychonema bourrellyi* (Cyanobacteria, Oscillatoriales) in large lakes. *Hydrobiologia* 824 (1): 109-119. DOI: 10.1007/s10750-018-3513-3
- Cappelletti C., Cianfanelli S., Beltrami M.E. & Ciutti F. (2009). Sinanodonta woodiana (Lea 1834) (Bivalvia: Unionidae): A new non-indigenous species in lake Garda (Italy). *Aquatic Invasions* 4: 685-688.
- Caroni R., Free G., Visconti A., Manca M. (2012). Phytoplankton functional traits and seston stable isotopes signature: a functional-based approach in a deep, subalpine lake, Lake Maggiore (N. Italy). *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 84-94.
- Castellano L., Ambrosetti W., Barbanti L. & Rolla A. (2010). The residence time of the water in Lago Maggiore (N. Italy): first results from an Eulerian-Lagrangian approach. *J. Limnol.*, 69(1): 15-28.
- Cattaneo A., De Sèze M., Morabito G., Mosello R. and Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *J. Limnol.*, 70(2): 177-185.
- Cattaneo A., Michèle D.E., Morabito G., Mosello R. & Tartari G. (2011). Periphyton changes over 20 years of chemical recovery of Lake Orta, Italy: differential response to perturbation of littoral and pelagic communities. *Journal of Limnology*, 70(2), 177-185.
- Cazzaniga I., Bresciani M., Colombo R., Della Bella V., Padula R. and Giardino C. (2019). A comparison of Sentinel-3-OLCI and Sentinel-2-MSI-derived Chlorophyll-a maps for two large Italian lakes. *Remote Sensing Letters*, 10(10), 978-987.
- Cerasino L., Shams S., Boscaini A., Salmaso N. (2016). Multiannual trend of microcystin production in the toxic cyanobacterium *Planktothrix rubescens* in Lake Garda (Italy). *Chem Ecol* 32: 492-506. DOI: 10.1080/02757540.2016.1157175
- Cerasino L. and Salmaso N. (2012). Diversity and distribution of cyanobacterial toxins in the Italian subalpine lacustrine district. *Oceanological and Hydrobiological Studies* 41: 54-63 DOI: 10.2478/s13545-012-0028-9

-
- Cerasino L., Capelli C. & Salmaso N. (2017). A comparative study of the metabolic profiles of common nuisance cyanobacteria in southern perialpine lakes. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 22-32.
- Ciutti F., Beltrami M.E., Confortini I., Cianfanelli S. & Cappelletti C. (2011). Non-indigenous invertebrates, fish and macrophytes in Lake Garda (Italy). *Journal of Limnology* 70: 315-320.
- Coci M., Odermatt N., Salcher M.M., Pernthaler J., Corno G. (2015). Ecology and distribution of Thaumarchaea in the deep hypolimnion of Lake Maggiore. *Archaea* 590434: 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/590434>
- Corno G.L., Caravati E., Callieri C., Bertoni R. (2008). Effects of predation pressure on bacterial abundance, diversity, and size-structure distribution in an oligotrophic system. *J. Limnol.*, 67(2): 107-119.
- D'Alelio D., Salmaso N., Gandolfi A. (2013). Frequent recombination shapes the epidemic population structure of *Planktothrix* (cyanoprokaryota) in Italian sub-alpine lakes. *Journal of Phycology*, 49: 1107-1117.
- D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M., Salmaso N., D'Alelio D., Gandolfi A., Boscaini A., Flaim G., Tolotti M. & Salmaso N. (2011). *Planktothrix* populations in subalpine lakes: selection for strains with strong gas vesicles as a function of lake depth, morphometry and circulation. *Freshwater Biology* 56: 1481-1493.
- D'Alelio D., Salmaso N. (2011). Occurrence of an uncommon *Planktothrix* (Cyanoprokaryota, Oscillatoriaceae) in a deep lake south of the Alps. *Phycologia* 50(4): 379-383. DOI: 10.2216/10-73.1
- De Keukelaere L., Sterckx S., Adriaensen S., Knaeps E., Reusen I., Giardino C., Bresciani M., Hunter P. et al. (2018). Atmospheric correction of Landsat-8/OLI and Sentinel-2/MSI data using iCOR algorithm: validation for coastal and inland waters. *European Journal of Remote Sensing*, 51:1, 525-542.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Rogora M., Corno G. (2017). Rainfall increases the abundance of antibiotic resistance genes within a riverine microbial community. *Environmental Pollution*. 226: 473-478.
- Di Cesare A., Eckert E., Corno G. (2016). Co-selection of antibiotic and heavy metal resistance in freshwater bacteria. *Journal of Limnology*, vol. 75 (2s) pp. 59-66.
- Di Cesare A., Eckert E.M., Teruggi A., Fontaneto D., Bertoni R., Callieri C. and Corno G. (2015). Constitutive presence of antibiotic resistance genes within the bacterial community of a large subalpine lake. *Mol Ecol*, 24: 3888-3900.
- Di Nicolantonio W., Cazzaniga I., Cacciari A., Bresciani M., Giardino C. (2015). Synergy of multispectral and multisensors satellite observations to evaluate desert aerosol transport and impact of dust deposition on inland waters: study case of Lake Garda. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9: 095980-1-19. ISSN: 1931-3195.
- Eckert E.M., Di Cesare A., Stenzel B., Fontaneto D., Corno G. (2016). Daphnia as a refuge for an antibiotic resistance gene in an experimental freshwater community. *Science of the Total Environment*. 571: 77-81.
- Eckert E.M., Di Cesare A., Coci M., Corno G. (2018). Persistence of antibiotic resistance genes in large subalpine lakes: the role of anthropogenic pollution and ecological interactions. *Hydrobiologia* 824, 93-108. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3480-0>
- Fastner J., Abella S., Litt A., Morabito G., Vörös L., Pálffy K., Straile D., Kümmerlin R., Matthews D., Phillips M.G., Chorus I. (2016). Combating cyanobacterial proliferation by avoiding or treating inflows with high P load-experiences from eight case studies. *Aquatic Ecology*, 50: 367-383.
- Fenocchi A., Rogora M., Morabito G., Marchetto A., Sibilla S., Dresti C. (2018). Applicability of a one-dimensional coupled ecological-hydrodynamic numerical model to future projections in a very deep large lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Ecological Modelling* 392, 38-51.

-
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Dresti C. (2017). Relevance of inflows on the thermodynamic structure and on the modeling of a deep subalpine lake (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters*, 63: 42-56.
- Fenocchi A., Rogora M., Sibilla S., Ciampittiello M., Dresti C. (2018). Forecasting the evolution in the mixing regime of a deep subalpine lake under climate change scenarios through numerical modelling (Lake Maggiore, Northern Italy/Southern Switzerland). *Climate Dynamics*. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4094-6>
- Fontanella M.C., Ravera O., Beone G.M., Riccardi N., Cattani I. (2009a). The mercury distribution in the main compartments of the eutrophic Lake Candia (Northern Italy). *J. Limnol.*, 68: 352-358.
- Gallina N., Salmaso N., Morabito G., Beniston M. (2013). Phytoplankton configuration in six deep lakes in the peri-Alpine region: Are the key drivers related to eutrophication and climate? *Aquatic Ecology*, 47: 177-193.
- Giardino C., Bresciani M., Cazzaniga I., Schenk K., Rieger P., Braga F., Matta E., Brando V.E. (2014). Evaluation of Multi-Resolution Satellite Sensors for Assessing Water Quality and Bottom Depth of Lake Garda. *Sensors*, 14: 24116-24131. ISSN: 1424-8220.
- Giardino C., Bresciani M., Matta E., Brando V.E. (2015). Imaging Spectrometry of Inland Water Quality in Italy Using MIVIS: An Overview. In: T. Younos, T.E. Parece (eds.), *Advances in Watershed Science and Assessment, The Handbook of Environmental Chemistry* 33, pp. 61-83. ISBN: 1867-979X, ISBN: 978-3-319-14211-1.
- Giardino C., Candiani G., Bresciani M., Lee Z., Gagliano S., Pepe M. (2012). BOMBER: A tool for estimating water quality and bottom properties from remote sensing images. *Computers & Geosciences*, 45:313-318.
- Guanter L., Brell M., Chan J.C.W., Giardino C., Gomez-Dans J., Mielke C., Morsdorf F., Segl K. and Yokoya N. (2018). Synergies of Spaceborne Imaging Spectroscopy with Other Remote Sensing Approaches. *Surveys in Geophysics*, pp.1-31.
- Guilizzoni P., Levine S.N., Manca M., Marchetto A., Lami A., Ambrosetti V., Brauer A., Gerli S., Carrara E.A., Rolla A., Guzzella L., Vignati D. (2012). Ecological effects of multiple stressors on a deep lake (Lago Maggiore, Italy) integrating neo and palaeolimnological approaches. *Journal of Limnology*, vol. 71 (1): 1-22.
- Guilizzoni P., Marchetto A., Lami A., Gerli S. and Musazzi S. (2010). Use of sedimentary pigments to infer past phosphorus concentration in lakes. *J. Paleolimnol.* (DOI: 10.1007/s10933-010-9421-9).
- Guzzella L.M., Novati S., Casatta N., Roscioli C., Valsecchi L., Binelli A., Parolini M., Solcà N., Bettinetti R., Manca M., Mazzoni M., Piscia R., Volta P., Marchetto A., Lami A., Marziali L. (2018). Spatial and temporal trends of target organic and inorganic micropollutants in Lake Maggiore and Lake Lugano (Italian-Swiss water bodies): contamination in sediments and biota. *Hydrobiologia*, 824(1), 271-290. DOI: 10.1007/s10750-017-3494-7
- Hernández-Avilés S., Callieri C., Bertoni R., Morabito G., Leoni B., Lepori F., Buzzi F., Salmaso N. (2018). Prokaryoplankton and phytoplankton community compositions in five large deep perialpine lakes. *Hydrobiologia*, 824(1), 71-92. DOI: 10.1007/s10750-018-3586-z <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109526>.
- Kamburska L., Lauceri R., Riccardi N. (2013). Establishment of a new alien species in Lake Maggiore (Northern Italy): *Anodonta* (*Sinanodonta*) *woodiana* (Lea, 1834) (Bivalvia: Unionidae). *Aquatic Invasions*, vol. 8 (1): 111-116.
- Kampf L., Brauer A., Dulski P., Lami A., Marchetto A., Gerli S., Ambrosetti V., Guilizzoni P. (2012). Detrital layers marking flood events in recent sediments of Lago Maggiore (N. Italy) and their comparison with instrumental data. *Freshwater Biology*, vol. 57: 2076-2090.
- Lenstra W.K., Hahn-Woernle L., Matta E., Bresciani M., Giardino C., Salmaso N., Musanti M., Fila G., Uittenbogaard R., Genseberger M., van der Woerd H.J., Dijkstra H.A. (2014). Diurnal variation of turbulence-related quantities in Lake Garda. *Advances in Oceanography and Limnology*, 5:2, 184-203.

-
- Leoni B. (2016). Zooplankton predators and prey: body size and stable isotope to investigate the pelagic food web in a deep lake (Lake Iseo, Northern Italy). *Journal of Limnology*.
- Leoni B., Garibaldi L. & Gulati R. (2014a). How does interannual trophic variability caused by vertical water mixing affect reproduction and population density of the *Daphnia longispina* group in Lake Iseo, a deep stratified lake in Italy? *Inland Waters* 4, 193-203.
- Leoni B., Marti C., Imberger J. & Garibaldi L. (2014b) Summer spatial variations in phytoplankton composition and biomass in surface waters of a warm-temperate, deep, oligo-holomictic lake: Lake Iseo, Italy. *Inland Waters* 4, 303–310.
- Leoni B., Nava V. & Patelli M. (2018). Relationships among climate variability, Cladocera phenology and the pelagic food web in deep lakes in different trophic states. *Marine and Freshwater Research*.
- Leoni B., Patelli M., Soler V. & Nava V. (2018). Ammonium transformation in 14 lakes along a trophic gradient. *Water*, 10(3), 265.
- Lopez-Soriano J., Quiñonero-Salgado S., Cappelletti C., Faccenda F. & Ciutti F. (2018). Unraveling the complexity of *Corbicula* clams invasion in Lake Garda (Italy). *Advances in Oceanography and Limnology* 9 (2): 97-104.
- Manca M. (2017). In memoriam of Peppe Morabito. *Advances in Oceanography and Limnology*, 8(2). <https://doi.org/10.4081/aiol.2017.7209>
- Manca M., Rogora M., Salmaso N. (2015). Inter-annual climate variability and zooplankton: applying teleconnection indices to two deep subalpine lakes in Italy. *Journal of Limnology* 74(1): 123-132.
- Manca M., Vijverberg J., Polishchuk L.V., Voronov D.A. (2008). *Daphnia* body size and population dynamics under predation by invertebrate and fish predators in Lago Maggiore: an approach based on contribution analysis. *J. Limnol.*, 67(1): 15-21.
- Manca M.M., Bonacina C. & Yan N.D. (2016). What have we learned about ecological recovery from liming interventions of acid lakes in Canada and Italy? *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Mantzouki E., Campbell J., Van Loon E., Visser P., Konstantinou I., Antoniou M., Giuliani G., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Maronić D.Š., Stević F., Pfeiffer T.Ž., Vučelić I.B., Žutinić P., Udovič M.G., Plenković-Moraj A., Tsiklari N., Bláha L., Geriš R., Fránková M., Christoffersen K.S., Warming T.P., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Kangro K., Häggqvist K., Salmi P., Arvola L., Fastner J., Straile D., Rothhaupt K.O., Fonvielle J., Grossart H.P., Avagianos C., Kaloudis T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Gkelis S., Panou M., McCarthy V., Perello V.C., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Koreivienė J., Karosienė J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Haande S., Skjelbred B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Nawrocka L., Kobos J., Mazur-Marzec H., Alcaraz-Párraga P., Wilk-Woźniak E., Krztoń W., Walusiak E., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwieck M., Pęczuła W., Napiórkowska-Krzebietke A., Dunalska J., Sieńska J., Szymański D., Kruk M., Budzyńska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szeląg-Wasielewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyasz B., Pelechaty M., Kokociński M., Madrecka B., Kostrzewska-Szlakowska I., Frąk M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Ochocka A., Pasztalenie A., Jasser I., Antão-Geraldes A.M., Leira M., Hernández A., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Aleksovski B., Krstić S., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Remec-Rekar S., Elerse T., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrubia T., Obrador B., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Úbeda B., Gálvez J.Á., Marcé R., Catalán N., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Cillero-Castro C., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Özen A., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Verspagen J.M.H., De Senerpont Domis L.N., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Lürling M., Maliaka V., Faassen E.J., Latour D., Carey C.C., Paerl H.W., Torokne A., Karan T., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Çelik

K., Özhan K., Karakaya N., Koçer M.A.T., Yılmaz M., Maraşlıoğlu F., Fakioglu Ö., Soylu E.N., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkin K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Alp M.T., Özkan K., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Richardson J., Edwards C., Bergkemper V., O'leary S., Beirne E., Cromie H. & Ibelings B.W. (2018a). A European Multi Lake Survey dataset of environmental variables, phytoplankton pigments and cyanotoxins. Scientific Data Nature Publishing Group 5: 180226.

Mantzouki E., Lürling M., Fastner J., de Senerpont Domis L., Wilk-Woźniak E., Wilk-Woźniak E., Koreivienė J., Seelen L., Teurlincx S., Verstijnen Y., Krztoń W., Walusiak E., Karosiene J., Kasperovičienė J., Savadova K., Vitonytė I., Cillero-Castro C., Budzynska A., Goldyn R., Kozak A., Rosińska J., Szelag-Wasilewska E., Domek P., Jakubowska-Krepska N., Kwasizur K., Messyasz B., Pelechata A., Pelechaty M., Kokociński M., García-Murcia A., Real M., Romans E., Noguero-Ribes J., Duque D.P., Fernández-Morán E., Karakaya N., Häggqvist K., Demir N., Beklioğlu M., Filiz N., Levi E.E., Iskin U., Bezirci G., Tavşanoğlu Ü.N., Özhan K., Gkelis S., Panou M., Fakioglu Ö., Avagianos C., Kaloudis T., Çelik K., Yılmaz M., Marcé R., Catalán N., Bravo A.G., Buck M., Colom-Montero W., Mustonen K., Pierson D., Yang Y., Raposeiro P.M., Gonçalves V., Antoniou M.G., Tsianta N., McCarthy V., Perello V.C., Feldmann T., Laas A., Panksep K., Tuvikene L., Gagala I., Mankiewicz-Boczek J., Yağcı M.A., Çınar Ş., Çapkin K., Yağcı A., Cesur M., Bilgin F., Bulut C., Uysal R., Obertegger U., Boscaini A., Flaim G., Salmaso N., Cerasino L., Richardson J., Visser P.M., Verspagen J.M.H., Karan T., Soylu E.N., Maraşlıoğlu F., Napiórkowska-Krzebietke A., Ochocka A., Pasztaleniec A., Antão-Geraldes A.M., Vasconcelos V., Morais J., Vale M., Köker L., Akçaalan R., Albay M., Špoljarić Maronić D., Stević F., Žuna Pfeiffer T., Fonvielle J., Straile D., Rothhaupt K.O., Hansson L.A., Urrutia-Cordero P., Bláha L., Geriš R., Fráňková M., Koçer M.A.T., Alp M.T., Remec-Rekar S., Elersek T., Triantis T., Zervou S.K., Hiskia A., Haande S., Skjelbred B., Madrecka B., Nemova H., Drastichova I., Chomova L., Edwards C., Sevindik T.O., Tunca H., Önem B., Aleksovski B., Krstić S., Vučelić I.B., Nawrocka L., Salmi P., Machado-Vieira D., De Oliveira A.G., Delgado-Martín J., García D., Cereijo J.L., Gomà J., Trapote M.C., Vegas-Vilarrúbia T., Obrador B., Grabowska M., Karpowicz M., Chmura D., Úbeda B., Gálvez J.Á., Özgen A., Christoffersen K.S., Warming T.P., Kobos J., Mazur-Marzec H., Pérez-Martínez C., Ramos-Rodríguez E., Arvola L., Alcaraz-Párraga P., Toporowska M., Pawlik-Skowronska B., Niedźwiecki M., Pęczula W., Leira M., Hernández A., Moreno-Ostos E., Blanco J.M., Rodríguez V., Montes-Pérez J.J., Palomino R.L., Rodríguez-Pérez E., Carballeira R., Camacho A., Picazo A., Rochera C., Santamans A.C., Ferriol C., Romo S., Soria J.M., Dunalska J., Sieńska J., Szymbański D., Kruk M., Kostrzewska-Szlakowska I., Jasser I., Žutinić P., Gligora Udovič M., Plenković-Moraj A., Frak M., Bańkowska-Sobczak A., Wasilewicz M., Özkan K., Maliaka V., Kangro K., Grossart H.P., Paerl H.W., Carey C.C. & Ibelings B.W. (2018b). Temperature effects explain continental scale distribution of cyanobacterial toxins. Toxins 10: 156.

Manzo C., Bresciani M., Giardino C., Braga F., Bassani C. (2015). Sensitivity analysis of a bio-optical model for Italian lakes focused on Landsat-8, Sentinel-2 and Sentinel-3. European Journal of Remote Sensing, 48: 17-32. ISSN: 2279-7254.

Marti C.L., Imberger J., Garibaldi L. & Leoni B. (2016). Using time scales to characterize phytoplankton assemblages in a deep subalpine lake during the thermal stratification period: Lake Iseo, Italy. *Water Resources Research* 52, 1762-1780.

Mazzoni M., Buffo A., Cappelli F., Pascariello S., Polesello S., Valsecchi S., Volta P., Bettinetti R. (2019). Perfluroalkyl acids in fish of Italian deep lakes: Environmental and human risk assessment. *Science of the Total Environment*, 653: 351-358.

Meriluoto J., Blaha L., Bojadzija G., Bormans M., Brient L., Codd G.A., Drobac D., Faassen E.J., Fastner J., Hiskia A., Ibelings B.W., Kaloudis T., Kokociński M., Kurmayer R., Pantelić D., Quesada A., Salmaso N., Tokodi N., Triantis T.M., Visser P.M. & Svirčev Z. (2017a). Toxic cyanobacteria and cyanotoxins in European waters – recent progress achieved through the CYANOCOST Action and challenges for further research. *Advances in Oceanography and Limnology* 8: 161-178.

-
- Milan M., Bigler C., Salmaso N., Guella G., Tolotti M. (2015). Multiproxy reconstruction of a large and deep subalpine lake's ecological history since the Middle Ages. *Journal of Great Lakes Research* 41, 982-994. DOI: 10.1016/j.jglr.2015.08.008
- Milan M., Bigler C., Tolotti M. & Szeroczyńska K. (2017). Effects of long-term nutrient and climate variability on subfossil Cladocera in a deep, subalpine lake (Lake Garda, northern Italy). *Journal of Paleolimnology* Springer Netherlands 58: 335-351.
- Minella M., Leoni B., Salmaso N., Savoye L., Sommaruga R., Vione D. (2016). Long-term trends of chemical and modelled photochemical parameters in four Alpine lakes. *Science of The Total Environment* 541, 247-256. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.08.149
- Morabito G., Oggioni A., Austoni M. (2012). Resource ratio and human impact: how diatom assemblages in Lake Maggiore responded to oligotrophication and climatic variability. *Hydrobiologia*, vol. 698: 47-60.
- Morabito G. (2016). Phytoplankton assemblages in Lake Orta: has functional structure recovered in one of the largest acidic lakes in the world? *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Morabito G., Rogora M., Austoni M., Ciampittiello M. (2018). Could the extreme meteorological events in Lake Maggiore watershed determine a climate-driven eutrophication process? *Hydrobiologia*. 824(1), 163–175 <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3549-4>
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrin M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of The Total Environment* 627, 373-387. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.153.
- Nava V., Patelli M., Soler V. & Leoni B. (2017). Interspecific relationship and ecological requirements of two potentially harmful cyanobacteria in a Deep South-Alpine Lake (L. Iseo, I). *Water* 9(12), 993.
- Nevalainen L., Brown M., Manca M. (2018). Sedimentary Record of Cladoceran Functionality under Eutrophication and Re-Oligotrophication in Lake Maggiore, Northern Italy. *Water*, 10(1), 86.
- Noges T., Anneville O., Guillard J., Haberman J., Jarvalt A., Manca M., Morabito G., Rogora M., Thackeray S., Volta P., Winfield I., Noges P. (2018). Fisheries impacts on lake ecosystem structure in the context of a changing climate and trophic state. *Journal of Limnology*, 77: 46-61.
- O'Reilly C.M., Sharma S., Gray D.K., Hampton S.E., Read J.S., Rowley R.J., Schneider P., Lenters J.D., McIntyre P.B., Kraemer B.M., Weyhenmeyer G.A., Straile D., Dong B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J.L., Baron J.S., Brookes J.D., de Eyto E., Dokulil M.T., Hamilton D.P., Havens K., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hook S., Izmost'Eva L.R., Joehnk K.D., Kangur K., Kasprzak P., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., Livingstone D.M., MacIntyre S., May L., Melack J.M., Mueller-Navarra D.C., Naumenko M., Noges P., Noges T., North R.P., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer M., Rogora, Rudstam L.G., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow S.G., Schmid M., Schmidt S.R., Silow E., Soylu M.E., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Williamson C.E. & Zhang G. (2015). Rapid and highly variable warming of lake surface waters around the globe. *Geophysical Research Letters* 42: 10773-10781.
- Okazaki Y., Salcher M., Callieri C., Nakano S.I. (2018). The broad habitat spectrum of the CL500-11 lineage (Phylum Chloroflexi), a dominant bacterioplankton in oxygenated hypolimnia of deep freshwater lakes. *Front. Microbiol.* 9: 2891.
- Pareeth S., Delucchi L., Metz M., Rocchini D., Devasthale A., Raspaud M., Adrian R., Salmaso N., Neteler M. (2016). New Automated Method to Develop Geometrically Corrected Time Series of

Brightness Temperatures from Historical AVHRR LAC Data. *Remote Sens* 8(3): 169. DOI: 10.3390/rs8030169

- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Adrian R., Neteler M., Salmaso N. (2017). Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data. *Science of The Total Environment* 578, 417-426.
- Pareeth S., Salmaso N., Adrian R., Neteler M. (2016). Homogenised daily lake surface water temperature data generated from multiple satellite sensors: A long-term case study of a large sub-Alpine lake. *Scientific Reports*, 6, art. no. 31251.
- Pilotti M., Valerio G. & Leoni B. (2013). Data set for hydrodynamic lake model calibration: A deep prealpine case. *Water Resources Research* 49, 7159-7163.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2017). Draft Genome Sequence of the Planktic Cyanobacterium *Tychonema bourrellyi*, Isolated from Alpine Lentic Freshwater. *Genome announcements American Society for Microbiology (ASM)* 5: e01294-17.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N. & Segata N. (2018). Draft Genome Sequences of Novel *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, and *Sediminibacterium* Species Strains from a Freshwater Ecosystem. *Genome announcements American Society for Microbiology* 6: e00009-18.
- Pinto F., Tett A., Armanini F., Asnicar F., Boscaini A., Pasolli E., Zolfo M., Donati C., Salmaso N., Segata N. (2018). Correction for Pinto *et al.* "Draft Genome Sequences of Novel *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, and *Sediminibacterium* Strains from a Freshwater Ecosystem". *Genome announcements* 6, e00169-18. DOI: 10.1128/genomeA.00169-18
- Piscia R., Colombini M., Ponti B., Bettinetti R., Monticelli D., Rossi V. & Manca M. (2015). Lifetime response of contemporary versus resurrected *Daphnia galeata* Sars (Crustacea, Cladocera) to Cu (II) chronic exposure. *Bulletin of environmental contamination and toxicology*, 94(1), 46-51.
- Piscia R., Guilizzoni P., Fontaneto D., Vignati D.A., Appleby P.G. & Manca M. (2012, January). Dynamics of rotifer and cladoceran resting stages during copper pollution and recovery in a subalpine lake. In *Annales de Limnologie-International Journal of Limnology* (Vol. 48, No. 2, pp. 151-160). EDP Sciences.
- Piscia R., Tabozzi S., Bettinetti R., Nevalainen L. & Manca M.M. (2016a). Unexpected increases in rotifer resting egg abundances during the period of contamination of Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75.
- Piscia R., Volta P., Boggero A. & Manca M. (2011). The invasion of Lake Orta (Italy) by the red swamp crayfish *Procambarus clarkii* (Girard 1852): a new threat to an unstable environment. *Aquatic Invasions*, 6(1), S45-S48.
- Piscia R., Yan N.D. & Manca M.M. (2016b). Mechanisms underlying recovery of zooplankton in Lake Orta after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Poma G., Roscioli C., Guzzella L. (2014). PBDE, HBCD, and novel brominated flame retardant contamination in sediments from Lake Maggiore (Northern Italy). *Environmental Monitoring and Assessment* 186(11). DOI: 10.1007/s10661-014-3959-3.
- Ponti B., Piscia R., Bettinetti R. & Manca M. (2010). Long-term adaptation of *Daphnia* to toxic environment in Lake Orta: the effects of short-term exposure to copper and acidification. *Journal of Limnology*, 69(2), 217-224.
- Ravera O., Beone G.M., Fontanella M.C., Riccardi N., Cattani I. (2009). Comparison between the mercury contamination in populations of *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Bivalvia) from two lakes of different trophic state: the oligo-mesotrophic Lake Maggiore and the eutrophic Lake Candia. *J. Limnol.*, 68(2): 359-367. DOI: 10.3274/JL09-68-2-18
- Ravera O., Frediani A., Riccardi N. (2007b) Seasonal variations in population dynamics and biomass of two *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state. *Limnol. J.*, 66: 15-27.

-
- Ravera O., Beone G., Trincherini P., Riccardi N. (2007a) Seasonal variations in metal content of two *Unio pictorum mancus* (Mollusca, Unionidae) populations from two lakes of different trophic state. *Limnol. J.*, 66: 28-39.
- Riccardi N., Giussani G. (2007). The relevance of life history traits in the establishment of the invader *Eudiaptomus gracilis* and the extinction of *Eudiaptomus padanus* in Lake Candia (Northern Italy): evidence for competitive exclusion? *Aquatic Ecology*, 41 (2): 243-254.
- Riccardi N., Lucini L., Benagli C., Welker M., Wicht B., Tonolla M. (2012). Potential of Matrix Assisted Laser Desorption/Ionization Time-Of-Flight Mass Spectrometry for the identification of freshwater zooplankton: a pilot study with three *Eudiaptomus* (Copepoda: Diaptomidae) species. *J. Plankton Res.*, 34: 484-492. DOI: 10.1093/plankt/fbs022
- Riccardi N., Rossetti G. (2007). *Eudiaptomus gracilis* in Italy: how, where and why. *J. Limnol.*, 66: 64-69.
- Riccardi N., Froufe E., Lopes-Lima M. & Mazzoli C. (2016). When and how? Freshwater mussel recolonization in Lake Orta. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Rogora M., Mosello R., Kamburska L., Salmaso N., Cerasino L., Leoni B., Garibaldi L., Soler V., Lepori F., Colombo L., Buzzi F. (2015). Recent trends in chloride and sodium concentrations in the deep subalpine lakes (Northern Italy). *Environmental Science and Pollution Research* 22:19013-19026. DOI: 10.1007/s11356-015-5090-6
- Rogora M., Buzzi F., Dresti C., Leoni B., Lepori F., Mosello R., Patelli M. & Salmaso N. (2018). Climatic effects on vertical mixing and deep-water oxygenation in the deep subalpine lakes in Italy. *Hydrobiologia* 824(1): 33-50. DOI: 10.1007/s10750-018-3623-y
- Rogora M., Kamburska L., Mosello R. & Tartari G. (2016). Lake Orta chemical status 25 years after liming: problems solved and emerging critical issues. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2013). The climatic characteristics of extreme precipitations for short term intervals in the watershed of Lake Maggiore. *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 113 (1-2): 1-15.
- Saidi H., Ciampittiello M., Dresti C., Ghiglieri G. (2015). Assessment of trends in extreme precipitation events: a case study in Piedmont (North-West Italy). *Water. Resour. Manage.* DOI: 10.1007/s11269-014-0826-5. vol. 29, no 1, pp. 63-80.
- Saidi H., Dresti C. & Ciampittiello M. (2016). Fluctuations of Lake Orta water levels: preliminary analyses. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Salmaso N. (2019). Effects of habitat partitioning on the distribution of bacterioplankton in deep lakes. *Frontiers in Microbiology* 10: 2257. DOI: 10.3389/fmicb.2019.02257
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of large lakes south of the Alps: a new emerging paradigm. *Hydrobiologia*, 731: 31-48. DOI: 10.1007/s10750-013-1659-6
- Salmaso N., Capelli C., Shams S., Cerasino L. (2015). Expansion of bloom-forming *Dolichospermum lemmermannii* (Nostocales, Cyanobacteria) to the deep lakes south of the Alps: Colonization patterns, driving forces and implications for water use. *Harmful Algae* 50, 76-87. DOI: 10.1016/j.hal.2015.09.008
- Salmaso N., Copetti D., Cerasino L., Shams S., Capelli C., Boscaini A., Valsecchi L., Pozzoni F., Guzzella L. (2014). Variability of microcystin cell quota in metapopulations of *Planktothrix rubescens*: Causes and implications for water management. *Toxicon*, 90: 82-96.
- Salmaso N., Buzzi F., Garibaldi L., Morabito G. & Simona M. (2012). Effects of nutrient availability and temperature on phytoplankton development: a case study from large lakes south of the Alps. *Aquatic Sciences* 74, 555-570.
- Salmaso N., Cerasino L., Boscaini A., Capelli C. (2016). Planktic *Tychonema* (Cyanobacteria) in the large lakes south of the Alps: Phylogenetic assessment and toxicogenic potential. *FEMS Microbiology Ecology*; DOI: 10.1093/femsec/fiw155.

-
- Salmaso N. (2012). Influence of atmospheric modes of variability on the limnological characteristics of a deep lake south of the Alps. *Climate Research*. 51: 125–133, 2012. DOI: 10.3354/cr01063.
- Salmaso N. and Mosello R. (2010). Limnological research in the deep southern subalpine lakes: synthesis, directions and perspectives. *Advances in Oceanography and Limnology* 1: 29-66.
- Salmaso N. (2010). Long-term phytoplankton community changes in a deep subalpine lake: responses to nutrient availability and climatic fluctuations. *Freshwater Biology* 55: 825-846. DOI: b10.1111/j.1365-2427.2009.02325.x
- Salmaso N. (2011). Interactions between nutrient availability and climatic fluctuations as determinants of the long term phytoplankton community changes in Lake Garda, Northern Italy. *Hydrobiologia* 660: 59-68. DOI: 10.1007/s10750-010-0394-5
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C. & Cerasino L. (2018c). Ongoing ecological shifts in a large lake are driven by climate change and eutrophication: evidences from a three-decade study in Lake Garda. *Hydrobiologia*, 824(1), 177-195, DOI: 10.1007/s10750-017-3402-1
- Salmaso N., Boscaini A., Capelli C., Cerasino L., Milan M., Putelli S. & Tolotti M. (2015a). Historical colonization patterns of *Dolichospermum lemmermannii* (Cyanobacteria) in a deep lake south of the Alps. *Advances in Oceanography and Limnology* 6: 33-45.
- Salmaso N., Albanese D., Capelli C., Boscaini A., Pindo M., Donati C. (2018). Diversity and Cyclical Seasonal Transitions in the Bacterial Community in a Large and Deep Perialpine Lake. *Microbial Ecology* 76: 125-143. DOI: 10.1007/s00248-017-1120-x
- Salmaso N., Cerasino L. (2012). Long-term trends and fine year-to-year tuning of phytoplankton in large lakes are ruled by eutrophication and atmospheric modes of variability. *Hydrobiologia* 698: 17-28.
- Salmaso N., Anneville O., Straile D. & Viaroli P. (2018b). European large perialpine lakes under anthropogenic pressures and climate change: present status, research gaps and future challenges. *Hydrobiologia* 824(1), 1-32.
- Salmaso N., Boscaini A., Shams S., Cerasino L. (2013). Strict coupling between the development of *Planktothrix rubescens* and microcystin content in two nearby lakes south of the Alps (lakes Garda and Ledro). *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 49 (4): 309-318. DOI: 10.1051/limn/2013064
- Shams S., Capelli C., Cerasino C., Ballot A., Dietrich D.R., Sivonen K., Salmaso N. (2015). Anatoxin-a producing *Tychonema* (Cyanobacteria) in European waterbodies. *Water Research* 69: 68-79.
- Shams S., Cerasino L., Salmaso N., Dietrich D.R. (2014). Experimental models of microcystin accumulation in *Daphnia magna* grazing on *Planktothrix rubescens*: Implications for water management. *Aquatic Toxicology* 148: 9-15.
- Sharma S., Gray D.K., Read J.S., O'Reilly C.M., Schneider P., Qudrat A., Gries C., Stefanoff S., Hampton S.E., Hook S., Lenters J.D., Livingstone D.M., McIntyre P.B., Adrian R., Allan M.G., Anneville O., Arvola L., Austin J., Bailey J., Baron J.S., Brookes J., Chen Y., Daly R., Dokulil M., Dong B., Ewing K., de Eyto E., Hamilton D., Havens K., Haydon S., Hetzenauer H., Heneberry J., Hetherington A.L., Higgins S.N., Hixson E., Izmost'eva L.R., Jones B.M., Kangur K., Kasprzak P., Köster O., Kraemer B.M., Kumagai M., Kuusisto E., Leshkevich G., May L., MacIntyre S., Müller-Navarra D., Naumenko M., Noges P., Noges T., Niederhauser P., North R.P., Paterson A.M., Plisnier P.-D., Rigosi A., Rimmer A., Rogora M., Rudstam L., Rusak J.A., Salmaso N., Samal N.R., Schindler D.E., Schladow G., Schmidt S.R., Schultz T., Silow E.A., Straile D., Teubner K., Verburg P., Voutilainen A., Watkinson A., Weyhenmeyer G.A., Williamson C.E., Woo K.H. (2015). A global database of lake surface temperatures collected by in situ and satellite methods from 1985-2009. *Scientific Data* 2, 150008. DOI: 10.1038/sdata.2015.8
- Sommer S., Nandini S., Sarma S.S.S., Ozgul A. & Fontaneto D. (2016). Rotifers in Lake Orta: a potential ecological and evolutionary model system. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Sommer S., Piscia R., Manca M.M., Fontaneto D. & Ozgul A. (2016). Demographic cost and mechanisms of adaptation to environmental stress in resurrected *Daphnia*. *Journal of Limnology*, 75(s2).

-
- Sommer S., van Benthem K.J., Fontaneto D. & Ozgul A. (2017). Are generic early-warning signals reliable indicators of population collapse in rotifers? *Hydrobiologia*, 796(1), 111-120.
- Spyrakos E., O'Donnell R., Hunter P.D., Miller C., Scott M., Simis S.G., Neil C., Barbosa C.C., Binding C.E., Bradt S. and Bresciani M. (2018). Optical types of inland and coastal waters. *Limnology and Oceanography*, 63(2), pp. 846-870.
- Tapolczai K., Anneville O., Padisák J., Salmaso N., Morabito G., Zohary T., Tadonleke R.D., Rimet F. (2015). Occurrence and mass development of *Mougeotia* spp. (Zygnemataceae) in large, deep lakes. *Hydrobiologia* 745: 17-29.
- Taranu Z.E., Gregory-Eaves I., Leavitt P.R., Bunting L., Buchaca T., Catalan J., Domaizon I., Guilizzoni P., Lami A., McGowan S., Moorhouse H., Morabito G., Pick F.R., Stevenson M.A., Thompson P.L., Vinebrooke R.D. (2015). Acceleration of cyanobacterial dominance in north temperate-subarctic lakes during the Anthropocene. *Ecology letters* 18: 375-384.
- Tolotti M., Dubois N., Milan M., Perga M.E., Straile D. & Lami A. (2018). Large and deep perialpine lakes: a paleolimnological perspective for the advance of ecosystem science. *Hydrobiologia* 824: 291-321.
- Valerio G., Pilotti M., Barontini S. & Leoni B. (2015). Sensitivity of the multiannual thermal dynamics of a deep pre-alpine lake to climatic change. *Hydrological Processes* 29, 767-779.
- Viaroli, P., Azzoni R., Bartoli M., Iacumin P., Longhi D., Mosello R., Rogora M., Rossetti G., Salmaso N. & Nizzoli D. (2018). Persistence of meromixis and its effects on redox conditions and trophic status in Lake Idro (Southern Alps, Italy). *Hydrobiologia* 824: 51-69.
- Vignati D.A., Bettinetti R. & Marchetto A. (2016). Long-term persistence of sedimentary copper contamination in Lake Orta: potential environmental risks 20 years after liming. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Villa P., Bresciani M., Braga F., Bolpagni R. (2014). Comparative Assessment of Broadband Vegetation Indices Over Aquatic Vegetation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7: 3117-3127. ISSN: 1939-1404.
- Villa P., Laini A., Bresciani M., Bolpagni R. (2013). A remote sensing approach to monitor the conservation status of lacustrine *Phragmites australis* beds. *Wetlands Ecology and Management*, 21: 399-416.
- Villa P., Mousivand A., Bresciani M. (2014). Aquatic vegetation indices assessment through radiative transfer modelling and linear mixture simulation. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 30: 113-127. ISSN: 1569-8432.
- Visconti A., Caroni R., Rawcliffe R., Fadda A., Piscia R., Manca M. (2018). Defining Seasonal Functional Traits of a Freshwater Zooplankton Community Using $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ Stable Isotope Analysis. *Water*, 10(2), 108.
- Visconti A., Manca M., de Bernardi R. (2008). Eutrophication-like response to climate warming: an analysis of Lago Maggiore (N. Italy) zooplankton in contrasting years. *Limnol. J.*, 67(2): 87-92.
- Visconti A. & Manca M. (2010). The invasive appearance of *Eudiaptomus gracilis* (G.O. Sars 1863) in Lago Maggiore. *Limnol. J.*, 69(2): 353-357.
- Vollenweider R.A. (1963). Studi sulla situazione attuale del regime chimico e biologico del Lago d'Orta. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 16, 21-125.
- Volta P., Jeppesen E., Sala P., Galafassi G., Foglini C., Winfield I.J. (2018). Fish assemblages in deep Italian subalpine lakes: history and present status with an emphasis on non-native species. *Hydrobiologia*, 824:255-270.
- Volta P., Tremolada P., Neri M.C., Giussani G., Galassi S. (2009). Age-Dependent Bioaccumulation of Organochlorine Compounds in Fish and their Selective Biotransformation in Top Predators from Lake Maggiore (Italy). *Water Air & Soil Pollution*, 197(1-4): 193-209. DOI: 10.1007/s11270-008-9803-z

-
- Volta P. & Giussani G. (2010). Weight-length relationships (WLRs) and von Bertalanffy growth function (VBGF) parameters of *Alosa agone*, *Rutilus pigus* and the anadromous *Salmo trutta* from a deep south-alpine lake: Lago Maggiore (northern Italy). *Journal of Applied Ichthyology* 26: 474-476.
- Volta P., Yan N.D. & Gunn J.M. (2016). Past, present and future of the fish community of Lake Orta (Italy), one of the world's largest acidified lakes. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Yan N.D., Bailey J., McGeer J.C., Manca M.M., Keller W.B., Celis-Salgado M.P. & Gunn J.M. (2016). Arrive, survive and thrive: essential stages in the re-colonization and recovery of zooplankton in urban lakes in Sudbury, Canada. *Journal of Limnology*, 75(s2).
- Zweerus N.L., Sommer S., Fontaneto D. & Ozgul A. (2017). Life-history responses to environmental change revealed by resurrected rotifers from a historically polluted lake. *Hydrobiologia*, 796(1), 121-130.

Articoli non ISI

- Cappelletti C. & Ciutti F. (2017). Bivalvi alloctoni nel Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F. & Cappelletti C. (2017). Invasioni biologiche: il caso del Lago di Garda. *Biologia Ambientale* 31: 169-173.
- Ciutti F., Flaim G. & Cappelletti C. (2017). La medusa *Craspedacusta sowerbii Lankester*: nuova osservazione nei laghi trentini e distribuzione in Italia. *Biologia Ambientale* 31: 174-177.
- Ciutti F., Flaim G., Beltrami M.E. & Cappelletti C. (2014). Non-indigenous fish fauna in Trentino lakes (Northern Italy). *Italian Journal of Freshwater Ichthyology* 192-201.
- Mosello R., Ambrosetti W., Arisci S., Bettinetti R., Buzzi F., Calderoni A., Carrara E., De Bernardi R., Galassi S., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Oggioni A., Pagnotta R., Ricci D., Rogora M., Salmaso N., Simona M., Tartari G., Veronesi M., Volta P. (2010). Evoluzione recente della qualità delle acque dei laghi profondi sudalpini (Maggiore, Lugano, Como, Iseo e Garda) in risposta alle pressioni antropiche e alle variazioni climatiche. *Biol. Ambient.* 24, 167-177.
- Piscia R., Volta P., Boggero A. & Manca M. (2011). Segnalazione di *Procambarus clarkii* (Girard 1852), una specie aliena invasiva, nel Lago d'Orta (Piemonte). *Biologia Ambientale*, 25(1), 71-73.
- Salmaso N., Buzzi F., Cerasino L., Garibaldi L., Leoni B., Manca M., Morabito G., Rogora M., Simona M. (2014). Influenza delle fluttuazioni climatiche sui grandi laghi a sud delle Alpi: implicazioni nel contesto del riscaldamento globale. *Biologia Ambientale*, 28(2), 17-32.

Libri o capitoli di libro

- Bernard C., Ballot A., Thomazeau S., Maloufi S., Furey A., Mankiewicz-Boczek J., Pawlik-Skowronska B., Capelli C. & Salmaso N. (2017). Appendix 2. Cyanobacteria associated with the production of cyanotoxins In: Meriluoto J., Spoof L. & Codd G. A. (Eds.), *Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis*. Wiley, Chichester: 501-525.
- Bertin F. & Bortoli A. (Eds.) (2009). Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian. ANSAC, Rome.
- Boscaini A. (2009). Natural and anthropogenic loads of nutrients In: Bertin F. & Bortoli A. (Eds.), *Environmental issues in Lake Garda: insights and proposals for restoration in Italian*. ANSAC, Roma: 51-63.
- Callieri C., Eckert E., Di Cesare A. and Bertoni F. (2018). Aquatic Ecology. Microbial Communities. Encyclopedia of Ecology. Second Edition. Elsevier.
- Callieri C., Cronberg G. & Stockner J. (2012). Freshwater Picocyanobacteria: Single Cells, Microcolonies and Colonial Forms. In: *Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space*. B. Whitton (Ed.). Second edition. Springer Publishers: 229-269.
- Giardino C., Bresciani M., Braga F., Cazzaniga I., De Keukelaere L., Knaeps E., Brando V.E. (2017). Bio-Optical Modeling of Total Suspended Solids. In: "Bio-Optical Modelling and Remote Sensing of

Inland Waters”, Ogashawara I., Mishra D. and Gitelson A. (Eds.), Bio-optical Modeling and Remote Sensing of Inland Waters. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-804644-9.00005-7> © 2017 Elsevier Inc.

Jasser I., Callieri C. (2017). Picocyanobacteria – the smallest cellsize cyanobacteria. In: Meriluoto J, Spoof L., Codd G. A. (Ed.s) CYANOCOST Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis: 112.

Meriluoto J., Spoof L. & Codd G.A. (2017b). Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis. Wiley, Chichester.

Kokociński M., Akçaalan R., Salmaso N., Stoyneva-Gärtner M.P. & Sukenik A. (2017). Expansion of Alien and Invasive Cyanobacteria. In Meriluoto, J., Spoof L. & Codd G.A. (eds), Handbook on Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis. Wiley, Chichester: 28-39.

Report

CNR-ISE, Sede di Verbania (2007). Ricerche sull’evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2003-2007. Campagna 2006. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.).

CNR-ISE, Sede di Verbania (2016). Ricerche sull’evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2013-2015. Campagna 2015 e Rapporto triennale 2013-2015. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): pp. 146.

Ciampittiello M., Volta P., Saidi H., Dresti C., Cerutti I., Zellino C. & Morabito G. (2017). Relazione finale sulle attività oggetto del contratto per il servizio di indagine limnologica sul lago e sulla palude di Candia – Report CNR-ISE, 01.17.

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). Relazione annuale 2015-2016 ITTIORTA. pp. 27.

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). Relazione annuale 2016-2017 ITTIORTA. pp. 30.

Volta P., Rogora M., Piscia R., Beltrami M. (2016). Relazione annuale 2017-2018 ITTIORTA. pp. 22.

IT09-A LAGHI DI MONTAGNA

Autori

Michela Rogora¹, Giampaolo Rossetti², Giovanna Flaim³, Ulrike Obertegger³, Renate Alber⁴, Antonio Bodini², Angela Boggero¹, Stefano Corradini³, Gabriele A. Tartari¹, Pierluigi Viaroli², Samuel Vorhauser⁴

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque del (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania.

² Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/A, 43124 Parma.

³ Fondazione Edmund Mach (FEM) – 38010 San Michele all’Adige TN.

⁴ Provincia autonoma di Bolzano, Agenzia Provinciale per l’Ambiente e la tutela del clima, Laboratorio Biologico, Via Sottomonte 2, 39055 Laives (BZ).

Referente Macrosito: Michela Rogora.

Siti di ricerca:

Lago Santo Parmense, IT09-001-A

Lago Scuro Parmense, IT09-002-A

Lago Paione Inferiore, IT09-003-A

Lago Paione Superiore, IT09-004-A

Lago di Tovel, IT09-005-A

Lago di Anterselva, IT09-006-A

Lago di Braies, IT09-007-A

Lago Piccolo di Monticolo, IT09-008-A

Tipologia di ecosistema: lacustre.

DEIMS.ID: <https://deims.org/3f0267f2-e67e-443f-b89d-d2c5dcfce1c9>

Citare questo capitolo come segue: Rogora M., Rossetti G., Flaim G. *et al.* (2021). IT09-A Laghi di montagna, p. 297-330. DOI: 10.5281/zenodo.5584745. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito comprende:

- due siti di ricerca principali nell'Appennino Settentrionale (Lago Santo Parmense e Lago Scuro Parmense), oltre a numerosi ambienti lentici permanenti e temporanei campionati in modo più occasionale;
- due siti di ricerca principali nelle Alpi Occidentali (Lago Paione Inferiore e Superiore), oltre a circa 30 laghi d'alta quota (a quote superiori a 1900 m s.l.m.) con campionamenti discontinui ma dati a lungo termine;
- un sito di ricerca nelle Dolomiti del Brenta (Lago di Tovel) a 1178 m s.l.m.;
- tre siti di ricerca principali nella provincia di Bolzano (Lago di Anterselva, Lago di Braies e Lago di Monticolo);
- undici laghi situati sotto il limite della vegetazione arborea, monitorati di continuo dal 1979, sebbene ad intervalli irregolari.



Fig.1 - Alcuni laghi del macrosito Laghi di Montagna: a) Lago Paione Inferiore IT09-003-A (foto di G.A. Tartari); b) Lago Santo Parmense (foto G. Rossetti); c) Lago di Tovel IT09-005-A (foto G. Flaim); d) Lago di Braies IT09-007-A (foto: Laboratorio Biologico)

Per i siti di ricerca principali esistono serie di dati a lungo termine su composizione chimica delle acque e popolamenti planctonici e bentonici; i dataset dei vari siti sono però diversi per dimensioni, copertura temporale e frequenza delle serie e per i parametri monitorati. Le principali tematiche di ricerca affrontate nei siti sono: eutrofizzazione ed acidificazione, dinamica di popolazione, struttura trofica, fenologia dei popolamenti planctonici, biodiversità, diversità funzionale, metabolismo lacustre, specie invasive, effetti delle deposizioni atmosferiche di inquinanti, impatto dei cambiamenti climatici, impatto delle attività antropiche nel bacino, monitoraggio ad alta frequenza.

Abstract

The parent site consists of: two main research sites (Lake Santo Parmense and Lake Scuro Parmense) in the Northern Apennines, but also several temporary and permanent lentic systems sampled at a lower frequency; two main research sites in the Western Alps (Lake Paione Inferiore and Lake Paione Superiore), and about 30 high altitude lakes (above 1900 m a.s.l.) in the same area, with long-term irregular data; one research site located in the Brenta Dolomites (Lake Tovel) at 1178 m a.s.l. with a monthly sampling regime and long-term data; three main research sites in the province of Bozen, together with other 11 lakes all located below the treeline, monitored since 1979 with samplings at irregular intervals. For all the main research sites long-term data exist on water chemistry, plankton and benthos; however, the datasets of the various sites may be different in terms of size, temporal coverage, frequency of the series and monitored parameters. The main research topics considered are eutrophication and acidification, population dynamics, biodiversity, functional diversity, lake metabolism, plankton phenology, alien species, climate change effects, impacts of anthropogenic activities in lake catchments, high frequency monitoring.

Lago Santo Parmense

Autori

Giampaolo Rossetti, Pierluigi Viaroli, Antonio Bodini

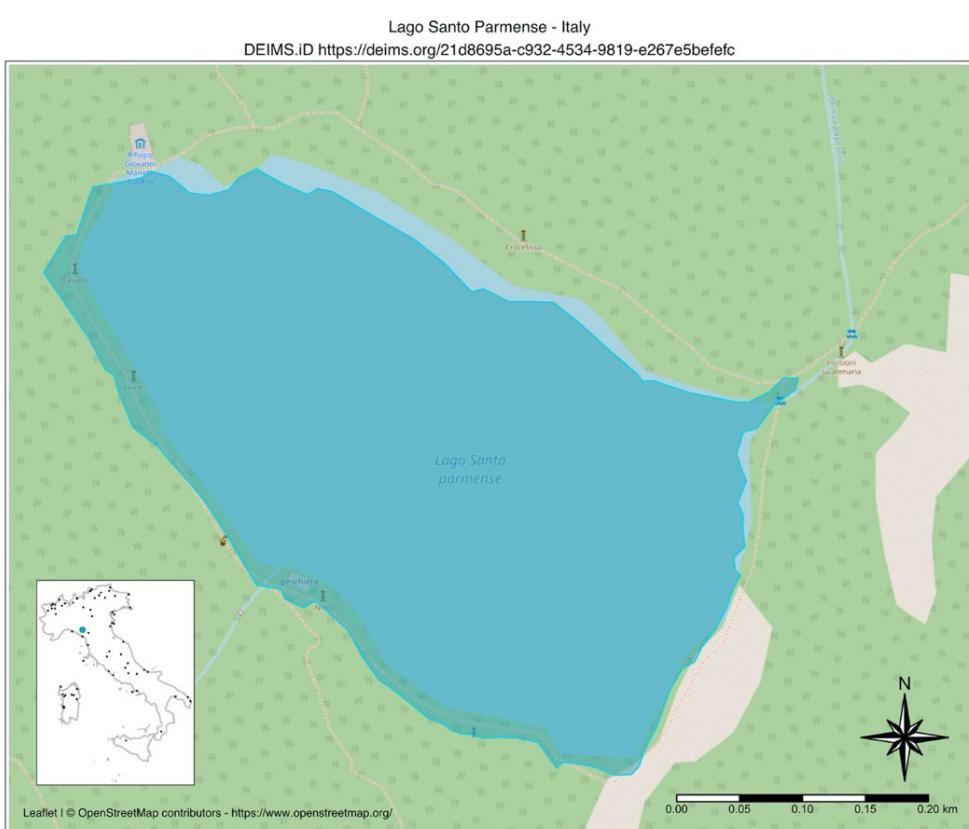
Affiliazioni

Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/A, 43124 Parma.

Sigla: IT09-001-A.

Responsabile sito: Giampaolo Rossetti.

DEIMS:ID: <https://deims.org/21d8695a-c932-4534-9819-e267e5befefc>



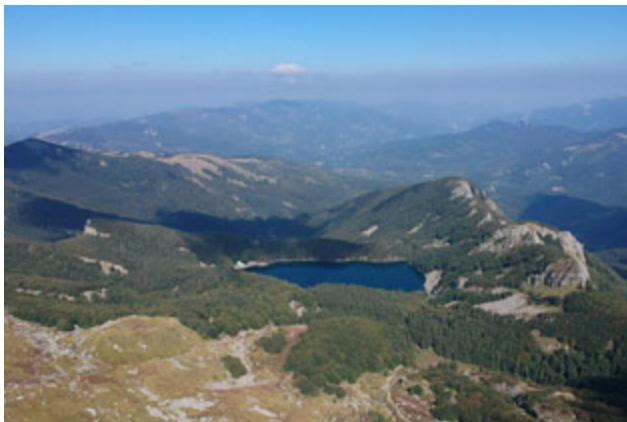


Fig. 2 - Lago Santo Parmense dalle pendici del Monte Marmagna



Fig. 3 - vista del Lago Scuro Parmense dal versante del Monte Scala
(foto di M. Bartoli e G. Rossetti)

Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Santo Parmense (44.40222 N, 10.00746 E; 1507 m s.l.m.; area 8 ha; volume 925000 m³; profondità massima 22.5 m) è il più ampio e profondo lago naturale della Val Parma, nonché di tutto l'Appennino Settentrionale. Si trova all'interno del parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano. Il Lago Santo è un lago dimittico; presenta generalmente una copertura ghiacciata da fine novembre a fine aprile, benché negli ultimi anni si sia osservata una notevole variabilità ed anche episodi di scomparsa della coltre ghiacciata in occasione di inverni particolarmente miti. È di origine tettonico-glaciale e il suo bacino è caratterizzato da una prevalenza di arenaria Macigno. Il lago è una meta turistica molto frequentata ed è stato oggetto, fin dall'inizio del secolo scorso, di massicce immissioni di pesci per la pesca sportiva. Si è registrato un progressivo aumento del carico di nutrienti negli ultimi decenni, senza però osservare uno scostamento da una condizione di oligo-mesotrofia.

Risultati

I primi studi sulla comunità zooplanctonica di questo lago risalgono agli anni '20 del secolo scorso (Brian 1924, 1927), mentre campagne limnologiche con carattere di sistematicità furono avviate tra la fine del 1951 e il 1954 con l'obiettivo principale di analizzare serie pluriennali di campioni di zooplancton (Moroni 1954, 1962). Nei sopralluoghi condotti nei primi anni '70 vennero presi in esame anche lo studio del fitoplancton e del macrozoobenthos, l'analisi dei contenuti stomacali dei pesci e si pervenne inoltre a una definizione dello stato trofico delle acque e a una stima dei flussi energetici tra i livelli della rete trofica pelagica (Ferrari *et al.* 1973, 1977).

Le ricerche su caratteristiche idrochimiche e comunità planctoniche ripresero durante il periodo di acque aperte del 1991 e, dopo un'interruzione di quasi un decennio, nuovamente dal 2000 fino al 2010, anche se in modo non continuativo (Viaroli *et al.* 1992, 1994; Rossetti *et al.* 2006, 2010). Nel 2000 e 2001 venne descritta anche la composizione della fauna ittica e furono analizzati i contenuti stomacali delle specie dominanti di pesci (Maldini *et al.* 2004).

Un'indagine a scala ecosistemica, basata sull'analisi dei flussi all'interno della rete trofica pelagica, fu condotta da Bondavalli *et al.* (2006). In questa area l'attività turistica di massa iniziò a svilupparsi nei primi anni '70 del secolo scorso e continuò a crescere nei decenni successivi, causando un aumento del carico di nutrienti nelle acque lacustri. Si è allora proceduto ad un confronto delle proprietà ecosistemiche mediante tecniche di *network analysis* prendendo in considerazione una situazione di elevato disturbo (quella dei primi anni '90) e una di basso impatto antropico (quella dei primi anni '70). I risultati mostrano che l'arricchimento in nutrienti nel periodo 1970-90 ha comportato un cambiamento nell'evoluzione del lago, come evidenziato da un aumento della quantità di materia che circola all'interno del sistema e da una simultanea semplificazione dei flussi. In particolare, il confronto di indici di sistema, attività di riciclo,

struttura ed efficienza trofica indica che il sistema è stato soggetto a condizioni di stress, pur senza mostrare, come detto in precedenza, scostamenti significativi del suo stato trofico.

Divulgazione

Il Lago Santo Parmense è stato studiato di diverse tesi di laurea e dottorato svolte presso l'Università di Parma, aventi come oggetto aspetti biologici ed ecologici. È meta di esercitazioni nell'ambito di corsi universitari e master. I risultati delle ricerche condotte sul lago sono presentati nel corso di eventi pubblici organizzati dall'Università di Parma e dal Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano.

Prospettive future

L'obiettivo minimo è garantire la continuazione dell'analisi delle acque e del plancton. I dati già raccolti serviranno per valutare possibili cambiamenti dei processi successionali dell'ecosistema a seguito di eventi di disturbo.

Abstract

Lake Santo Parmense (1507 m a.s.l., maximum depth 22.5 m) is the largest and deepest natural lake in the Northern Apennines. It is a dimictic lake of glacial-tectonic origin located in the Upper Parma Valley, in the Tuscan-Emilian Apennine National Park. Limnological campaigns at this lake were performed in 1952-1954, 1971-1975, 1991 and again from early 2000's, and were mostly oriented to the study of water chemistry and plankton communities. Tourism activity in this area began to develop in the early 1970s and grew continuously over the following years, and caused a continually increasing nutrient load into the waters. The lake has remained oligo-mesotrophic, although system-level indices, cycling activity, trophic structure, and trophic efficiency indicate that the ecosystem is under stress.

Lago Scuro Parmense

Autori

Giampaolo Rossetti, Pierluigi Viaroli, Antonio Bodini

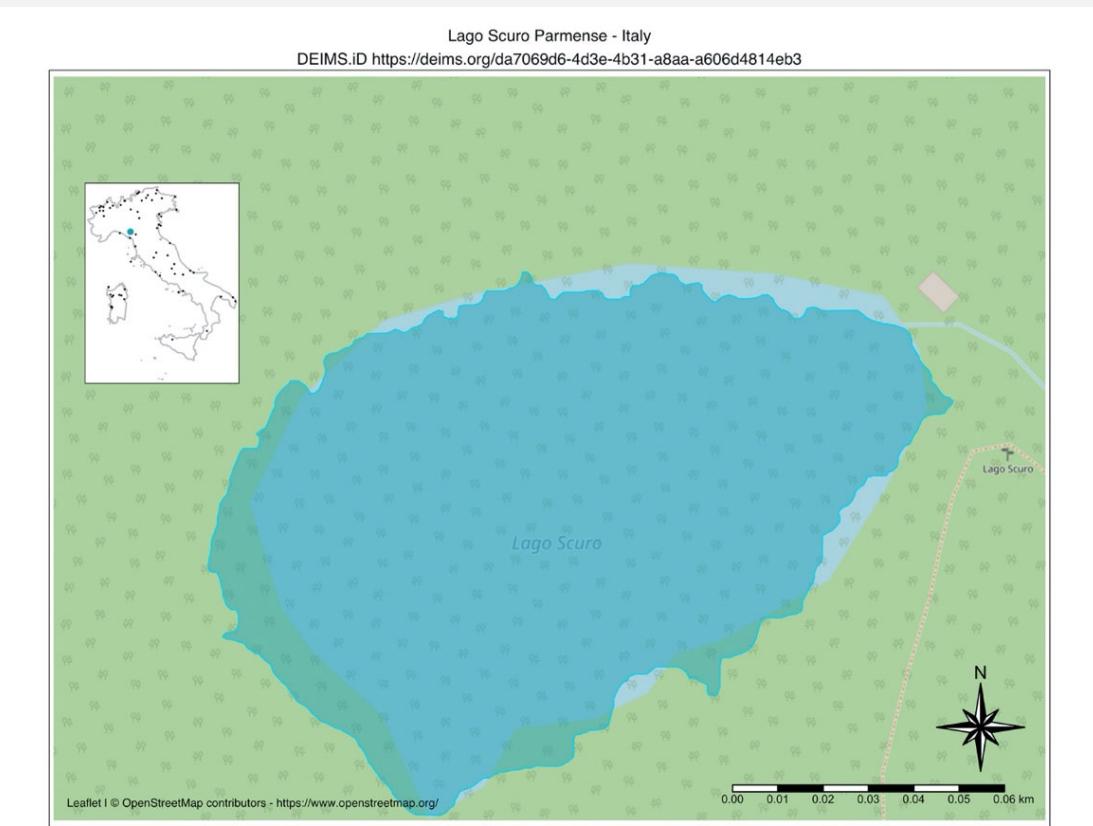
Affiliazioni

Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/A, 43124 Parma.

Sigla: IT09-002-A.

Responsabile sito: Giampaolo Rossetti.

DEIMS:ID: <https://deims.org/da7069d6-4d3e-4b31-a8aa-a606d4814eb3>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Anche il Lago Scuro Parmense (44.38197 N, 10.04574 E; 1527 m s.l.m.; area 1.2 ha; volume 44000 m³; profondità massima 9.2 m) si trova in Val Parma, sulle pendici del Monte Scala, nel territorio del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano. La sua formazione è attribuibile a fenomeni tettonico-glaciali. Il bacino imbrifero è caratterizzato in prevalenza da rocce silicee. Questo piccolo bacino, tendenzialmente oligotrofo e con bassi valori di alcalinità e conducibilità delle acque, presenta caratteristiche di scarso disturbo antropico diretto. È un lago dimittico e solitamente la copertura ghiacciata permane da novembre a inizio maggio, ma per le limitate dimensioni risulta particolarmente sensibile alle anomalie meteoclimatiche che influenzano fortemente la sua vicenda termica. Il lago è naturalmente privo di pesci, tuttavia sono state segnalate sporadiche introduzioni non autorizzate di trote adulte.

Risultati

Moroni (1962) ha condotto i primi studi sulla comunità zooplantonica su campioni raccolti tra il 1953 e il 1961. Dal 1986 al 2012, ulteriori 13 campagne di campionamento sono state effettuate nel periodo delle acque aperte, con l'obiettivo di descrivere la variabilità di base dei principali parametri idrochimici e i fattori abiotici e biologici che condizionano la successione stagionale dei popolamenti planctonici (Antonietti *et al.* 1988; Paris *et al.* 1993; Rossetti 2005).

Gli approcci di ricerca più recenti, resi possibili dalla disponibilità di dati ecologici di lungo termine raccolti nei laghi dell'Appennino settentrionale, si sono concentrati sugli effetti del riscaldamento globale e di eventi meteoclimatici estremi su struttura e funzionamento di questi ecosistemi (Primicerio *et al.* 2007; Bertani *et al.* 2016; Rogora *et al.* 2018) e sul confronto delle dinamiche temporali delle comunità planctoniche con modelli generali di successione ecologica (Bodini *et al.* 2017).

Si ricordano inoltre gli studi sulla biodiversità acquatica che hanno condotto all'identificazione di generi e specie di rotiferi non ancora segnalati per la fauna italiana (Bertani *et al.* 2009) e quelli sui principali fattori che influiscono, a scala locale e regionale, nel determinare la struttura delle comunità planctoniche in ambienti lenti di alta quota (Tavernini *et al.* 2009).

Divulgazione

Il Lago Scuro Parmense è stato oggetto di numerose tesi di laurea e di dottorato svolte presso l'Università di Parma, focalizzate prevalentemente sulle caratteristiche idrochimiche e sulla struttura e dinamica dei popolamenti planctonici. I risultati delle ricerche condotte sul lago sono presentati nel corso di eventi pubblici organizzati dall'Università di Parma e dal Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano.

Prospettive future

Si prevede di proseguire il monitoraggio delle acque e delle comunità planctoniche. I dati ecologici di lungo termine saranno utilizzati per valutare le risposte del sistema a eventi climatici estremi.

Abstract

Lake Scuro Parmense (1527 m a.s.l., maximum depth 9.3 m) is a small oligotrophic lake still in near-pristine conditions. Zooplankton was first analysed from 1953 to 1961. The lake is currently being investigated in the frame of a long-term limnological research project that has started in 1986, with the aim of defining the variability of hydrochemical parameters and analysing the major abiotic and biotic factors that affect the seasonal evolution of plankton communities. The collected data are also used to assess the lake ecosystem resistance and resilience in response to climatic extremes.

Lago Paione Inferiore e Superiore

Lago Paione Inferiore

Autori

Michela Rogora, Angela Boggero, Gabriele A. Tartari

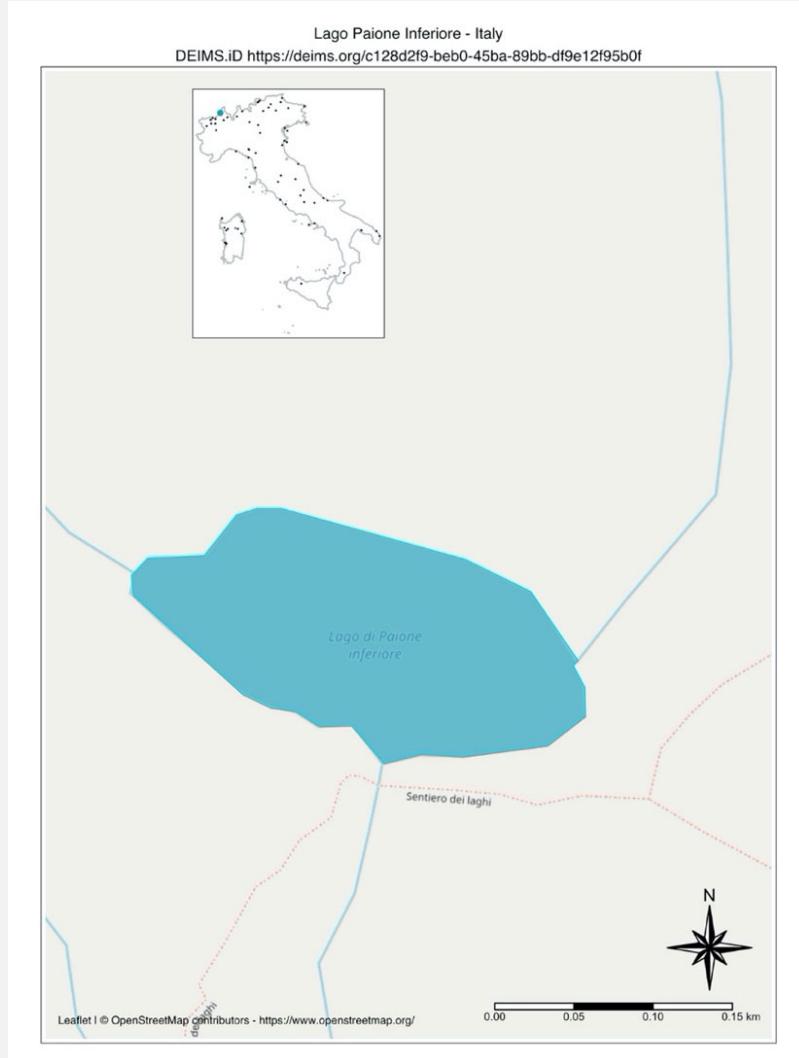
Affiliazioni

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania.

Sigla: IT09-003-A.

Responsabile sito: Michela Rogora.

DEIMS:ID: <https://deims.org/c128d2f9-beb0-45ba-89bb-df9e12f95b0f>



Lago Paione Superiore

Autori

Michela Rogora, Angela Boggero, Gabriele A. Tartari

Affiliazioni

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA-CNR), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania.

Sigla: IT09-003-A.

Responsabile sito: Michela Rogora.

DEIMS:ID: <https://deims.org/7e5837a9-ee27-4e27-822a-f50e5217c313>

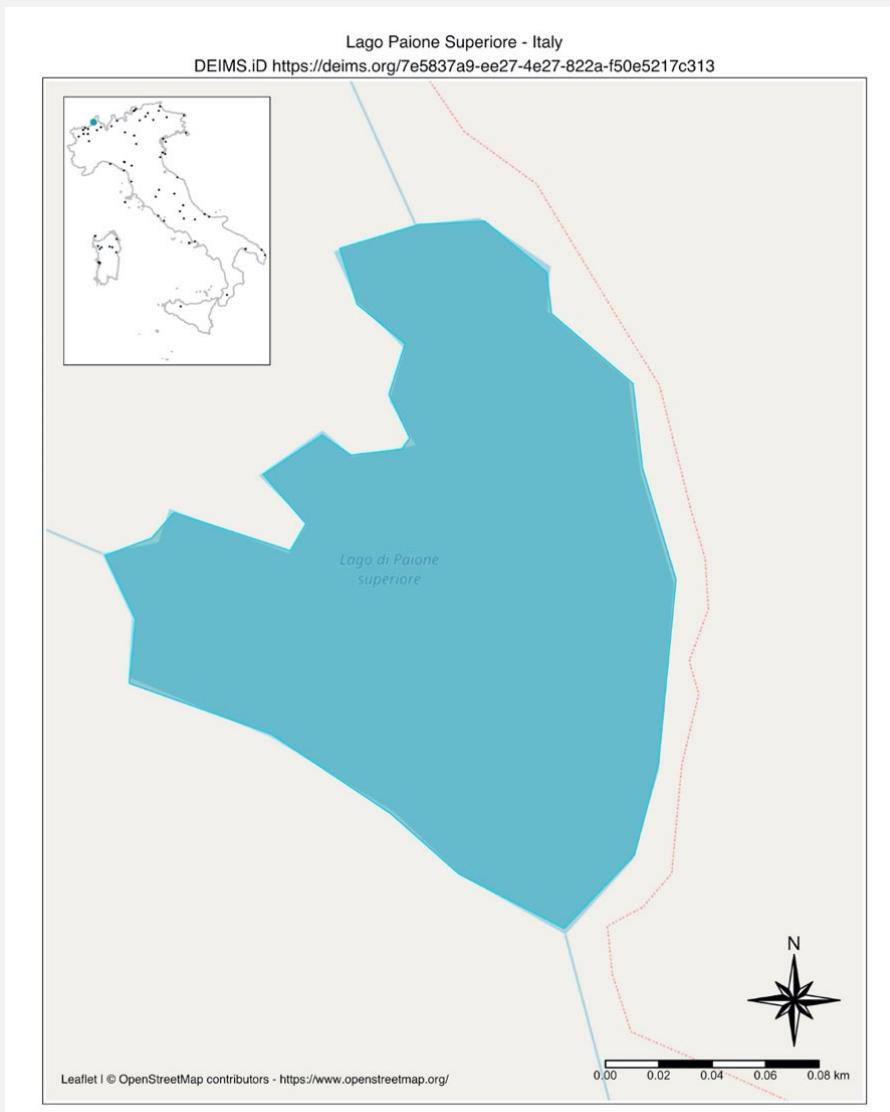




Fig. 4 - Lago Paione Superiore, con l'ubicazione della stazione meteorologica automatica (foto di G.A. Tartari)



Fig. 5 - Campionamento al Lago Paione Inferiore (foto di G. Varini)

Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Paione Superiore ed il Lago Paione Inferiore costituiscono due siti LTER indipendenti. Si tratta però di due laghi tra loro collegati e situati nello stesso areale geografico, ovvero la Val Bognanco, una valle tributaria della Val d'Ossola, nelle Alpi Occidentali (Piemonte, Provincia di Verbania-Cusio-Ossola). I progetti, le attività di ricerca e di divulgazione sono sempre stati condotti congiuntamente nei due siti e anche molti dei risultati ottenuti sono comuni ai due siti; per questo motivo vengono trattati insieme nei successivi paragrafi.

I laghi si trovano rispettivamente a 2002 e 2269 m s.l.m., sono di piccole dimensioni (0,86 e 0,68 ha) e con profondità massime di 13,5 e 11,5 m. I laghi Paione Inferiore e Superiore fanno parte di un sistema di tre laghi disposti in cascata e collegati tra loro. La composizione litologica prevalente dei bacini è costituita da rocce metamorfiche acide (ortogneiss, con piccole quantità di marmi, scisti calcarei e paragneiss nel bacino del Lago Paione Inferiore) e la copertura vegetale è limitata ad aree ristrette di prato-pascolo alpino circondate da roccia nuda e sfasciumi. Nei bacini non è presente alcuna forma di antropizzazione o di sfruttamento del territorio. I laghi sono raggiungibili a piedi in circa 2 ore di cammino.

Risultati

I laghi sono stati studiati per la prima volta negli anni '40 del secolo scorso da Vittorio Tonolli che ha raccolto informazioni sulla loro morfometria, eseguendo inoltre le prime analisi chimiche delle acque (Tonolli 1949). Dalla fine degli anni '70, i laghi vengono monitorati con continuità dal CNR IRSA (ex CNR ISE) di Verbania per quanto riguarda i dati abiotici (temperatura, ossigeno dissolto, composizione chimica delle acque, inclusi i nutrienti algali). I dati biotici sono più irregolari e riguardano popolamenti fito e zooplanctonici, macroinvertebrati bentonici e batteri (Marchetto *et al.* 2004). Sui Laghi Paione sono stati inoltre condotti studi paleolimnologici su carote di sedimento (Guilizzoni *et al.* 1996). Al monitoraggio di questi parametri si sono affiancati di volta in volta alcuni studi di dettaglio o approfondimenti, nel contesto di programmi di ricerca nazionali o internazionali (es. progetti UE: EMERGE – European Mountain lake Ecosystems: Regionalisation, diaGnostics & socio-economic Evaluation, RECOVER:2010 – Predicting recovery in acidified freshwater by the year 2010, and beyond, EUROLIMPACS – European project to evaluate impacts of global change on freshwater ecosystems) (Camarero *et al.* 2009). I laghi sono inoltre inclusi nei siti di monitoraggio del Programma ONU-ECE ICP Waters (Programma di Cooperazione Internazionale per la valutazione ed il monitoraggio degli effetti dell'acidificazione di fiumi e laghi) nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza (CLRTAP) (Mosello *et al.* 1999, 2000). Recentemente i Laghi Paione, insieme ad altri siti montani della rete LTER, sono stati considerati nel progetto di interesse speciale

NEXTDATA LTER Mountain, avente come obiettivo l'armonizzazione di dati esistenti e di nuova raccolta e di metadati su siti LTER in ecosistemi montani italiani (Lanucara *et al.* 2016).

A causa della composizione litologica del bacino, costituita da rocce acide e poco solubili, questi laghi si caratterizzano per un basso potere tampone delle acque ed un'elevata sensibilità all'acidificazione. Sono stati quindi tra i laghi alpini d'alta quota ad essere interessati dagli effetti delle piogge acide negli anni '70 ed '80. Successivamente, grazie soprattutto alla riduzione del contenuto di acidità e solfati nelle deposizioni, a seguito della diminuzione delle emissioni atmosferiche di SO₂, i laghi hanno evidenziato un aumento di pH e alcalinità e una diminuzione delle concentrazioni di alluminio, particolarmente evidente nel Lago Paione Superiore. Si sono osservati anche segni di ripresa nel comparto biologico, con la ricomparsa di alcune specie bentoniche sensibili all'acidità (Marchetto *et al.* 2004; Rogora *et al.* 2013).

Negli ultimi anni, a campionamenti ed analisi chimiche delle acque si è aggiunto il monitoraggio ad alta frequenza della temperatura dell'acqua a diverse profondità e dei livelli del Lago Paione Superiore mediante data-logger, per seguire le dinamiche della termica lacustre in relazione alla formazione della copertura ghiacciata (generalmente in novembre) e al disgelo (giugno-luglio). Presso il Lago Paione Superiore è inoltre presente una stazione meteorologica automatica gestita da ARPA Piemonte che consente di disporre di dati giornalieri di diverse variabili meteorologiche.

La disponibilità di serie di dati di lungo termine, sia chimici che biologici, per siti d'alta quota come i Laghi Paione, ha permesso di valutare nel tempo l'efficacia dei provvedimenti per l'abbattimento delle emissioni in atmosfera (in particolare di ossidi di zolfo e azoto), messi in atto nell'ambito della CLRTAP attraverso i suoi protocolli attuativi. Solo siti remoti, scarsamente antropizzati e per i quali l'inquinamento atmosferico è il principale fattore di pressione, si prestano infatti ad essere utilizzati per valutare la relazione dose-risposta tra emissioni di inquinanti e variazioni a livello di ecosistema. I Laghi Paione, insieme a pochi altri siti nell'area alpina e prealpina Nord-Occidentale, fortemente interessata dal problema delle deposizioni di inquinanti, sono stati quindi tra i pochi siti inclusi in programmi di monitoraggio e progetti internazionali per valutare gli effetti sugli ecosistemi delle politiche per la riduzione delle emissioni in atmosfera (Wright *et al.* 2005; Garmo *et al.* 2014).

Più recentemente, la disponibilità di serie lunghe di dati ha consentito di analizzare le variazioni di alcuni parametri biotici e abiotici ai fattori meteo-climatici, sia a medio che a lungo termine. In particolare,

si sono studiate temperatura, quantità e regime delle precipitazioni e durata della neve al suolo; queste analisi rivestono particolare importanza per ambienti sensibili al cambiamento climatico come i laghi d'alta quota (Rogora *et al.* 2013, 2018).

Un recente lavoro di confronto fra anni '90 e '00 sulla fauna a macroinvertebrati (Fig. 6) ha mostrato un impoverimento in gruppi faunistici a discapito dei Molluschi e dei vermi piatti nel Lago Paione Inferiore, mentre

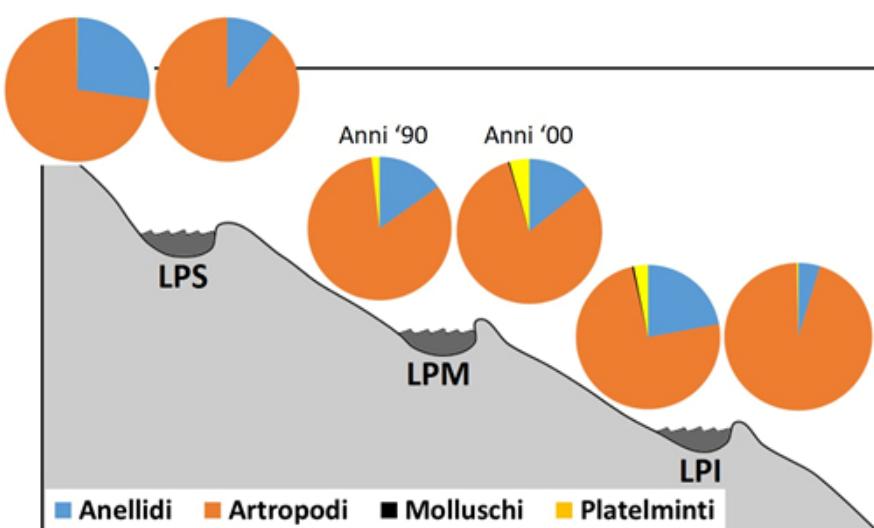


Fig. 6 - Confronto tra la composizione a macroinvertebrati degli anni '90 e '00 nei laghi Paione Superiore (LPS), Medio (LPM) ed Inferiore (LPI)

in entrambi i laghi vanno aumentando gli Artropodi (soprattutto Insetti). Nel Lago Paione Superiore, negli ultimi anni si è infatti osservata una riduzione del volume d'acqua all'interno del lago che ha lasciato scoperte le zone di riva a discapito degli Anellidi, che non trovano più un habitat favorevole alla loro sopravvivenza, in favore degli Insetti. Nel Lago Paione Inferiore, le aumentate temperature dell'aria e

dell’acqua causano invece la risalita dal fondovalle di specie alla ricerca di acque più fresche. Questa risalita è causa dell’incremento nelle specie di Insetti nelle acque di queste altitudini (Boggero *et al.* 2018).

Divulgazione

I Laghi Paione sono stati oggetto di diverse tesi di laurea e dottorato. Nel periodo recente, in particolare, sono stati considerati in tesi di laurea aventi come obiettivo rispettivamente il ruolo dei fattori meteo-climatici nelle dinamiche stagionali e interannuali della chimica delle acque e l’armonizzazione e archiviazione dei metadati e dei dati biologici in dataset dedicati. I Laghi Paione e i laghi d’alta quota delle Valli Ossola e Sesia sono stati oggetto di numerose presentazioni a carattere divulgativo presso scuole, enti di formazione e associazioni (es. CAI, associazioni naturalistiche). Inoltre, il Lago Paione Inferiore è stato tappa e sito di partenza nell’ambito di due Cammini della rete LTER Italia, rispettivamente “Rosa...azzurro...verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa al Lago Maggiore” (2015) e “Tra Laghi e Foreste: un cammino transfrontaliero dall’Italia alla Svizzera” (2018). In entrambe le occasioni presso il lago sono state svolte attività di campionamento e misura, coinvolgendo i partecipanti e illustrando loro le principali tematiche di ricerca LTER condotte nel sito.

Prospettive future

Nonostante la ripresa dall’acidificazione, i Laghi Paione, così come altri laghi d’alta quota nello stesso areale, rimangono dei siti sensibili all’apporto di inquinanti attraverso le deposizioni atmosferiche così come alle variazioni climatiche. Il mantenimento del loro monitoraggio, possibilmente esteso alla componente biologica, è quindi fondamentale per continuare a seguire la risposta di questi ambienti, stressati da rigide condizioni climatiche e scarse condizioni edafiche, sensibili a diversi fattori di pressione. Proprio a questo scopo, i Laghi Paione ed alcuni altri laghi d’alta quota in Val d’Ossola sono stati recentemente inseriti nella rete di monitoraggio italiana coordinata dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per la valutazione degli effetti dell’inquinamento atmosferico sugli ecosistemi ai sensi della Direttiva 2016/2284 (Direttiva NEC). Sui laghi quindi, oltre ai principali parametri abiotici, verranno investigati i popolamenti a macroinvertebrati e diatomee, ritenuti ottimi indicatori degli impatti dei cambiamenti globali (deposito di inquinanti atmosferici, cambiamenti climatici) sugli ecosistemi acquatici, in particolare sui laghi d’alta quota. In alcuni bacini lacustri, sempre in Val d’Ossola, in collaborazione con ARPA Piemonte, sono inoltre in corso degli studi per analizzare le variazioni temporali della chimica delle acque in relazione alla degradazione della criosfera (ghiacciai, permafrost).

Abstract

Lakes Paione Inferiore and Superiore are located in the Bognanco Valley, Central Alps, Piedmont region, at 2002 and 2269 m a.s.l. respectively. Their catchments consist of acid, low-weatherable rocks (gneiss, granites) and vegetation cover is limited to small areas of alpine meadows. Due to these characteristics, the lakes proved to be highly sensitive to acidification. However, due to the decreasing emission and deposition of acidifying compounds (SO_4 , NO_3), the lakes recovered from acidification since the 1990s. Positive trends of pH and alkalinity and decreasing concentrations of aluminium were detected in the lakes, together with the recolonization by some acid-sensitive species. Recently, research on these lakes mainly focuses on the possible effects of climate change on lake chemistry and biology, also by high-frequency monitoring of some basic parameters. The lakes have been included in several EU funded project on mountain lakes, as well as in the monitoring network of the ICP WATERS Programme (International Cooperative Programme for assessment and monitoring of the effects of air pollution on rivers and lakes).

Lago di Tovel

Autori

Giovanna Flaim, Stefano Corradini, Ulrike Obertegger

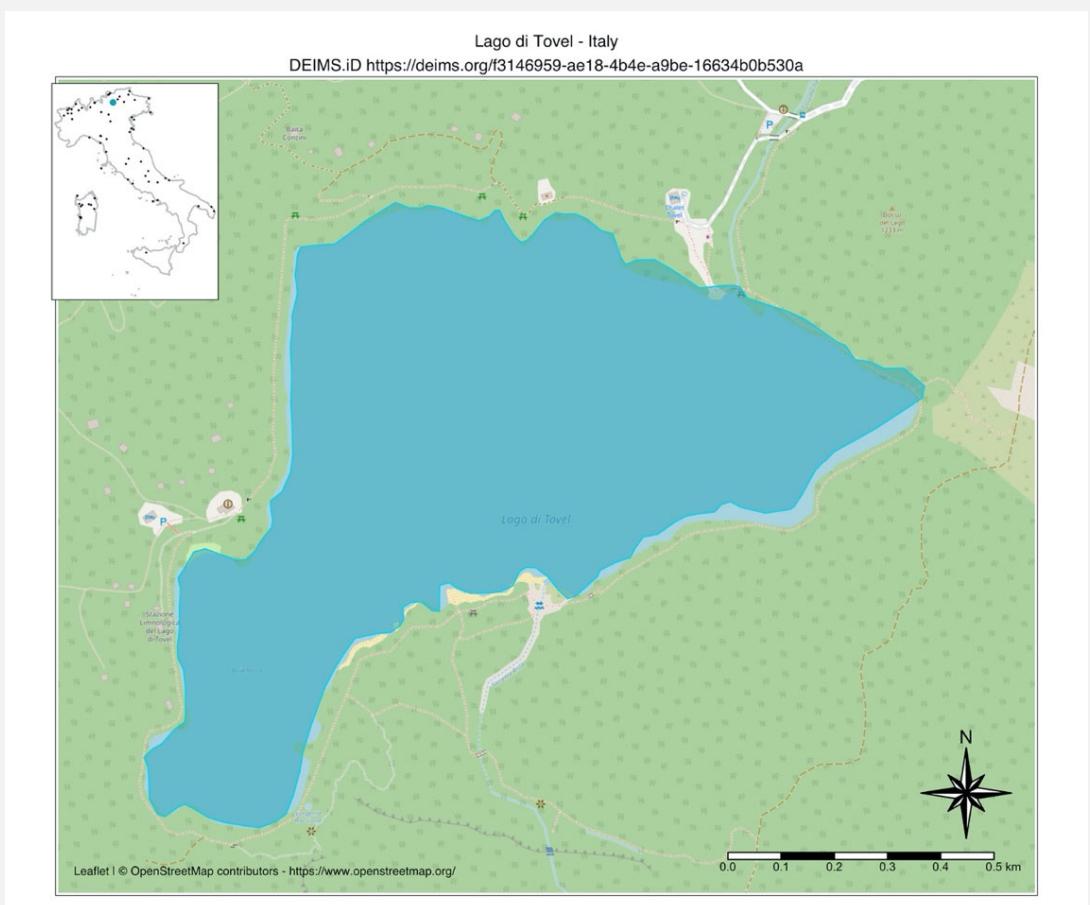
Affiliazioni

Fondazione Edmund Mach (FEM) – 38010 San Michele all'Adige TN.

Sigla: IT09-005-A.

Responsabile sito: Ulrike Obertegger.

DEIMS:ID: <https://deims.org/f3146959-ae18-4b4e-a9be-16634b0b530a>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago di Tovel (46.26137 N, 10.94934 E; 1178 m s.l.m.; area 39 ha; volume $7,49 \times 10^6$ m³; profondità massima 39 m) si trova in Trentino, nel cuore delle Dolomiti di Brenta (Fig.7). Originalmente era un piccolo lago glaciale che è stato ridimensionato nell'attuale lago durante il Medio Evo a causa di una frana di sbarramento. Il Lago di Tovel gode diverse protezioni legislative: è tutelato dalla Convenzione di Ramsar, fa parte dell'UNESCO World Heritage Site delle Dolomiti (www.dolomitiunesco.info) e si trova all'interno del Parco Naturale Adamello Brenta (www.pnab.it), dal 2015 è riconosciuto come UNESCO Global Geopark (www.unesco.org/geoparks/).



Fig. 7 - Il Lago di Tovel (Foto di G. Salomon)

Il Lago di Tovel è stato oggetto di ricerca naturalistica già dalla fine del 1800 da parte di naturalisti italiani e stranieri. Il grande interesse per questo piccolo lago, documentato da più di 300 pubblicazioni divulgative e scientifiche, ha avuto origine principalmente da una affascinante fioritura algale localizzata in una insenatura, nota come Baia Rossa. Negli anni 1937-1939 il lago fu studiato dal limnologo Edgardo Baldi dell'Istituto Italiano di Idrobiologia di Pallanza. Baldi focalizzò il suo interesse

sul fenomeno dell'arrossamento delle acque, contribuendo anche a una più approfondita conoscenza della comunità zooplanctonica (Baldi 1941). Qualche rara ricerca fu svolta durante il periodo post-bellico, ma è con la scomparsa dell'arrossamento nel 1964 che iniziò nei primi anni '70 un approccio più olistico, con l'installazione di una stazione meteorologica e uno studio limnologico dettagliato condotto tra il 1973 e il 1979 da Attilio Arrighetti e Maurizio Siligardi (Arrighetti & Siligardi 1979). Il periodo 1980-1994 fu caratterizzato da sporadiche attività di ricerca (Paganelli *et al.* 1992).

Dal 1995 la Fondazione Edmund Mach (FEM) conduce ricerche limnologiche di base tramite profili mensili delle più importanti variabili fisiche, chimiche e biologiche. In particolare, come analisi strumentali in campo si rilevano profili verticali di temperatura, ossigeno dissolto, conducibilità, pH e redox con una sonda multiparametrica, di PAR con radiometro, e di clorofilla con fluorimetro. Le analisi chimiche sui principali nutrienti, cationi/anioni e isotopi stabili vengono effettuate a profondità discrete. Per quanto riguarda i parametri biologici, si analizzano la clorofilla, il fitoplancton e lo zooplankton su colonna integrata. Nel 2009 è stata installata una piattaforma in centro lago fornita di sensori che rilevano in continuazione (*high frequency data* – HF) la temperatura, l'ossigeno e la luce a varie profondità. Recentemente si è aggiunta anche l'analisi della comunità batterica tramite *high throughput sequencing*. Inoltre, la FEM gestisce la stazione meteorologica in riva al lago.

Nel 2002 la Provincia Autonoma di Trento ha finanziato il progetto di ricerca SALTO (2002-2005) per individuare le cause del mancato arrossamento. È stato chiarito l'identità dell'alga responsabile

dell’arrossamento, l’importanza del ruolo dell’idrologia nel determinare le caratteristiche fisiche e biologiche del lago e come cambiamenti nella gestione del pascolo sovrastante il lago abbiano fortemente ridotto il flusso di nutrienti verso la Baia Rossa, così che le sue acque non erano più in grado di sostenere la fioritura algale, causa dell’arrossamento (Borghi *et al.* 2006).

Inoltre, la Provincia Autonoma di Trento ha finanziato il progetto di ricerca ECOPLAN (2006-2008) e poi il progetto CERCA (2007-2009) per studiare l’autecologia e i meccanismi di fotoprotezione del dinoflagellato *Borghiella dodgei* del Lago di Tovel (Flaim *et al.* 2010; Obertegger *et al.* 2011). Il progetto europeo COST ACTION ES 1201 NETLAKE (2012-2016) ha promosso l’uso della sensoristica nello studio dei laghi (de Eyto *et al.* 2016) e ha cercato di avvicinare i cittadini al mondo della scienza tramite iniziative di Citizen Science (Seelen *et al.* 2018). Il Lago di Tovel fa anche parte della rete internazionale GLEON (www.gleon.org), un’associazione a supporto della comunità limnologica e che promuove l’uso di sensori nei laghi.

I dati di base forniti dal programma LTER hanno consentito di approfondire le classiche tematiche limnologiche (Cellamare *et al.* 2016; Morabito *et al.* 2016) e di sviluppare nuovi filoni di ricerca.

Risultati

- Il lago, freddo e trasparente, ha dato la possibilità di studiare l’ecofisiologia di alcune alghe, con particolare attenzione agli acidi grassi e sostanze fotoprotettive (Anesi *et al.* 2016; Flaim *et al.* 2010, 2012, 2014; Frassanito *et al.* 2008; Obertegger *et al.* 2011).
- L’idrologia dinamica del Lago di Tovel ha evidenziato l’importanza dell’idrologia come fattore importante per la comunità planctonica (Obertegger *et al.* 2008, 2018).
- L’utilizzo degli isotopi stabili si è dimostrato un utile strumento per determinare l’origine delle acque lacustri e i processi di evaporazione (Perini *et al.* 2009; Flaim *et al.* 2013, 2019).
- L’ecologia molecolare ha consentito una visione più dettagliata della biodiversità, sia di rotiferi (Cieplinski *et al.* 2017, 2018; Obertegger *et al.* 2012, 2014), sia di batteri (Obertegger *et al.* 2018, 2019).
- Lo studio della diversità funzionale ha dato una conoscenza meccanistica dell’assemblaggio della comunità zooplanktonica (Obertegger & Flaim 2015, 2018).
- Lo studio di ecologia di movimento con un rotifero (*Keratella cochlearis*) del Lago di Tovel ha evidenziato che maschi e femmine dimostrano velocità e pattern diversi (Obertegger *et al.* 2018).
- La presenza della piattaforma in centro lago ha permesso collegamenti con altre reti internazionali (Marcè *et al.* 2016; Block *et al.* 2018).
- La possibilità di avere dati HF nel periodo invernale (sotto ghiaccio) ha evidenziato dinamiche inaspettate legate allo spessore del ghiaccio e la copertura nivale (Obertegger *et al.* 2017) contribuendo così alla conoscenza limnologica invernale, una stagione spesso sottovalutata.

Divulgazione

Tra le attività divulgative a livello nazionale ricordiamo l’interessante iniziativa i ‘Cammini LTER’ organizzata dal LTER-Italia. Nel 2016, in occasione del cammino ‘dalla Montagna al Mare’, diversi ricercatori italiani impegnati nei siti LTER hanno percorso, assieme a cittadini interessati, alcuni itinerari allo scopo di fare divulgazione scientifica. Il sito LTER di Tovel faceva parte di uno di questi itinerari.

In sede locale le attività LTER vengono periodicamente presentate alla comunità del luogo tramite incontri nelle biblioteche e nelle scuole territoriali. Inoltre, essendo Tovel un lago di grande richiamo naturalistico e ambientale, in questi ultimi anni è stato spesso scelto come meta per una visita tecnica durante i congressi PPNW (Physical Processes in Natural Waters, Trento luglio 2014), ForestSAT Conference (Riva del Garda novembre 2014) e il Workshop LFC17 (Old and New Strong Interactions from LHC to Future Colliders, Trento settembre 2017).

Il Lago di Tovel è stato oggetto di un dottorato sulla diversità criptica del rotifero *Keratella cochlearis* (Cieplinski 2018) e alcune tesi di laurea triennali e magistrali, nonché di tirocini vari, contribuendo così

alla formazione scientifica di future generazioni di ricercatori. La FEM gestisce anche un sito internet dedicato (<https://lter-tovel.fmach.it>) dove il visitatore può trovare le informazioni di base sull'attività LTER, incluso un elenco completo delle pubblicazioni sul Lago di Tovel.

L'interesse per il Lago di Tovel non è solamente legato alla limnologia, ma anche alla sua importanza per la comunità trentina. Il lago e l'omonima valle sono un forte richiamo turistico, nonché fonte di acque irrigue e produzione di energia elettrica. Il coinvolgimento degli uso-fruitori e gestori locali e l'ampliamento del sito da sito di ricerca a piattaforma LTSER rappresenta una nuova frontiera anche per Tovel (Angelstam *et al.* 2018). Inoltre, la peculiare idro-geologia del Lago di Tovel fa sì che esso si comporti come un lago d'alta montagna pur trovandosi ad appena 1178 m sul livello del mare. Questo aspetto lo rende un laboratorio naturale ideale per studiare fenomeni abiotici e biotici legati ai cambiamenti globali.

Prospettive future

Le attività LTER al Lago di Tovel continueranno compatibilmente con le risorse disponibili.

Abstract

Located in the Adamello Brenta Natural Park (Trentino, Italy), Lake Tovel (46.26137N, 10.94934E; 1178 m a.s.l.) enjoys a high conservation status, as conferred by the RAMSAR Convention and UNESCO (part of the World Heritage site *The Brenta Dolomites*). This cold, clear, oligotrophic lake has been studied by the Fondazione Edmund Mach (FEM) continuously since 1995 and is part of the LTER network since 2012 and of the GLEON network (www.gleon.org). Monthly sampling includes physical, chemical and biological parameters. The central-lake platform equipped with high frequency sensors gives us the opportunity to investigate environmental processes at lower temporal scales respect to traditional limnological sampling. The lake's hydrology, heavily dependent on snow from the Brenta Mountains, makes it an ideal site to investigate and document the effects of climate change on alpine lakes. Ongoing research has focused on the importance of hydrology in structuring the planktic community, the functional diversity of plankton, the ecophysiology of some psychrophilic algae, lake metabolism, and the use of stable isotopes as environmental tracers. A complete list of publications is available at our site <https://lter-tovel.fmach.it>.

Lago di Anterselva

Autori

Renate Alber, Samuel Vorhauser

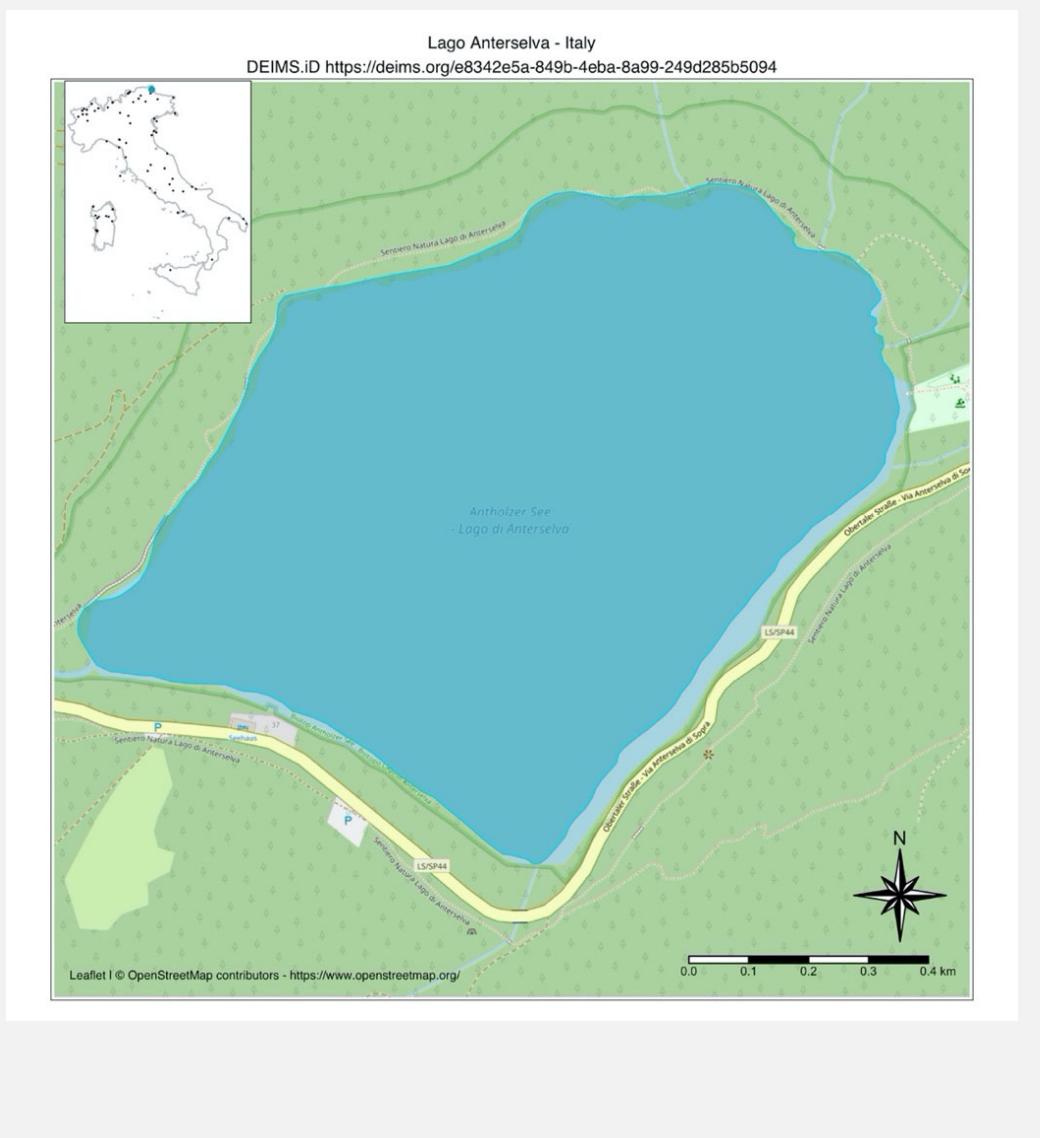
Affiliazioni

Provincia autonoma di Bolzano, Agenzia Provinciale per l'Ambiente e la tutela del clima, Laboratorio Biologico, Via Sottomonte 2, 39055 Laives (BZ).

Sigla: IT09-006-A.

Responsabile sito: Renate Alber.

DEIMS:ID: <https://deims.org/e8342e5a-849b-4eba-8a99-249d285b5094>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago di Anterselva si trova ad un livello di 1642 m s.l.m. Ha una profondità massima di 38 m e si estende su 43,3 ettari, quindi è il terzo lago per superficie tra i laghi naturali della provincia di Bolzano e per il suo fascino da sempre frequentato da turisti. Il lago, interamente circondato da bosco di conifere, si è formato per sbarramento e si trova attualmente in uno stato oligotrofico. Il bacino imbrifero è costituito da rocce acide e morene. Il territorio circostante presenta arbusti, rocce con vegetazione pioniera e pascolo.

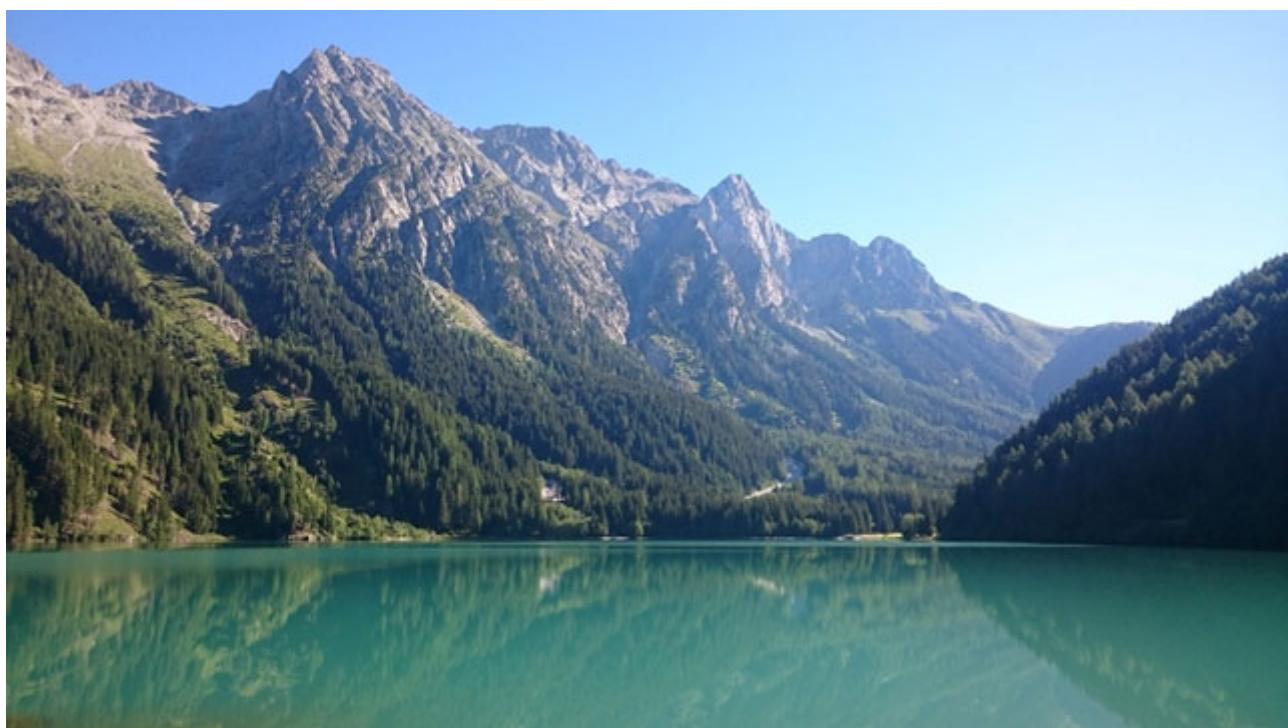


Fig. 8 - Il Lago di Anterselva (Foto: Laboratorio Biologico)

Dal 1979 il lago è oggetto di studio allo scopo di monitorare il suo stato limnologico ed il suo sviluppo nel tempo con rilevamenti effettuati ad intervalli irregolari durante l'intero anno. Vengono analizzati parametri biotici (clorofilla, fitoplancton e zooplancton) e abiotici (temperatura, alcalinità, conducibilità, durezza, pH, concentrazioni di calcio, cloruri, silice, potassio, magnesio, fosforo reattivo, sodio, ammonio, nitrati, ossigeno dissolto, solfati, fosforo dissolto, ferro, azoto totale, carbonio totale, fosforo totale, e il livello del lago). Dal 2008 è sottoposto al rilevamento dei diversi elementi biologici previsto dalla direttiva europea sulle acque: oltre al fitoplancton sono analizzati e valutati ad intervalli prestabiliti anche le macrofite, la fauna bentonica e i pesci.

Poiché il lago è situato in una zona caratterizzata dalla presenza di “rock-glacier”, i dati di lungo termine di chimica, fisica e plancton possono contribuire ad individuare gli effetti dei cambiamenti climatici (scioglimento di permafrost).

Risultati

In Fig. 9 sono riportati gli andamenti dei principali parametri monitorati nel Lago di Anterselva; lo stesso monitoraggio viene svolto, sempre dal 1979, anche negli altri siti di ricerca.

Nonostante le fluttuazioni annuali e stagionali di fosforo totale e clorofilla si può notare che i valori sono molto bassi: il fosforo totale a partire degli anni 2007 tende a diminuire e comunque sta attorno a 5 µg/l. Anche i valori di azoto nitrico, ammoniacale e organico totale mostrano una leggera tendenza a diminuire in questo millennio. I valori minimi di ossigeno dissolto non vanno mai a 0 e i valori massimi sono quasi sempre a livello di saturazione (Fig. 9).

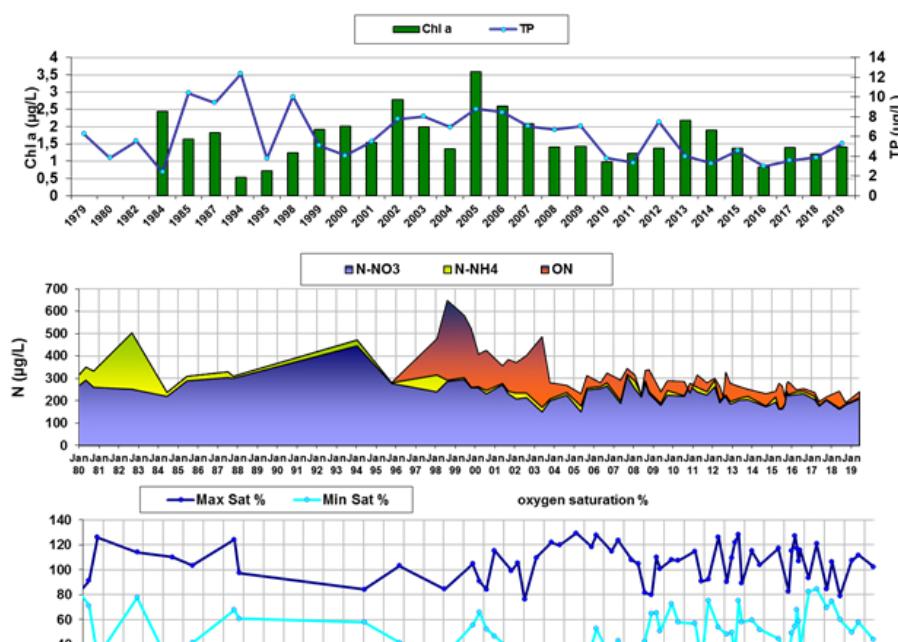


Fig. 9 - Andamenti dei principali parametri monitorati nel Lago di Anterselva durante l'intero periodo di osservazioni a lungo termine

Prospettive future

Si prevede di mantenere le attività di ricerca e le collaborazioni.

Abstract

Lake Anterselva is located in the province of Bolzano and the main monitoring activity is done by the Biological Laboratory of the Environmental Agency of the province of Bolzano. The lake has been monitored for chemical and physical parameters since 1979. Because of its high naturalistic value, Lake Anterselva is part of the European network monitoring programme since 2008 and is subjected to the survey of various biological elements according to the European WFD directive: in addition to phytoplankton, macrophytes, benthic fauna and fish are analyzed and evaluated at predetermined minimum intervals as well. The zooplanktonic composition is also monitored.

Lake Anterselva lies at 1642 m a.s.l., it has a maximum depth of 38 m and a surface area of 43,3 ha. The lake, wholly surrounded by conifers wood, is of barrier origin and has presently an oligotrophic state. Being situated in an area of rock-glacier, the long-term data of chemistry, physics and plankton of this lake may be useful to identify the effects of climate change.

Nel Lago di Anterselva sono stati condotti studi su rotiferi in collaborazione con la Fondazione Mach (Obertegger *et al.* 2007a, 2007b, 2010). Le lunghe serie di dati disponibili sul sito vengono messe a disposizione di altri istituti di ricerca come l'EURAC (European Research Academy) e l'Istituto di Senckenberg, come anche il Wassercluster di Lunz.

Lago di Braies

Autori

Renate Alber, Samuel Vorhauser

Affiliatione

Provincia autonoma di Bolzano, Agenzia Provinciale per l'Ambiente e la tutela del clima, Laboratorio Biologico, Via Sottomonte 2, 39055 Laives (BZ).

Sigla: IT09-007-A.

Responsabile sito: Renate Alber.

DEIMS:ID: <https://deims.org/c54a2c21-2079-400d-b169-5e2de8dfdf06>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago di Braies si trova ad un livello di 1496 m s.l.m. Ha una profondità massima di 36 m e si estende su 33 ha. Il Lago di Braies è il quarto lago per superficie tra i laghi naturali della provincia di Bolzano e attira nel periodo estivo per il suo fascino paesaggistico molti visitatori, è stato anche scenario delle riprese del film “Un passo dal cielo”. Il lago è oligotrofico e si è formato per sbarramento. Il bacino imbrifero è costituito quasi esclusivamente da rocce calcaree. Il suolo del bacino presenta roccia, pascolo, bosco, arbusti e vegetazione pioniera. Il lago è alimentato prevalentemente da acque di scioglimento della neve che arrivano al lago principalmente attraverso sorgenti sotterranee. Anche gli effluenti sono principalmente sotterranei. Le fluttuazioni annuali di livello sono di 3-4 m.



Fig. 10 - Il Lago di Braies (Foto: Laboratorio Biologico)

Dal 1979 il Lago di Braies è oggetto di studio allo scopo di monitorare lo stato limnologico e lo sviluppo nel tempo (Irmler *et al.* 2006), sebbene ad intervalli irregolari durante l'anno. Vengono analizzati parametri biotici (clorofilla, fitoplancton e zooplancton) e abiotici (temperatura alcalinità, conducibilità, durezza, pH, concentrazioni di calcio, cloruri, silice, potassio, magnesio, fosforo reattivo, sodio, ammonio, nitrati, ossigeno dissolto, solfati, fosforo dissolto, ferro, azoto totale, carbonio totale, fosforo totale, e il livello del lago). Per il suo elevato valore naturalistico il lago dal 2008 fa parte della rete europea di monitoraggio ed è sottoposto al rilevamento dei diversi elementi biologici previsti dalla direttiva europea sulle acque: oltre al fitoplancton sono analizzati e valutati ad intervalli prestabiliti anche le macrofite, la fauna bentonica e i pesci.

Risultati

Come il Lago di Anterselva, anche il Lago di Braies presenta valori di fosforo totale e clorofilla molto bassi. Il fosforo totale è infatti attorno a 4 µg/l e non supera mai valori di 7 µg/l. Le concentrazioni di azoto nitrico, ammoniacale e organico totale tendono a diminuire negli ultimi 10 anni. Le concentrazioni minime di ossigeno dissolto sono quasi sempre superiori al 40% come saturazione (Fig. 11).

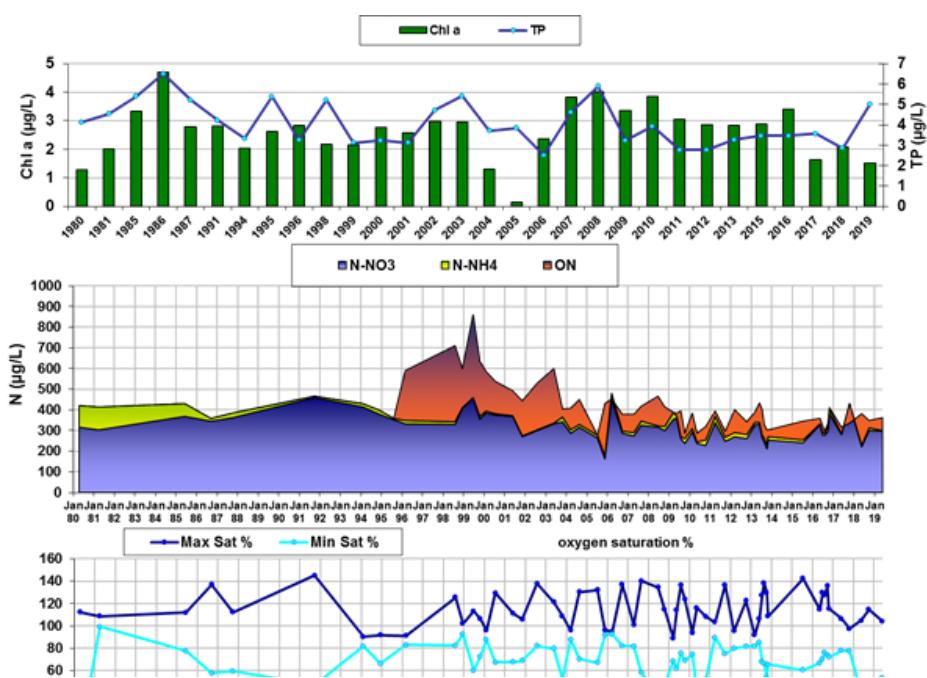


Fig. 11 - Andamenti dei principali parametri monitorati nel Lago di Braies durante l'intero periodo di osservazioni a lungo termine

Prospettive future

Si prevede di mantenere le attività di ricerca e le collaborazioni.

Abstract

Lake Braies is located in the province of Bolzano and the main monitoring activity is done by the Biological Laboratory of the Environmental Agency of the province of Bolzano. The lake has been monitored about its chemical and physical parameters since 1979. Because of its high naturalistic value, lake Braies is part of the European network monitoring programme since 2008 and is subjected to the survey of its various biological elements according to the European WFD directive: in addition to phytoplankton, macrophytes, benthic fauna and fish are analysed and evaluated at predetermined minimum intervals as well. The zooplanktonic composition is also monitored.

Lake Braies lies at 1496 m a.s.l, it has a maximum depth of 36 m and a surface area of 33 ha. The lake is oligotrophic and was formed by damming. The lake is fed primarily by snowmelt water that reaches the lake mainly through underground springs. The outlet is also mostly underground. The annual fluctuations in level are of 3-4 m.

Nel Lago di Braies sono stati condotti studi su rotiferi in collaborazione con la Fondazione Mach (Obertegger *et al.* 2007a, 2007b, 2010). Le lunghe serie di dati disponibili sul sito vengono messe a disposizione di altri istituti di ricerca come l'EURAC (European Research Academy) e l'Istituto di Senckenberg, come anche il Wassercluster di Lunz.

Lago Piccolo di Monticolo

Autori

Renate Alber, Samuel Vorhauser

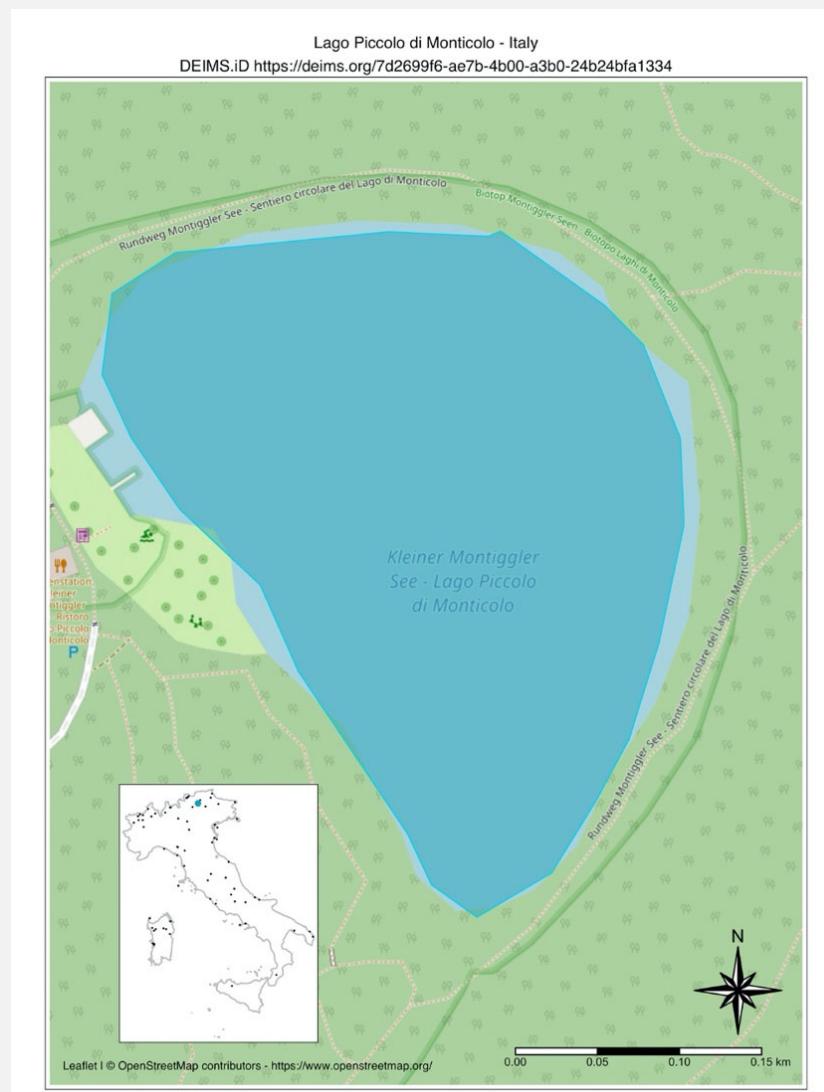
Affiliatione

Provincia autonoma di Bolzano, Agenzia Provinciale per l'Ambiente e la tutela del clima, Laboratorio Biologico, Via Sottomonte 2, 39055 Laives (BZ).

Sigla: IT09-008-A.

Responsabile sito: Renate Alber.

DEIMS:ID: <https://deims.org/7d2699f6-ae7b-4b00-a3b0-24b24bfa1334>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Piccolo di Monticolo si trova ad un livello di 519 m s.l.m. Ha una profondità massima di 14,8 m e si estende su 5,2 ha. Si trova su formazioni geologiche di porfido ed è stato formato da escavazioni glaciali. Il lago non possiede affluenti e viene alimentato solamente da precipitazioni e acqua di falda.



Fig. 12 - Andamenti dei principali parametri monitorati nel Lago Piccolo di Monticolo durante l'intero periodo di osservazioni a lungo termine

L'effluente spesso non porta acqua.

Il lago si trova in condizioni intermedie tra eutrofia e mesotrofia. Tali condizioni sono dovute al ridotto ricambio, alle caratteristiche morfologiche (cuvetta lacustre a pareti ripide, estensione della zona di fondo), alla balneazione e alla gestione della pesca. Per alleviare gli effetti dell'eutrofizzazione, dal 1978 viene eseguita ogni anno durante il periodo invernale di copertura ghiacciata un'ossigenazione artificiale delle acque. Dal febbraio 1979 si effettua, quando il livello del

lago lo permette, una saltuaria emersione selettiva delle acque del fondo (Thaler & Tait 1981, 1995). L'ossigenazione rappresenta un provvedimento di sostegno che non è in grado di abbassare i nutrienti, ma solo di alleviare le manifestazioni negative dell'eutrofizzazione. L'asporto dell'acqua del fondo non ha effetti immediati sulla chimica dell'acqua del lago, perché le quantità periodicamente asportate sono limitate e perché il sedimento ha accumulato negli anni passati grandi quantità di nutrienti che ora rilascia lentamente.

Il Lago Piccolo di Monticolo viene monitorato dal 1979. Vengono analizzati parametri biotici (clorofilla, fitoplancton e zooplancton) e abiotici (temperatura, alcalinità, conducibilità, durezza, pH, concentrazioni di calcio, cloruri, silice, potassio, magnesio, fosforo reattivo, sodio, ammonio, nitrati, ossigeno dissolto, sulfati, fosforo dissolto, ferro, azoto totale, carbonio totale, fosforo totale, e il livello del lago). Negli anni passati è stata individuata anche per la prima volta in provincia di Bolzano la medusa d'acqua dolce *Craspedacusta sowerbii* (Morpurgo & Alber 2015).

Risultati

I valori più elevati di clorofilla sono stati osservati nel lago negli anni '80 e '90, agli inizi dell'attività di risanamento del lago. Anche i valori più elevati di fosforo totale risalgono a questi anni. Dopo quel periodo invece si sono attestati valori attorno a 75 µg/l, comunque elevati. L'azoto organico totale, misurato dalla metà degli anni novanta, mostra una leggera tendenza alla diminuzione. Lo stesso vale per i nitrati e per l'ammonio. I livelli di ossigeno dissolto sono molto variabili a seconda della profondità e della stagione di campionamento. In inverno nelle acque profonde spesso si osservano fenomeni di anossia (Fig. 13).

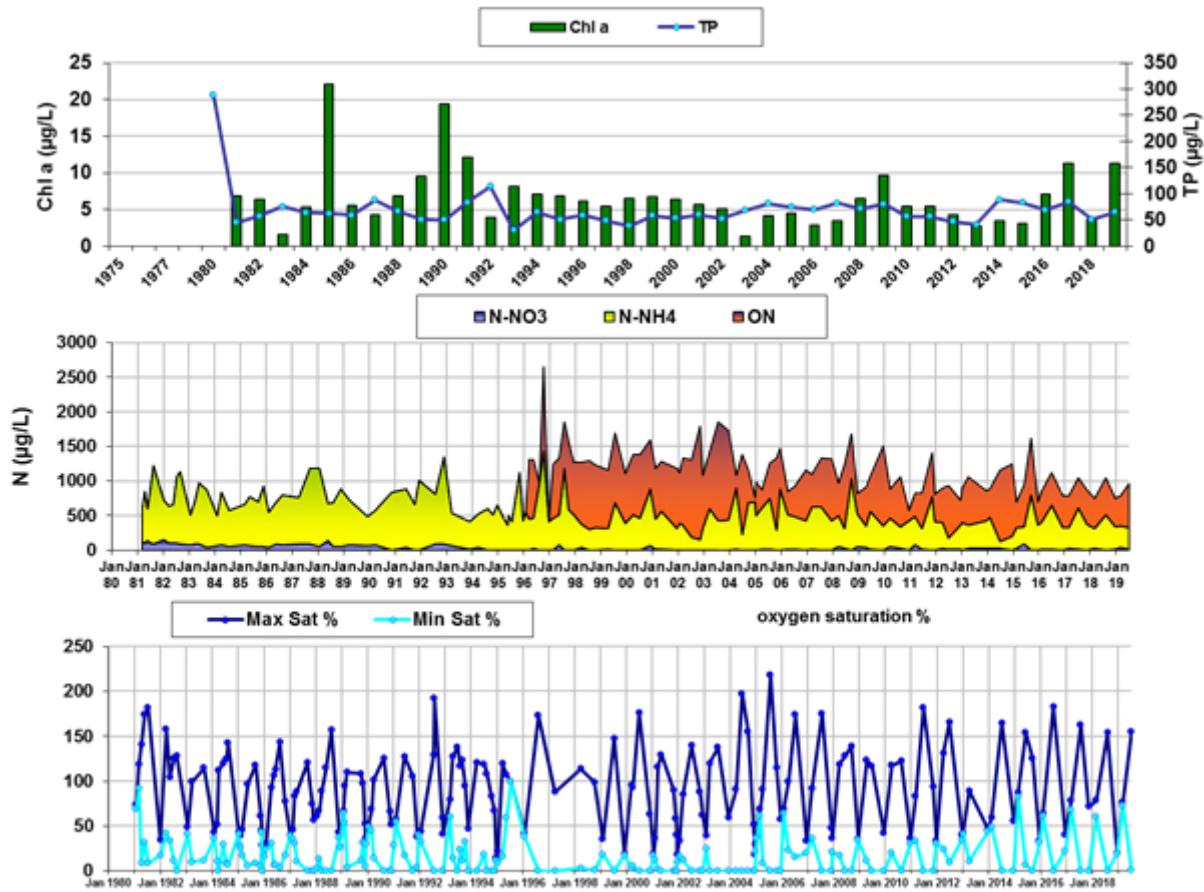


Fig. 13 - Andamenti dei principali parametri monitorati nel Lago Piccolo di Monticolo durante l'intero periodo di osservazioni a lungo termine

Nel Lago Piccolo di Monticolo sono stati condotti studi su rotiferi in collaborazione con la Fondazione Mach (Obertegger *et al.* 2007a, 2007b, 2010). Le lunghe serie di dati disponibili sul sito vengono messe a disposizione di altri istituti di ricerca come l'EURAC (European Research Academy) e l'Istituto di Senckenberg, come anche il Wassercluster di Lunz.

Prospettive future

Si prevede di mantenere le attività di ricerca e le collaborazioni.

Abstract

The Small lake of Monticolo is located in the province of Bolzano and the main monitoring activity is done by the Biological Laboratory of the Environmental Agency of the province of Bolzano. The lake has been monitored about its chemical and physical parameters since 1979. It is subjected to the survey of various biological elements: in addition to phytoplankton also zooplankton is analyzed and evaluated at predetermined minimum intervals as well.

The Small Lake of Monticolo lies at 519 m a.s.l., it has a maximum depth of 14,8 m and a surface area of 5,2 ha. The lake is surrounded by mixed forest and suffers from natural and cultural eutrophication due to slow water renewal, unfavourable morphological characteristics and the intensive anthropogenic exploitation (bathing and fish stockings).

Sitografia

<https://lter-tovel.fmach.it>
<https://ambiente.provincia.bz.it/acqua/laghi.asp>
<http://www.parcoappennino.it/index.php>

Bibliografia citata nel testo

- Antonietti R., Ferrari I., Rossetti G., Tarozzi L., Viaroli P. (1988). Zooplankton structure in an oligotrophic mountain lake in Northern Italy. Verh. Internat. Verein. Limnol. 23: 545-552.
- Arrighetti A., Siligardi M. (1979). Analisi idrobiologiche al lago di Tovel (TN). Quaderni di Esperienze e Ricerche 5: 1-69.
- Baldi E. (1941). Ricerche idrobiologiche sul lago di Tovel. Memorie del Museo di Storia Naturale della Venezia Tridentina 6: 1-297.
- Bondavalli C., Bodini A., Rossetti G., Allesina S. (2006). Detecting stress at the whole ecosystem level. The case of a mountain lake: Lake Santo (Italy). Ecosystems 9: 768-787.
- Borghi B., Borsato A., Cantonati M., Corradini F., Flaim G. (eds) (2006). Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Biologica 81: 1-472.
- Brian A. (1927). Copepodi raccolti in alcuni laghi delle Alpi e dell'Appennino e descrizione di nuove forme di *Diaptomus*. Mem. Soc. Entomol. Ital. 6: 26-36.
- Brian A. (1924). Il lago Santo Parmense sotto l'aspetto faunistico. Biblioteca della "Giovane Montagna" 27 2-11.
- Ferrari I., Ascolini A., Bellavere C. (1977). Considerazioni conclusive sui risultati di ricerche pluriennali al Lago Santo Parmense. L'Ateneo Parmense – Acta Naturalia 13: 433-444.
- Ferrari I., Bellavere C., Antonietti R. (1973). Ricerche su idrochimica, biocenosi planctoniche e zoobenton del Lago Santo Parmense (Appennino Settentrionale). L'Ateneo Parmense, Acta Naturalia vol. IX – fasc. 3.
- Guilizzoni P., Marchetto A., Lami A., Cameron N.G., Appleby P.G., Rose N.L., Schnell Ø.A., Belis C.A., Giorgis A., Guzzi L. (1996). The environmental history of a mountain lake (Lago Paione Superiore, Central Alps, Italy) for the last c. 100 years: a multidisciplinary, paleolimnological study. J. Paleolimnol. 15: 245-264.
- Irmler R., Daut G., Mäusbacher R. (2006). A debris flow calendar derived from sediments of Lake Lago di Braies (N. Italy). Geomorphology 77: 69-78.
- Maldini M., Nonnis Marzano F., Piccinini A., Rossetti G., Arduini F., Pedesini U., Gandolfi G. (2004). Caratterizzazione morfologica ed ecologica del Salmerino alpino (*Sahelinus alpinus* L. 1758) del Lago Santo Parmense. Biol. Amb. 18: 1-6.
- Marchetto A., Mosello R., Rogora M., Manca M., Boggero A., Morabito G., Musazzi S., Tartari G.A., Nocentini A.M., Pugnetti A., Bettinetti R., Panzani P., Armiraglio M., Cammarano P., Lami A. (2004). The chemical and biological response of two remote mountain lakes in the Southern Central Alps (Italy) to twenty years of changing physical and chemical climate. Journal of Limnology 63: 77-89.
- Moroni A. (1954). Primi risultati e metodologia delle ricerche idrobiologiche al Lago Santo Parmense. Bollettino Zoologia 21:223-229.
- Moroni A. (1962). I laghi della Val Parma. Edizioni de "L'Ateneo Parmense", Parma, pp. 132.
- Mosello R., Marchetto A., Boggero A., Brizzio M.C., Tartari G.A., Rogora M. (1999). Pluriannual evolution of the hydrochemistry of two alpine lakes (Lake Paione Inferiore and Lake Paione Superiore, Ossola Valley) in relation to atmospheric loads. Journal of Limnology 58: 43-49.
- Mosello R., Marchetto A., Brizzio M.C., Rogora M., Tartari G.A. (2000). Results from the Italian Participation in the International Co-operative programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes (ICP Waters). J. Limnol. 59: 47-54.

-
- Obertegger U., Thaler B., Flaim G. (2007a). Habitat constraints of *Synchaeta* (Rotifera) in lakes (Trentino-SouthTyrol, Italy). *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 30: 302-306.
- Obertegger U., Thaler B., Flaim G. (2007b). Vorkommen der Gattung *Synchaeta* Ehrenberg, 1832 (Rotifera: Monogononta: Synchaetidae) in den Seen Südtirols. *Gredleriana* 7: 141-154.
- Paganelli A. (1992). Lake Tovel (Trentino): limnological and hydrobiological aspects. *Memorie Istituto italiano Idrobiologia* 50: 225-257.
- Paris G., Rossetti G., Giordani G., Manzoni C., Ferrari I. (1993). Plankton seasonal succession in a small mountain lake (Lago Scuro Parmense, Northern Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 776-779.
- Primicerio R., Rossetti G., Amundsen P.-A., Klemetsen A. (2007). Impact of climate change on arctic and alpine lakes: Effects on phenology and community dynamics. In: Ørbæk J.B., Kallenborn R., Tombre I., Hegseth E.N., Falk-Petersen S., Hoel A.H. (eds), *Arctic Alpine Ecosystems and People in a Changing Environment*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg: 51-69.
- Rossetti G. (2005). Fungal parasitism in freshwater calanoid populations: ecological consequences and possible mechanisms involved in the infection process. *Hydrobiologia* 548: 167-176.
- Rossetti G., Bartoli A., Landi S., Ferrari I. (2006). Evolution of the zooplankton community in a mountain lake in the last fifty years. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 29: 2209-2216.
- Thaler B., Tait D. (1981). Lago Piccolo di Monticolo: Effetti degli interventi di ossigenazione e di emunzione selettiva negli anni 1979 e 1980. *Annali Laboratorio Biologico. Provincia Autonoma di Bolzano* 2: 132-193.
- Thaler B., Tait D. (1995). Restoration of a small meromictic lake: effects on water chemistry and stratification. *Limnologica* 25(3): 193-210.
- Tonolli V. (1949). Gli alti laghi della Val Bognanco. Parte II. *Memorie Istituto italiano Idrobiologia* 5:39-93.
- Viaroli P., Ferrari I., Mangia A., Rossi V., Menozzi P. (1992). Sensitivity to acidification of Northern Apennine lakes (Italy) in relation to watershed characteristics and wet deposition. In Mosello R., Whatne B.M., Giussani G. (Eds), *Limnology on groups of remote mountain lakes: ongoing and planned activities*. Documenta Ist. Ital. Idrobiol. 32: 93-105.
- Viaroli P., Ferrari I., Paris G., Rossetti G., Menozzi P. (1994). Limnological research on Northern Apennine lakes (Italy) in relation to eutrophication and acidification risk. *Hydrobiologia* 274: 155-162.
- Wright R.F., Camarero L., Cosby B.J., Ferrier R.C., Forsius M., Helliwell R., Jenkins A., Kopacek J., Majer V., Moldan F., Posch M., Rogora M., Schöpp W. (2005). Recovery of acidified European surface waters. *Environ. Sci. Technol.*, 39: 64A-74A.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Lavori ISI

- Anesi A., Obertegger U., Hansen G., Sukenik A., Flaim G., Guella G. (2016). Comparative Analysis of membrane lipids in psychrophilic and mesophilic freshwater dinoflagellates. *Frontiers in Plant Science* 7:524. DOI: 10.3389/fpls.2016.00524
- Angelstam P., Manton M., Elbakidze M., Sijtsma F., Adamescu M.C., Avni N., Beja P., Bezak P., Zyablikova I., Cruz F., Bretagnolle V., Díaz-Delgado R., Ens B., Fedoriak M., Flaim G., Gingrich G., lavi-Neeman M., Medinets S., Melecis V., MuñozRojas J., Schäckerman J., Stocker-Kiss A., Setälä H., Stryamets H., Taka M., Tallec G., Tappeiner U., Törnblom J., Yamelynets T. (2018). LTSER platforms as a place-based transdisciplinary research infrastructure: Learning landscape approach through evaluation. *Landscape Ecology* 34: 1461-1484. DOI: 10.1007/s10980-018-0737-6
- Bertani I., Primicerio R., Rossetti G. (2016). Extreme climatic event triggers a lake regime shift that propagates across multiple trophic levels. *Ecosystems* 19: 16-31.

-
- Block B.D., Denfeld B.A., Stockwell J.D., Flaim G., Grossart H-P.F., Knoll L.B., Maier D.B., North R.L., Rautio M., Rusak J.A., Sadro S., Weyhenmeyer G.A., Bramburger A., Branstrator D.K., Hampton S.E. (2018). The unique methodological challenges of winter limnology. *Limnology and Oceanography Methods* 17: 42-57. Doi: 10.1002/lom3.10295.
- Boggero A., Bassett A., Austoni M., Barbone E., Bartolozzi L., Bertani I., Campanaro A., Cattaneo A., Cianferoni F., Corriero G., Martin Dörr A., Concetta Elia A., Ficetola G.F., Kamburska L., La Porta G., Lauceri S., Ludovisi A., Gaino E., Goretti E., Lorenzoni M., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Nonnis Marzano F., Oggioni A., Pierri C., Riccardi N., Rossetti G., Ungaro N., Volta P., Zaupa S., Fontaneto D. (2014). Weak effects of habitat type on susceptibility to invasive freshwater species: an Italian case study. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 24: 841-852.
- Camarero L., Rogora M., Mosello R., Anderson J., Barbieri A., Botev I., Kernan M., Kopacek J., Korholka A., Lotter A., Muri G., Postolache C., Stuchlik E., Thies H., Wright R.F. (2009). Regionalisation of chemical variability in European mountain lakes. *Freshwater Biology* 54: 2452-2469.
- Cellamare M., Lançon A.M., Leitao M., Cerasino L., Obertegger U., Flaim G. (2016). Phytoplankton functional response to spatial and temporal differences in a cold and oligotrophic lake. *Hydrobiologia* 764: 199-209.
- Cieplinski A., Weisse T., Obertegger U. (2017). High diversity in *Keratella cochlearis* (Rotifera, Monogenonta): morphological and genetic evidence. *Hydrobiologia* 796: 145-159.
- Colangelo P., Fontaneto D., Marchetto A., Ludovisi A., Bassett A., Bartolozzi L., Bertani I., Campanaro A., Cattaneo A., Cianferoni F., Corriero G., Ficetola G.F., Nonnis-Marzano F., Pierri C., Rossetti G., Rosati I., Boggero A. (2017). Alien species in Italian freshwater ecosystems: a macroecological assessment of invasion drivers. *Aquatic Invasions*, 12(3): 299-309.
- De Marco A., Proietti C., Anav A., Ciancarella L., D'Elia I., Fares S., Fornasier M.F., Fusaro L., Gualtieri M., Manes F., Marchetto A., Mircea M., Paoletti E., Piersanti A., Rogora M., Salvati L., Salvatori E., Scrpanti A., Vialletto G., Vitale M., Leonardi C. (2019). Impacts of air pollution on human and ecosystem health, and implications for the National Emission Ceilings Directive: Insights from Italy. *Environment international* 125: 320-333.
- Flaim G., Camin F., Tonon A., Obertegger U. (2013). Stable isotopes of lakes and precipitation along an altitudinal gradient in the Eastern Alps. *Biogeochemistry* 116: 187-198. DOI: 10.1007/s10533-013-9855-z.
- Flaim G., Obertegger U., Anesi A., Guella G. (2014). Temperature-induced changes in lipid biomarkers and mycosporine-like amino acids in the psychrophilic dinoflagellate *Peridinium aciculiferum*. *Freshwater Biology* 59 (5): 985-997. DOI: 10.1111/fwb.12321 doi:10.1111/fwb.12321.
- Flaim G., Obertegger U., Guella G. (2012). Changes in galactolipid composition of the cold freshwater dinoflagellate *Borghiella dodgei* in response to temperature. *Hydrobiologia* 698 (1): 285-293. DOI: 10.1007/s10750-012-1070-8.
- Flaim G., Rott E., Frassanito R., Guella G., Obertegger U. (2010). Eco-fingerprinting of the dinoflagellate Borghiella dodgei: experimental evidence of a specific environmental niche. *Hydrobiologia* 639: 85-98. DOI: 10.1007/s10750-009-0013-5.
- Flaim G., Nishri A., Camin F., Corradini S., Obertegger U. (2019). Shift from nival to pluvial recharge of an aquifer-fed lake increases water temperature. *Inland Waters*. DOI: 10.1080/20442041.2019.1582958.
- Frassanito R., Cantonati M., Flaim G., Mancini I., Guella G. (2008). A new analytical method for the structural characterization of carotenoid esters in freshwater microorganisms by liquid chromatography electrospray tandem mass spectrometry. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 22: 3531-3539.
- Garmo Ø.A., Skjelkvåle B.L., de Wit H.A., Colombo L., Curtis C., Fölster J., Hoffmann A., Hruška J., Höglåsen T., Jeffries D.S., Keller W., Krám P., Majer V., Monteith D.T., Paterson A.M., Rogora M., Rzychon D., Steingruber S., Stoddard J.L., Vuorenmaa J., Worsztynowicz A. (2014). Trends in Surface

Water Chemistry in Acidified Areas in Europe and North America from 1990 to 2008. Water Air Soil Pollut. 225: 1880.

Helliwell R., Wright R., Jackson-Blake L., Ferrier R., Aherne J., Cosby B.J., Evans C., Forsius M., Hruska J., Jenkins A., Krám P., Kopacek J., Majer V., Moldan F., Posch M., Potts J., Rogora M., Schoepp W. (2014). Assessing recovery from acidification of European surface waters in the year 2010: An evaluation of projections made with the MAGIC model in 1995. Envir. Sci. Technol. 48: 13280-13288.

Marcé R., Glen G., Buscarinu P., Deidda M., Dunalska J., de Eyto E., Flaim G., Grossart H.P., Istvanovics V., Lenhardt M., Moreno Ostos E., Obrador B., Ostrovsky I., Pierson D.C., Potužák J., Poikane S., Rinke K., Rodríguez-Mozaz S., Staehr P.A., Šumberová K., Waajen G., Weyhenmeyer G.A., Weathers K.C., Zion M., Ibelings B.W., Jennings E. (2016). Automatic high frequency monitoring for improved lake and reservoir management. Environmental Science & Technology 50(20): 10780-10794. DOI: 10.1021/acs.est.6b01604.

Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. Science of the Total Environment 627: 373-387. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.153.

Obertegger U., Borsato A., Flaim G. (2010). Rotifer-crustacean interactions in a pseudokarstic lake: influence of hydrology. Aquatic Ecology 44: 121-130.

Obertegger U., Camin F., Guella G., Flaim G. (2011). Adaptation of a psychrophilic freshwater dinoflagellate to ultraviolet radiation. Journal of Phycology 47: 811-820. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2011.01025.

Obertegger U., Flaim G., Fontaneto D. (2014). Cryptic diversity within the rotifer *Polyarthra dolichoptera* along an altitudinal gradient. Freshwater Biology. 59 (11):2413-2427. DOI: 10.1111/fwb.12447.

Obertegger U., Flaim G., Sommaruga R. (2008). Multifactorial nature of rotifer water layer preferences in an oligotrophic lake. Journal of Plankton Research 30(6): 633-643.

Obertegger U., Flaim G. (2015). Community assembly of rotifers based on morphological traits. Hydrobiologia (2015) 753:31-45. DOI: 10.1007/s10750-015-2191-7.

Obertegger U., Flaim G. (2018). Taxonomic and functional diversity of rotifers, what do they tell us about community assembly? Hydrobiologia 823(1): 79-91. DOI: 10.1007/s10750-018-3697-6.

Obertegger U., Fontaneto D., Flaim G. (2012). Using DNA taxonomy to investigate the ecological determinants of plankton diversity: explaining the occurrence of *Synchaeta* spp. (Rotifera, Monogononta) in mountain lakes. Freshwater Biology 57: 1545-1553. DOI: 10.1111/j.1365-2427.2012.02815.

Obertegger U., Obrador B., Flaim G. (2017). Dissolved oxygen dynamics under ice: Three winters of high-frequency data from Lake Tovel, Italy. Water Resources Research 53 (8): 7234-7246. DOI: 10.1002/2017WR020599.

Obertegger U., Bertilsson S., Pindo M., Larger S., Flaim G. (2018). Temporal variability of bacterioplankton is habitat driven. Molecular Ecology. DOI: 10.1111/mec.14855.

Obertegger U., Pindo M., Flaim G. (2019). Multifaceted aspects of synchrony between freshwater prokaryotes and protists. Molecular Ecology, 28(19), 4500-4512.

Obertegger U., Thaler B., Flaim G. (2010). Rotifer species richness along an altitudinal gradient in the Alps. Global Ecology and Biogeography 19: 895-904.

-
- Perini M., Camin F., Corradini F., Obertegger U., Flaim G. (2009). Use of $\delta^{18}\text{O}$ in the interpretation of hydrological dynamics in lakes. *Journal of Limnology* 68(2): 174-182. DOI: 10.3274/JL09-68-2-02.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. *Science of the Total Environment* 624: 1429-1442.
- Rogora M., Colombo L., Lepori F., Marchetto A., Steingruber S., Tornimbeni O. (2013). Thirty years of chemical changes in alpine acid-sensitive lakes in the Alps. *Water Air Soil Pollut.* 224: 1746.
- Seelen L.M.S., Flaim G., Keuskamp J., Teurlincx S., Arias Font R., Tolunay R., Frámková M., Šumberová K., Temponeras M., Lenhardt M., Jennings E., de Senerpont Domis L. (2018). An affordable and reliable assessment of aquatic decomposition: Tailoring the Tea Bag Index to surface waters. *Water Research* 151: 31-43.
- Tavernini S., Primicerio R., Rossetti G. (2009). Zooplankton assembly in mountain lentic waters is primarily driven by local processes. *Acta Oecologica* 35: 22-31.
- Tornimbeni O., Rogora M. (2012). An evaluation of trace metals in high altitude lakes of the Central Alps: present levels, origins and possible speciation in relation to pH values. *Wat. Air Soil Pollut.* 223: 1895-1909.

Lavori non ISI

- Bertani I., Segers H., Rossetti G. (2009). Monogonont rotifers (Rotifera: Monogononta) from Northern Apennines lakes: new and rare taxa for Italy. *St. Trent. Sc. Nat. – Acta Biol.* 86: 71-74.
- Boggero A. (2018). Macroinvertebrates of Italian mountain lakes: a review. *Redia-Journal of Zoology*, 101: 35-45.
- Boggero A., Garzoli L., Varini G. (2017). An historical and geographic data set on the distribution of macroinvertebrates in Italian mountain lakes. *Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography*, 32(1): 77-87.
- Dumnicka E., Boggero A. (2017). *Cernosvitoriella* Species (Oligochaeta, Enchytraeidae) from alpine freshwaters. *Research & Reviews – Journal of Zoological Sciences*, 5(2): 25-34.
- Fjellheim A., Raddum G.G., Vandvik V., Cogalniceanu D., Boggero A., Brancelj A., Dumnicka E., Galas J., Gáldean N., Kownacki A., Preda E., Rîsnoveanu G., Sporka F., Stuchlík E., Vidinova Y. (2009). Diversity and distribution patterns of benthic invertebrates along alpine gradients. A study of remote European freshwater lakes. *Advanc. Limnol.*, 62: 167-190.
- Lanucara S., Carrara P., Oggioni A., Rogora M., Kamburska L., Rossetti G. (2016). Exploiting observations and measurement data standard for distributed LTER-Italy freshwater sites. Water quality issues. *PeerJ Preprints* 4, e2233v2.
- Morpurgo M., Alber R. (2015). First record of the freshwater jellyfish *Craspedacusta sowerbii* Lankester, 1880 (Cnidaria: Hydrozoa: Limnomedusae) in South Tyrol (Italy). *Gredleriana* 15.
- Rossaro B., Boggero A., Buzzi F., Agostinelli C., Nastasi F. (2012). Description of the larva of *Protanypus* sp. A (Diptera, Chironomidae) from the Italian Alps. *J. Entomol. Acarol. Res.*, 44 (e6): 28-31.
- Rossetti G., Ferrari I., Marchetto A., Monica C., Mosello R., Rogora M., Viaroli P. (2010). Ricerche ecologiche in laghi d'alta quota del bacino padano. In: Viaroli P., Puma F., Ferrari I. (a cura di), Aggiornamento delle conoscenze sul bacino idrografico Padano. Sessione speciale XVIII congresso S.It.E., Parma 1-3 settembre 2008. *Biologia Ambientale* 24: 179-186.

Libri e capitoli di libri

- Bodini A., Bondavalli C., Rossetti G. (2017). Ecological Succession Investigated Through Food-Web Flow Networks. In: Moore J., De Ruiter P., McCann K., Wolters V. (Eds), Adaptive Food Webs: Stability and Transitions of Real and Model Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 164-177.
- Carrara P., Criscuolo L., Freppaz M., Lami A., Maggioni M., Oggioni A., Rogora M. (2018). Rosa... azzurro... verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa al Lago Maggiore. In: C. Bergami, A. L'Astorina, A. Pugnetti (a cura di). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6. DOI: 10.32018/978888080304-1.
- Rossetti G., Flaim G., Rogora M., Thaler B. (2012). Laghi di montagna. In: R. Bertoni (a cura di), La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Aracne Editrice, Roma, pp. 129-142. ISBN: 978-88-548-4661-6.
- Wright R.F., Aherne J., Bishop K., Dillon P.J., Erlandsson M., Evans C.D., Forsius M., Hardekopf D.W., Helliwell R.C., Hruška J., Hutchins M., Kaste Ø., Kopácek J., Krám P., Laudon H., Moldan F., Rogora M., Sjøeng A.M. and de Wit H.A. (2010). Interaction of Climate Change and Acid Deposition. In: M. Kernan, R.W. Battarbee, B. Moss (Eds). Climate Change Impacts on Freshwater Ecosystems. Wiley-Blackwell: pp. 320.

Report

- Austnes K., Aherne J., Arle J., Čičendajeva M., Couture S., Fölster J., Garmo Ø., Hruška J., Monteith D., Posch M., Rogora M., Sample J., Skjelkvåle B.L., Steingruber S., Stoddard J.L., Ulańczyk R., van Dam H., Toro Velasco M., Vuorenmaa J., Wright R.F., de Wit H. (2018). Regional assessment of the current extent of acidification of surface waters in Europe and North America. ICP Waters Report 135/2018: pp. 136.
- Colombo L., Steingruber S., Rogora M., Tornimbeni O. (2013). Long-term changes in the chemistry of high altitude lakes in the Alps over 30 years. Proceedings of the 28th Task Force meeting of the ICP Waters Programme in Verbania Pallanza, Italy, October 8-10, 2012. ICP Waters Report 112/2013: 12-17.
- de Eyto E., Cooney J., Doyle B., Flaim G., Laas A., Pierson D., Jennings E. (2016). How to moor a long term station (Factsheet 004). In: Laas, A., de Eyto, E., Pierson, D. and Jennings, E. (Eds.) NETLAKE Guidelines for automatic monitoring station development. Technical report. NETLAKE COST Action ES1201. pp 14-18. <http://eprints.dkit.ie/id/eprint/511>.
- Rogora M. (2008). Modelling the effect of climate change on the acidification recovery of an alpine lake. Proceedings of the 23rd meeting of the ICP Waters Programme Task Force in Nancy, France, October 8-10, 2007. ICP-WATERS Report 92-2008: 29-3.
- Rossetti G., Bertani I., Laini A., Mazzini M., Bottazzi E., Ferrari I. (2008). Ricerche idrobiologiche ed ecologiche in ambienti acquatici della montagna parmense. In: L'acqua che sarà. Costruzione del Piano di Tutela delle Acque. Assessorato Ambiente e Tutela del Territorio, Provincia di Parma. Pitagora Editrice, Bologna, pp. 139-150.
- Viaroli P., Bassetti A., Bartoli M., Boggero A., Cantonati M., Ciampittiello M., Fontaneto D., Galassi D.M., Guizzoni P., Lorenzoni M., Ludovisi A., Lugliè A., Magni P., Manca M., Morabito G., Naselli Flores L., Padedda B.M., Riccardi N., Rogora M., Rossetti G., Rossi L., Salmaso N., Sechi N., Stoch F., Tagliapietra D., Volta P. (2014). Ecosistemi di acque interne e di transizione. In: Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia, pp. 299-329. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Wright R.F., Helliwell R., Hruska J., Larsen T., Rogora M., Rzychon D., Skjelkvale B.L. (2011). Impacts of Air Pollution on Freshwater Acidification under Future Emission Reduction Scenarios; ICP Waters contribution to WGE report. ICP Waters Report 108/2011: pp. 27.

Lavori divulgativi

- Boggero A., Lavalle G., Luoni T., Zaupa S., Rogora M. (2018). Il mondo segreto dei laghi alpini. Le Rive, 2-3: 57-67.
- Corradini S., Flaim G., Obertegger U. (2014). Il lago di Tovel tutto l'anno. Terra Trentina 59(4): 40-41.
- Flaim G., Obertegger U. (2011). Il lago di Tovel: un nuovo sito "LTER Italia". Adamello Brenta 15(3): 28-30.
- Flaim G., Obertegger U. (2012). Il Lago di Tovel – un importante sito di ricerca. NOS Magazine 4: 41.
- Flaim G., Corradini S., Obertegger U. (2016). Il lago di Tovel – oltre il Rosso. Il Melo 25: 12. (www.giornaleilmelo.eu).
- Flaim G., Corradini S., Biasi A., Obertegger U. (2017). Aggiornamenti sul lago di Tovel. Terra Trentina 62: 62-63.
- Flaim G., Obertegger U. (2018). Research at Lake Tovel: past, present and future. SIL News 73:15-17.
- Rogora M., Boggero A., Marchetto A., Mosello R., Tartari G., Zaupa S. (2014). Laghi alpini: un mondo che cambia. Nimbus 72: 152-157.
- Rogora M., Oggioni A., Flaim G. (2017). Il contributo della citizen science allo studio dei laghi nelle Terre Alte. In: Atti della conferenza "L'acqua nelle Terre Alte: un percorso di ricerca attraverso il sistema alpino. CNR Edizioni. ISBN: 978 88 8080 263 1.

Tesi di laurea/dottorato

- Bertani I. Nuovi contributi alle ricerche ecologiche di lungo termine in ambienti lentici del versante Nord dell'Appennino Tosco-Emiliano. Tesi di Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.
- Bonaglia S. Comunità zooplanktoniche in tre laghi della Val Parma (Appennino Parmense) caratterizzati da diversa morfologia e intensità di impatti antropici. Tesi di Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.
- Botturi D. Potenziale riproduttivo ed esclusione competitiva: il caso di studio di due copepodi calanoidi del genere *Eudiaptomus*. Tesi di Laurea triennale in Biologia Ecologica. Università di Parma. Anno Accademico 2009/2010.
- Cervigni C. Interazioni tra specie nella comunità zooplanktonica del Lago Scuro Parmense: analisi tramite modelli qualitativi. Tesi di Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.
- Cieplinski A. 2018. Cryptic diversity of *Keratella cochlearis* – genetical, morphological and demographic aspects. Tesi di Dottorato. University of Innsbruck (A), Anno accademico 2017/2018: pp. 105.
- Grieco B. Stima della durata della copertura ghiacciata nel Lago Santo Parmense tramite tecniche di telerilevamento e ripercussioni sulla fenologia dei popolamenti lacustri. Tesi di Laurea Triennale in Biologia Ecologica. Università di Parma. Anno Accademico 2011/2012.
- Mazzola L. Risposte fenologiche di lungo termine in laghi di montagna: influenza di pattern climatici di larga scala. Tesi di Laurea magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2012/2013.
- Minari Simona. Dinamica di popolazione di *Daphnia longispina* (Cladocera: Crustacea) in due laghi di montagna della Val Parma. Tesi di Laurea in Scienze Biologiche. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.

Monica C. Trend stagionali e di lungo termine in un lago appenninico d'alta quota: il Lago Santo Parmense. Tesi di Laurea Specialistica in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.

Pierfederici M.E. Climate change impact on life cycle phenology and population dynamics of arctic and alpine copepods. Tesi di Laurea magistrale in Scienze e Tecnologie per l'Ambiente e le Risorse. Università di Parma. Anno Accademico 2017/2018.

Pistocchi A. Evoluzione a lungo termine dell'idrochimica di laghi alpini d'alta quota in relazione a fattori meteo-climatici. Tesi di Laurea Triennale in Scienze dell'Ambiente e della Natura. Università degli Studi dell'Insubria. Dipartimento di scienza e alta tecnologia. Anno Accademico 2015/2016.

Pistorio A.M. Valutazione delle caratteristiche idrochimiche di laghi d'alta quota dell'Appennino Settentrionale. Tesi di Laurea in Scienze e Tecnologie Ambientali per il Territorio e il Sistema Produttivo. Università di Parma. Anno Accademico 2007/2008.

Somaschini L. Evoluzione a lungo termine dell'idrochimica di laghi alpini d'alta quota in relazione ai cambiamenti climatici. Tesi di Laurea specialistica in scienze e tecnologie per l'ambiente e il territorio. Università degli Studi di Milano Bicocca. Dipartimento di scienze dell'ambiente e del territorio e di scienze della terra. Anno Accademico 2016-17.

Todeschi P. LTER Lago di Tovel: La ricostruzione delle temperature superficiali del lago (1995-2015) e confronto di diversi parametri limnologici nelle annate 2014-2015. Tesi di Laurea Magistrale in Progettazione e Gestione degli Ecosistemi Agro-territoriali, Forestali e del Paesaggio. Università di Bologna. Anno Accademico 2015/2016.

Valentini, L. Studio della biodiversità microalgale e della chimica delle acque del Lago di Tovel, Trento (Agosto 2016). Tesi di Laurea Treinnale in Biologia. Università di Padova. Anno Accademico 2016/2017.

Zanichelli F. Ulteriori indagini su caratteristiche idrochimiche e biologiche del Lago Santo Parmense. Tesi di Laurea magistrale in Conservazione della Natura. Università di Parma. Anno Accademico 2010/2011.

Zeni A. Morfo-fisiologia di *Spirogyra* sp. raccolta nella Baia Rossa del Lago di Tovel (TN) e sottoposta a diversi parametri ambientali. Tesi di Laurea Triennale in Scienze Biologiche. Università di Ferrara. Anno Accademico 2014/2015.

IT10-A ECOSISTEMI LACUSTRI DELLA SARDEGNA

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliazione

¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Referente Macrosito: Bachisio Mario Padedda

Siti di ricerca:

Lago Bidighinzu, IT10-001-A

Lago Cedrino, IT10-002-A

Lago Cuga, IT10-003-A

Lago Monte Lerno, IT10-004-A

Lago Sos Canales, IT10-005-A

Lago Temo, IT10-006-A

Tipologia di ecosistema: acque interne

DEIMS-ID: <https://deims.org/67757ba9-c40c-4e2c-bdad-bc26905a738e>

Citare questo capitolo come segue: Padedda B.M., Buscarinu P., Caddeo T. *et al.* (2021). IT10-A Ecosistemi lacustri della Sardegna, p. 331-369. DOI: 10.5281/zenodo.5584747. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità:

Il sito n° 10 – *Ecosistemi lacustri della Sardegna* è costituito da sei laghi artificiali e fa parte della rete LTER-Italia sin dalla sua costituzione (Fig. 1). Il sito è sempre stato gestito dall'Università di Sassari, in

stretta collaborazione con l'ente regionale gestore dei laghi (Ente Acque della Sardegna, ENAS). I sei laghi (Bidighinzu, Cedrino, Cuga, Monte Lerno, Sos Canales e Temo), sono localizzati nella parte centro-settentrionale dell'Isola e sono oggetto di studio da oltre trent'anni. Dal 2006, i laghi artificiali sardi, tranne poche eccezioni, tra cui l'unico naturale (Lago di Baratz), sono

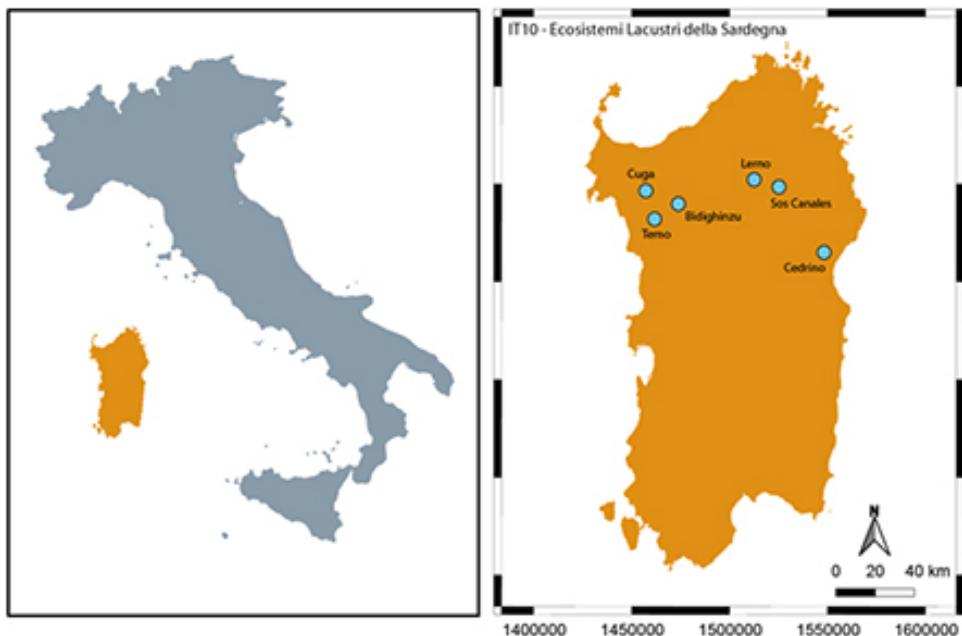


Fig. 1 - Il Macrosito IT10, con indicate tutte le stazioni di ricerca

passati sotto la gestione diretta dell'ENAS nei sei laghi del macrosito, sin dal 2006, è stato installato un Sistema Remoto di Monitoraggio in Tempo Reale (RTRM), dotando l'ENAS di uno strumento per l'ottimizzazione della gestione della risorsa idrica lacustre. Il sistema consente infatti di individuare lungo il profilo verticale lo strato d'acqua con la migliore qualità per il processo di potabilizzazione. La valutazione della qualità viene svolta sulla base di dati acquisiti mediante una sonda multiparametrica, dotata di sensori per la temperatura, pH, conducibilità, ossigeno dissolto e clorofilla *a*, installata su una zattera ancorata nell'area di maggiore profondità del lago e programmata per effettuare profilature verticali secondo cadenze definite e "on-demand". Questi dati sono costantemente verificati con quelli ottenuti con metodi di indagine standard condotti sui laghi da lungo tempo.

Nel decennio di appartenenza alla rete LTER sono state prodotte 14 pubblicazioni scientifiche presenti su Scopus/WoS, sulle principali tematiche di ricerca sviluppate nei laghi del sito. Altre ricerche sono state pubblicate su riviste nazionali e internazionali, in atti di convegno e in capitoli di libri. Le attività di ricerca principali sono orientate verso lo studio dell'eutrofizzazione, del fitoplancton e i loro cambiamenti in rapporto alla presenza e agli effetti delle diverse attività antropiche nei bacini, ai diversi approcci gestionali, ai possibili disturbi e al cambiamento climatico globale. Il problema principale dei laghi artificiali del macrosito è, infatti, l'eutrofizzazione con conseguenti massicci sviluppi di fitoplancton e carenza di ossigeno nell'ipolimnio, fino a condizioni di anossia.

Nei siti non sono attualmente disponibili strutture ricettive o logistiche di supporto. Su richiesta ed in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (disco Secchi, bottiglie Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), di laboratorio (Laboratorio di Ecologia acquatica, DADU; spettrofotometri, fluorimetri, incubatori, cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia, DADU; microscopi rovesciati in contrasto di fase, epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per effettuare i prelievi (imbarcazione a

motore) non sono disponibili *in situ*. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione dell'ENAS.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, dell'eutrofizzazione, della biodiversità algale, delle specie algali nocive (Harmful Algal Species) e delle loro fioriture (Harmful Algal Blooms), con particolare riferimento ai Cianobatteri.

Per i laghi del macrosito sono disponibili lunghe serie temporali di dati: a partire dal 1978 per i laghi Bidighinzu, Cuga e Sos Canales; dal 1987 per il Monte Lerno e Temo; dal 1994 per il Cedrino. La raccolta dati è tuttora in corso con il solo monitoraggio di routine svolto dall'ENAS. Le serie storiche mostrano alcune lacune di varie ampiezze temporali. Il campionamento è generalmente mensile in un'unica stazione in prossimità dello sbarramento, ovvero nell'area di massima profondità, ed interessa più profondità lungo la colonna d'acqua, dalla superficie al fondo. In alcuni siti e per brevi periodi sono state eseguite osservazioni di maggiore dettaglio con approfondimenti temporali (settimanali) e spaziali (più punti). I dati sono organizzati in fogli elettronici. Nel complesso i principali parametri limnologici riguardano:

- dati morfologici e fisici (temperatura, pH, conducibilità, area, perimetro, profondità massima e media, volumi e livello d'invaso, bilancio idrologico);
- dati chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo reattivo e totale, silice reattiva, ferro, manganese);
- dati biotici (clorofilla α , densità cellulare, biovolume, biomassa, microcistine, composizione in specie del fitoplancton, composizione dello zooplancton);
- dati sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle condizioni fisiche di stratificazione termica e circolazione lacustre, ai diversi livelli d'impatto antropico, di disponibilità dei principali nutrienti e delle condizioni ambientali di base).

L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile scientifico che ne autorizza qualsiasi utilizzo.

Attività di divulgazione

Le stazioni di ricerca del macrosito sono oggetto di attività didattiche nell'ambito delle esercitazioni in campo previste per l'insegnamento di Ecologia Applicata per il Corso di Laurea in Gestione dell'Ambiente e del Territorio dell'Università di Sassari. Negli anni sono state redatte numerosi tesi di laurea e relazioni di tirocinio per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari.

Prospettive future

La convenzione con l'Ente Acque Sardegna, principale fonte di finanziamento delle attività di routine nelle stazioni di ricerca del macrosito non è più attiva. La raccolta dati è ancora in essere da parte dell'ente gestore dell'invaso che, in virtù degli accordi di collaborazione scientifica, rende disponibili i dati per le attività della rete. Nel 2018 è stato avviato un progetto multidisciplinare, inserito nell'ambito di un dottorato di ricerca internazionale in Architettura e Ambiente attivo presso il Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica dell'Università di Sassari. Il progetto è focalizzato sulla valutazione del legame tra cianotossine, in particolare le BMAA, e l'insorgenza di malattie neurodegenerative quali la Sclerosi Laterale Amiotrofica (SLA) e il morbo di Parkinson. La popolazione sarda rappresenta infatti un isolato genetico, caratterizzato da un alto tasso di mutazione TDP-43 A382T, che si trova in più del 30% dei pazienti familiari e sporadici affetti da SLA, e da una frequenza elevata di SLA familiare. Il progetto prevede di esaminare la varietà di cianotossine prodotte da Cianobatteri presenti negli invasi della Sardegna, tra cui alcuni siti LTER, di studiare i meccanismi e gli effetti degli estratti cellulari di colture di Cianobatteri ottenuti da isolati sardi sui modelli cellulari e animali della SLA, concentrando su modelli genetici portatori di mutazione TDP43 e di eseguire

un'analisi geostatistica per studiare l'incidenza della SLA e del morbo di Parkinson in Sardegna, in relazione al consumo di acqua proveniente dagli invasi dominati dai Cianobatteri. Le conoscenze acquisite con questo progetto contribuiranno a mitigare i rischi per la salute umana derivanti dalle cianotossine nell'acqua potabile. Inoltre, fornirà informazioni sul ruolo patologico di TDP-43 e altri meccanismi molecolari della SLA.

Abstract

The Parent Site IT10-Lake ecosystems of Sardinia – Italy consists of six artificial lakes. It has been part of the LTER-Italy since its foundation. The site has been always managed by the University of Sassari, in close collaboration with the Regional Water Authority for lakes in Sardinia (ENAS – Ente Acque della Sardegna). The lakes are located in the north-central part of the Island being Lake Bidighinzu (IT10-001-A), Lake Cedrino (IT10-002-A), Lake Cuga (IT10-003-A), Lake Monte Lerno (IT10-004-A), Lake Sos Canales (IT10-005-A), Lake Temo (IT10-006-A). They have been studied for over thirty years.

Since 2006, a Real Time Remote Monitoring System has been operating in each lake. The project aims to provide a tool to optimize the management of the water resource, giving the chance to choose the water layer along the vertical profile from which withdraw the water with the relative best quality for potabilization. Data on water temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and chlorophyll *a* are acquired by a probe. These data are compared and combined with those obtained in laboratory using standard analysis methods.

Long-term series of ecological data are available for each lake, with high-frequency measurements and samplings regarding some of the more important environmental and biological variables.

Regarding the LTER Sardinian artificial lakes, their major environmental issue is eutrophication and the related massive growth of phytoplankton. Phytoplankton blooms extensively in summer, largely composed by potentially toxic Cyanobacteria.

Lago Bidighinzu

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Silvia Pulina¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliatione

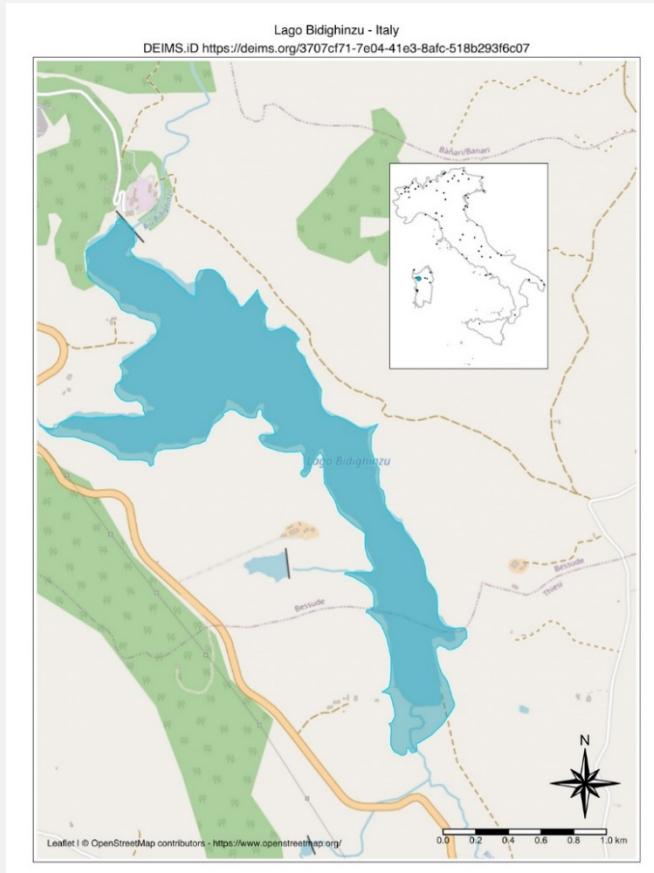
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-001-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/3707cf71-7e04-41e3-8afc-518b293f6c07>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Bidighinzu (IT10-001-A) è localizzato nella parte nord-ovest della Sardegna, a circa 318 m s.l.m., all'interno dei territori comunali di Thiesi e Bessude (Sassari) (Lat. 40.556104, Lon. 8.661203, UTM WGS84). La diga è stata completata nel 1956 ed il lago è stato invasato nel 1958. Il suo volume totale (corrispondente al limite di sfioramento della diga) è di circa $12,5 \times 10^6 \text{ m}^3$. L'invaso ha una superficie di circa $1,5 \text{ km}^2$, con una profondità massima di circa 30 m ed una media di circa 7 m.

Il bacino lacustre ha una forma allungata (Fig. 2), con un unico braccio dendritico che si apre nel lato ovest. Nel suo asse principale, si estende per circa 3,3 km con un orientamento NO-SE, con una larghezza massima di circa 1,4 km. Il bacino idrografico si estende per circa 514 km^2 .



Fig. 2 - Lago Bidighinzu

Le acque sono usate esclusivamente a fini potabili. L'input d'acqua dal bacino idrografico non è sufficiente a far fronte alle richieste. Per questo motivo, sono pompate nel lago acque dal Rio Santa Lucia e dal Rio Calambru (entrambi nell'adiacente bacino idrografico del Lago Coghinas) e dal Lago Temo. Nel sito non sono presenti particolari status di protezione.

Il Lago Bidighinzu, sin dall'inizio, ha mostrato seri problemi ecologici e gestionali che hanno fortemente condizionato la qualità della

risorsa idrica invasata. In particolare, la problematica più importante è data dall'alto grado di eutrofizzazione del lago con massiva crescita di fitoplancton e anossia ipolimnica.

Tutte le indagini condotte sin dal 1979, indicano uno stato altamente eutrofico del sistema, con oscillazioni abbastanza significative anno dopo anno, in termini di concentrazioni di nutrienti, clorofilla *a*, densità del fitoplancton, e la presenza di specie potenzialmente tossiche. Per porre rimedio, sono stati proposti e implementati diversi interventi (rilascio di sostanze algicide, microfiltrati per pre-filtrare le acque grezze in ingresso all'impianto di potabilizzazione, ossigenazione ipolimnetica per mezzo di pompe ed aeratori), ma tutti di dubbia o limitata efficacia, in quanto diretti a mitigare i soli effetti dell'eutrofizzazione e non a risolverne le cause. L'eutrofizzazione del lago è attribuibile in larga misura agli input dal bacino idrografico, ormai quasi completamente privo di vegetazione (deforestato); per cui l'apporto di nutrienti per dilavamento si aggiunge in termini importanti agli scarichi civili e industriali, già eccessivamente elevati rispetto alle capacità di recepimento del lago. Per questo motivo, nel 1987 è stato costruito un by-pass per divergere a valle dell'invaso gli scarichi civili e industriali dell'abitato di Thiesi, che erano considerati la causa principale, in termini di fonti puntuali, della pesante condizione eutrofica del lago. Ad oggi tutti gli studi condotti dopo questo intervento, pur segnalando una significativa diminuzione dei nutrienti nel tempo (Pulina *et al.* 2019), indicano il permanere del lago in una condizione eutrofica, tale da far dubitare che la diversione avvenga realmente e/o continuamente.

Risultati

L'insieme delle indagini condotte nel Lago Bidighinzu, dalle più datate (Sechi and Lugliè 1996; Lugliè *et al.* 2001), fino alle più recenti (Mariani *et al.* 2015a, 2015b; Morabito *et al.* 2018; Pulina *et al.* 2019), indicano una conclamata condizione di forte eutrofizzazione del sistema. Le serie pluriennali mostrano oltre ad una elevata variabilità interannuale anche alcune tendenze delle variabili ambientali indagate e del fitoplancton estremamente interessanti, soprattutto durante la stagione estiva in cui gli effetti dell'eutrofizzazione sono più gravi e manifesti. Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi:

- il lago è interessato, come la maggior parte dei laghi artificiali del clima mediterraneo (Naselli-Flores e Lugliè 2014), da ampie variazioni di livello dell'acqua sia sulla scala stagionale (variazione intrannuale) che pluriennale (variazione interannuale). Le variazioni sono legate all'utilizzo delle acque e alle dinamiche di riempimento e svuotamento che si verificano, rispettivamente, nel semestre umido e in quello secco, in aggiunta alla naturale variabilità sulla scala pluriennale delle disponibilità idriche legate al clima;
- nonostante le variazioni di livello delle acque, il lago ha manifestato un tipico comportamento monomittico caldo, con stratificazione termica estiva permanente. Questa è stata garantita dalla presenza nel lago, sino alla fine del semestre secco, di volumi d'acqua e relative profondità tali da mantenere la condizione di stratificazione termica (Marchetto *et al.* 2009). Mariani *et al.* (2015a) hanno segnalato un allungamento del periodo di stratificazione termica negli anni 1988-2011 interpretandolo come un probabile segnale del riscaldamento globale e del cambiamento climatico in atto. Pulina *et al.* (2019) hanno inoltre segnalato un significativo trend in crescita, soprattutto in estate, del rapporto tra la profondità di mescolamento delle acque (Z_{mix}) e la zona eufotica (Z_{eu}). Il rapporto Z_{mix}/Z_{eu} è un indicatore delle condizioni d'illuminazione nell'ambiente subacqueo e può essere di grande aiuto nell'interpretazione delle variazioni dello sviluppo del fitoplancton. Gli stessi autori hanno riportato un'influenza statisticamente significativa della temperatura dell'acqua sulla dimensione cellulare del fitoplancton (all'aumentare della temperatura, diminuisce la taglia) e sulla sua composizione, favorendo l'affermazione di specie di taglia più piccola. Questi risultati sono trattati in maggior dettaglio nei punti successivi;
- nel bacino idrografico del Lago Bidighinzu, è stata osservata una generale tendenza decrescente dei valori medi annuali delle precipitazioni. Sulla scala stagionale il trend è stato significativo in autunno e in inverno nel periodo 1978-2012 (Mariani *et al.* 2015a) ed è stato attribuito al cambiamento climatico. Questo aspetto, sommato alla gestione delle acque e all'effetto delle attività antropiche nel bacino idrografico, ha determinato importanti variazioni strutturali e funzionali nel corpo idrico (Pulina *et al.* 2019);
- le elaborazioni statistiche delle serie pluriennali svolte da Mariani *et al.* (2015a) e Pulina *et al.* (2019), hanno accertato significative diminuzioni del fosforo totale e reattivo, particolarmente marcate in estate. Mariani *et al.* (2015a) hanno anche segnalato un aumento del rapporto tra le forme totali dell'azoto e del fosforo (TN:TP) attribuendolo in particolare alla riduzione del fosforo poiché nessuna tendenza significativa era stata riscontrata per l'azoto nell'arco temporale analizzato (1978-2012). Tuttavia, Pulina *et al.* (2019), elaborando i dati di un decennio più recente (2006-2015) hanno evidenziato significative riduzioni per l'azoto ammoniacale e per l'azoto inorganico disciolto. Anche per la silice reattiva, è stata accertata una tendenza significativa in diminuzione su base pluriennale che Mariani *et al.* (2015) hanno indicato come correlabile con la riduzione delle precipitazioni nel bacino idrografico. Nonostante la tendenza ad una generale riduzione delle concentrazioni di alcuni nutrienti, queste hanno continuato ad essere tanto elevate da mantenere il Lago Bidighinzu in una condizione di ipereutrofia, già riconosciuta negli studi precedenti (Marchetto *et al.* 2009), rimarcando l'urgenza del completamento nell'ambito del territorio versante, degli apparati di depurazione e l'adozione di tecniche agricole e zootecniche meno impattanti;
- la clorofilla *a* e la biomassa totale del fitoplancton non hanno mostrato tendenze pluriennali significative nel Lago Bidighinzu (Mariani *et al.* 2015a; Pulina *et al.* 2019). Diversamente, la densità totale

estiva ed il volume medio cellulare estivo sono significativamente aumentati e diminuiti, rispettivamente, nell'ultimo decennio (Pulina *et al.* 2019), evidenziando quindi la necessità di considerare diversi descrittori fitoplanctonici negli studi ecologici. Il passaggio verso un fitoplancton caratterizzato da specie di minore taglia cellulare può essere stato alla base del decremento del volume cellulare medio del fitoplancton osservato (vedi punto successivo). Mariani *et al.* (2015a) hanno evidenziato che sebbene sia stata riscontrata una riduzione significativa del fosforo nel periodo 1978-2012, le sue concentrazioni sono rimaste tali da non essere limitanti per lo sviluppo del fitoplancton, controllandone più la composizione in classi e in specie che la densità e biomassa totale. Invece, considerando il decennio più recente (2006-2015), i nutrienti, la temperatura e il rapporto $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$ sono risultate le variabili, tra quelle considerate, statisticamente più significative per lo sviluppo estivo del fitoplancton, capaci di influenzarne la densità totale, la composizione in classi e specie algali ed il volume medio cellulare (Pulina *et al.* 2019);

- significative tendenze pluriennali sono state riconosciute per diverse classi e ordini fitoplanctonici, per cui sussistono differenze significative nella composizione delle specie considerando diversi archi temporali (Fig. 3). In particolare, sono state individuate tendenze incrementali significative, sempre in estate, per le Bacillariophyceae e le Chlorophyceae (Mariani *et al.* 2015a). Queste classi, insieme ai Cianobatteri, sono state quelle più abbondanti in termini di densità cellulare in tutti gli anni di studio. Per la biomassa hanno invece prevalso, nel decennio 2006-2015, Dinophyceae, Euglenophyceae e Conjugatophyceae (Pulina *et al.* 2019), diversamente da quanto riscontrato nei periodi precedenti, durante i quali i Cianobatteri erano stati decisamente importanti anche per la biomassa (Mariani *et al.* 2015a);

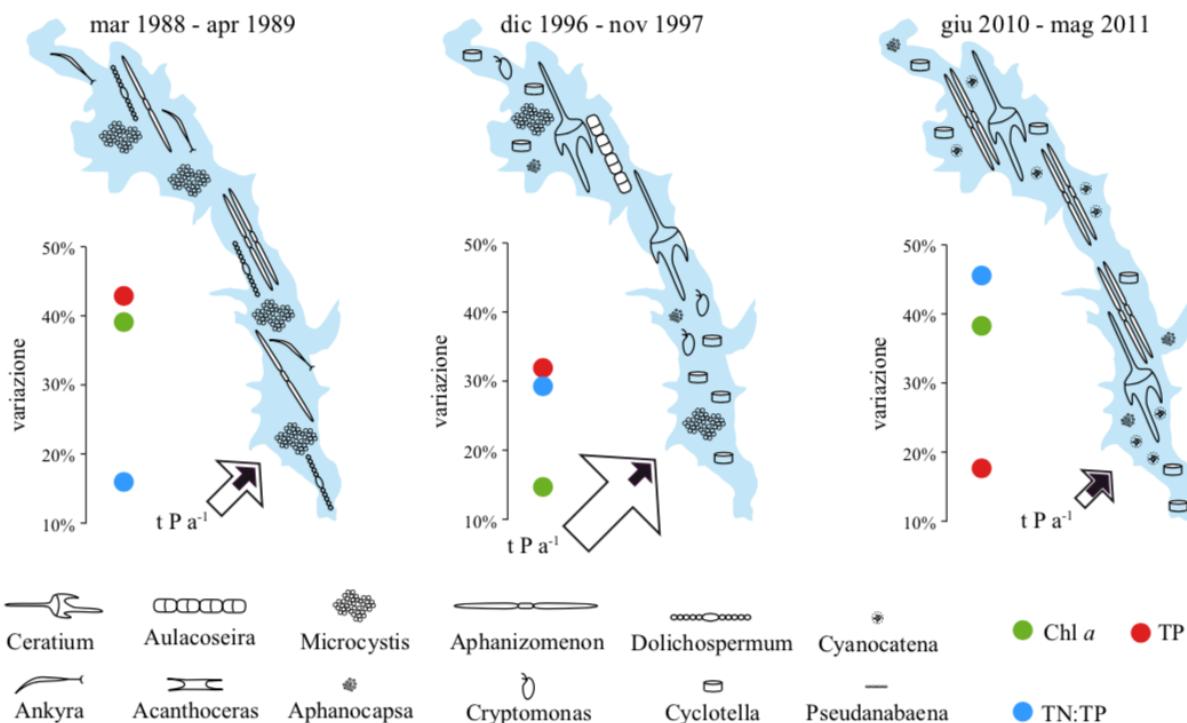


Fig. 3 - Modello concettuale della successione di specie di fitoplancton che ha interessato il Lago Bidighinzu subito dopo la diversione (1988-1989), un quinquennio dopo la diversione (5-8 anni) e molto tempo dopo la diversione (16-22 anni). La percentuale di variazioni di clorofilla a (Chl-a), fosforo totale (TP) e il rapporto azoto totale/fosforo totale (TN:TP), sono state riportate nell'asse a sinistra

I Cianobatteri hanno sempre dominato la densità cellulare del fitoplancton con tendenze temporali significative a livello di ordine (Mariani *et al.* 2015a) e, nel decennio 2006-2015 (Fig. 4), anche di classe (Pulina *et al.* 2019). I segnali più evidenti possono essere riassunti in cambiamenti nella composizione in

specie, con un maggior sviluppo delle Chroococcales e una riduzione delle Nostocales, e con la maggiore affermazione di specie con minore taglia cellulare: da un'iniziale maggiore abbondanza dei generi *Microcystis*, *Aphanocapsa* e *Chroococcus* si è passati ad una successiva maggiore affermazione dei generi *Cyanocatena* e *Aphanothecae* (Aktan *et al.* 2009; Mariani *et al.* 2015a; Pulina *et al.* 2019). Il significativo incremento estivo della densità cellulare potrebbe essere stato legato all'allungamento del periodo di stratificazione termica e al contemporaneo modificarsi di altre variabili ambientali, per esempio, $Z_{\text{mix}}/Z_{\text{eu}}$, i nutrienti e i loro rapporti. Di fatto una stratificazione termica più lunga seleziona le specie favorendo i taxa più adatti a una maggiore stabilità della colonna d'acqua;

- la riduzione della taglia cellulare ha interessato anche altre classi algali oltre ai Cianobatteri (per esempio, Chlorophyceae e Bacillariophyceae) seppure con una risposta ritardata rispetto ai Cianobatteri (Pulina *et al.* 2019). Per le Bacillariophyceae è stata osservata una maggiore affermazione delle Centrales ed un calo delle Pennales (Pulina *et al.* 2019), con una minore abbondanza di specie più grandi e più pesanti (come ad esempio, *Aulacoseira* spp.) e una maggiore abbondanza di specie più piccole (come *Cyclotella* spp.), specialmente quando la stratificazione è stata più prolungata (Mariani *et al.* 2015a);

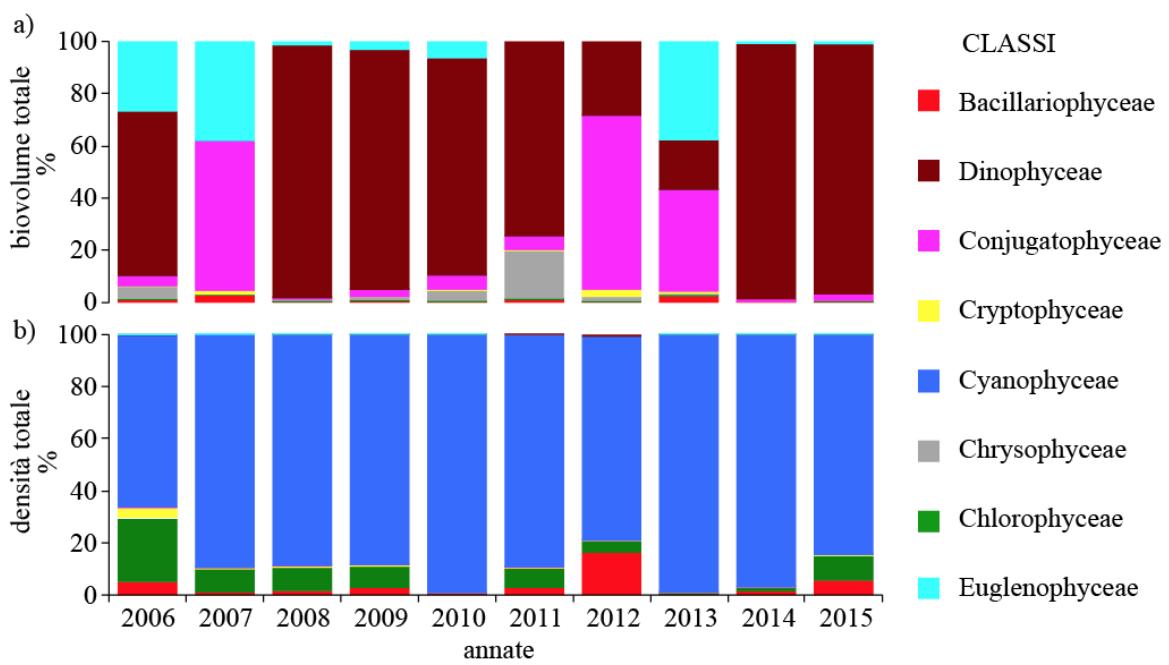


Fig. 4 - Variazione pluriennale (2006-2015) del contributo percentuale delle classi fitoplanctoniche
a) al biorvolume cellulare totale e b) alla densità cellulare totale nel Lago Bidighinzu

- la presenza di cianotossine extracellulari (microcistine) nelle acque del lago è stata segnalata per la prima volta da Messineo *et al.* (2009). Tenendo conto dell'uso potabile delle acque e della dominanza dei Cianobatteri nel fitoplancton, Mariani *et al.* (2015b) hanno approfondito questo tema in uno studio comparativo svolto su quattro laghi artificiali della Sardegna, uno dei quali era il Lago Bidighinzu, caratterizzati da diversi livelli di trofia lacustre. Nei 18 mesi di studio la densità cellulare del fitoplancton del Lago Bidighinzu è risultata dominata, in ordine gerarchico, da *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Cyanocatena imperfecta* (Cronberg & Weibull) Joosten e *Aphanocapsa* spp.. Lo studio ha riportato anche la presenza di *Aphanizomenon klebahnii* (Elenkin) Pechar e Kalina, *Dolichospermum macrosporum* (Klebahn) Wacklin, Hoffmann e Komárek (= *Anabaena macrospora* Klebahn) e *Dolichospermum viguieri* (Denis e Frémy) Wacklin, Hoffmann e Komárek (= *Anabaena viguieri* Denis e Frémy), specie potenzialmente tossiche non ancora segnalate nel fitoplancton del lago e, in generale, dei laghi artificiali della Sardegna. Questo risultato ha enfatizzato l'importanza degli studi LTER per la precoce rilevazione di cambiamenti nella comunità, specialmente importanti quando le specie coinvolte sono potenzialmente nocive. Nel 75% dei campioni analizzati è stata rilevata la presenza di microcistine e in circa il 25% dei campioni analizzati le concentrazioni hanno superato il valore soglia indicato

dall’Organizzazione Mondiale della Sanità per le acque potabili, pari a $1 \mu\text{g l}^{-1}$. Le maggiori concentrazioni di microcistine sono state rilevate nei mesi estivi e autunnali in coincidenza con le maggiori densità cellulari di *Aphanocapsa* spp. e *A. flos-aquae*. Lugliè *et al.* (2017) hanno riportato ulteriori informazioni sulla presenza e sulla dinamica stagionale delle cianotossine nel Lago Bidighinzu, con nuovi dati sulle microcistine e i primi sulla neurotossina β -N-methylamino-L-alanina (BMAA), probabilmente coinvolta nell’insorgenza di gravi patologie neurodegenerative. La presenza di entrambe le tossine è stata accertata in tutti i campioni naturali analizzati e in colture cellulari di *Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet e Flahault) Wacklin, Hoffmann e Komárek e *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, ottenute a partire da isolati cellulari da campioni del lago. Le microcistine hanno raggiunto il massimo in autunno, un mese dopo il massimo di densità cellulare dei Cianobatteri, risultati dominati da Chroococcales dei generi *Cyanocatena*, *Aphanocapsa*, *Aphanothecace* e *Coelosphaerium* ma non *Microcystis*, confermando i risultati ottenuti da Mariani *et al.* (2015b). *Microcystis* è il genere maggiormente coinvolto a livello planetario nei CyanoHABs dovuti alle microcistine. Le BMAA hanno mostrato più picchi stagionali nel corso dell’anno d’indagine, in coincidenza con composizioni di specie di Cianobatteri variabili. Questo risultato è in accordo con il fatto che le BMAA siano prodotte da numerose specie di Cianobatteri. La co-presenza sia di BMAA e microcistine sottolinea una maggiore pericolosità che potrebbe essere dovuta a una loro potenziale azione sinergica.

Altre ricerche sono state svolte sul lago, considerando specifiche tematiche e utilizzando le robuste informazioni di base raccolte come riferimento per i risultati ottenuti (per esempio, Fadda *et al.* 2011), anche con approcci sperimentali e l’applicazione di diverse manipolazioni. Un esempio è la sperimentazione svolta tra il 2013 e il 2015 con l’installazione nel lago di un sistema di aerazione con microbolle d’aria ($\varnothing \approx 2,2 \text{ mm}$), quale possibile rimedio sintomatico per le condizioni di anossia ipolimnica che limita di fatto l’utilizzo della risorsa idrica per la potabilizzazione. I risultati ottenuti con queste attività sperimentali sono ancora in fase di elaborazione.

Le attività di ricerca sono state condotte nell’ambito di numerosi progetti di ricerca tra cui i più importanti: 2003-2004: progetto PARSE “Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti” “U.O. 7 – Valutazione dell’efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri”, finanziato nell’ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l’Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2005-2009: convenzione “Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell’acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l’attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales”, su incarico dell’Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2009-2012: progetto europeo WISER (Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery), finanziato nell’ambito del 7° Programma Quadro, Tema 6, (Environment including Climate Change) (Contract No. 226273).

2010-2012: progetto di ricerca “Cianobatteri: conoscenza e possibilità di predizione e gestione di fioriture potenzialmente tossiche in ambienti lacustri” della Dottoressa Maria Antonietta Mariani, Regione Autonoma della Sardegna, Borse di Studio per Giovani Ricercatori, Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio.

2010-2013: convenzione “Contratto per l’affidamento di supervisione scientifica sulle attività gestionali del sistema di monitoraggio automatico della qualità delle acque in alcuni laghi artificiali della Sardegna, progetto boe (lotto funzionale I e II)”, su incarico dell’Ente Acque della Sardegna (ENAS).

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: “Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring” per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+ Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

2010-2013: INHABIT – LIFE08 ENV/IT/000413 (Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes), CNR-ISE

2014-2016: progetto di ricerca “Sperimentazione di trattamenti sintomatici per superare fasi critiche della qualità dell’acqua provocate dall’eutrofizzazione negli invasi della Sardegna” finanziato nell’ambito dei Progetti Legge Regionale 7/2007, Tender 9 – Sintomi eutrofici degli invasi.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Dal 2018: progetto europeo “European Long-Term Ecosystem and socio-ecological Research Infrastructure – eLTER H2020” (Project ID: 654359), finanziato nell’ambito del programma H2020-EU.1.4.1.2. – Integrating and opening existing national and regional research infrastructures of European interest.

Abstract

Lake Bidighinzu (IT10-001-A) is located in the north-west part of Sardinia, at about 318 m a.s.l.. The reservoir was completed in 1956 and it has a total volume of about $12.5 \times 10^6 \text{ m}^3$. Lake Bidighinzu has a surface area of about 1.5 km^2 , with a maximum depth of 30 m and a mean depth of about 7 m. The catchment extends for about 514 km^2 . It has been classified as hypereutrophic. Currently the site is under the management of the Ente Acque della Sardegna – ENAS which deals with the quality control of water mainly used for drinking purposes. The collected data refer to various research topics, mainly regarding the study of eutrophication, biodiversity, phytoplankton ecology, harmful algal species and harmful algal blooms. Data collection began in 1978 and has been still ongoing; the historical series show some gaps of various temporal amplitudes. The time interval of the observations is generally monthly, performed at a sampling station located near the dam at the point of maximum depth. Data access is restricted and subject to policy agreement. Any use of the data must be authorized by the scientific site manager.

Lago Cedrino

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliazione

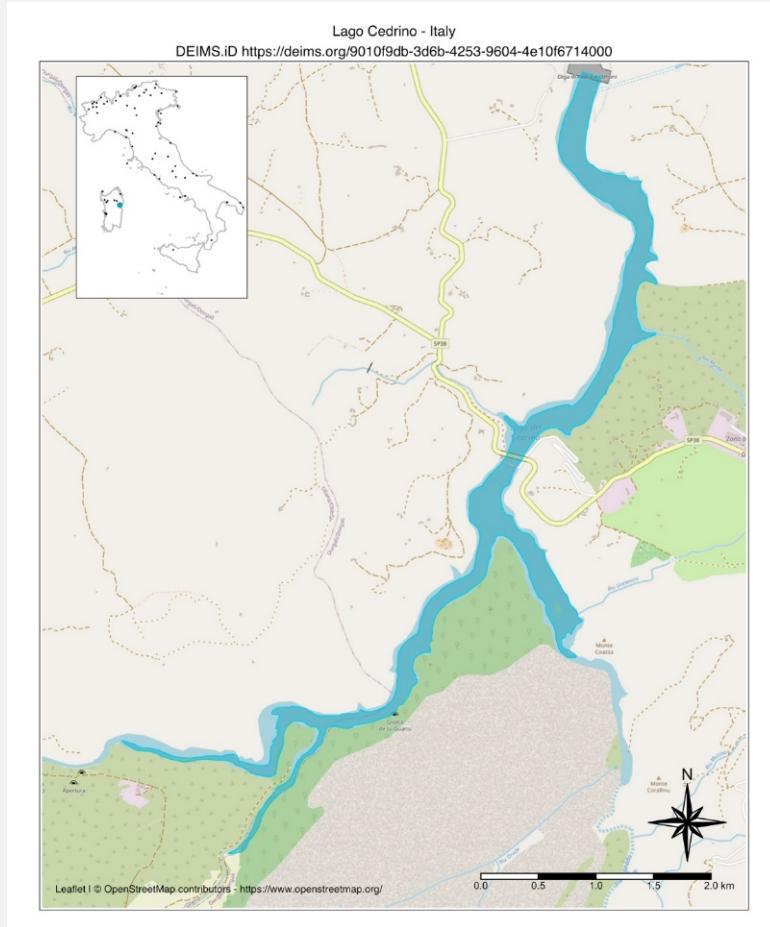
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-002-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/9010f9db-3d6b-4253-9604-4e10f6714000>



Descrizione del sito e delle sue finalità:

Il Lago Cedrino (IT10-002-A) è il risultato dello sbarramento del Fiume Cedrino, ottenuto con una diga a gravità costruita nel 1984 (Fig. 5). Il lago è situato nella Sardegna centro orientale, nel comune di Dorgali in provincia di Nuoro (Lat. 40.327488, Lon. 9.545020, UTM WGS84). Ha una superficie di 1,5 km², un volume di 20×10^6 m³ alla sua massima quota di riempimento (103 m s.l.m.) ed una profondità media di 26,5 m. Il lago presenta una forma dendritica e si estende per circa 8,5 km nel vecchio letto del

Fiume Cedrino (principale affluente) e per circa 2,4 km lungo il Fiume Flumineddu, nella sua parte orientale. Nel complesso il bacino imbrifero si estende per circa 627 km². Le acque sono utilizzate prevalentemente a scopi irrigui oltre che per la produzione di energia elettrica e per l'uso potabile. Il sito ricade in parte nel Sito di Importanza Comunitaria e Zona di Protezione Speciale Supramonte di Oliena, Orgosolo e Urzulei – Su Sercone (ITB022212).

Sin dai suoi primi anni d'invaso, il



Fig. 5 - Lago Cedrino

lago ha mostrato condizioni abbastanza problematiche dal punto di vista della qualità delle acque a causa dell'eutrofizzazione provocata da reflui urbani ed industriali, non adeguatamente depurati, provenienti dai centri all'interno del bacino imbrifero. Tale valutazione ha trovato riscontro anche nell'abbondanza e nella struttura dei popolamenti fitoplanctonici e nella loro dinamica stagionale, tipica di elevata eutrofia. Il fitoplancton è sempre stato infatti dominato da Cianobatteri nel periodo estivo, con affermazioni importanti delle specie *Dolichospermum plancticum* (Brunnthal) Wacklin, L. Hoffmann & Komárek (= *Anabaena plancticum* Brunnthal), *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing e *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, tutte potenzialmente tossiche, e dalle Bacillariophyceae in inverno, con predominanza di *Stephanodiscus hantzschii* Grunow e *Cyclotella* spp.. La qualità dell'acqua grezza da inviare alla potabilizzazione e all'irrigazione è spesso critica per l'eccessiva presenza di microalghe nella zona fotica e per l'ipossia sino all'anossia delle acque ipolimniche. Nell'ipolimnio, conseguentemente, si possono rilevare concentrazioni elevate di ammoniaca ed acido solfidrico.

Risultati

La sintesi degli studi sinora condotti nel Lago Cedrino mostra come il lago continui a trovarsi in una condizione di forte eutrofia (Marchetto *et al.* 2009), già riscontrata alla fine degli anni'80 (Sechi and Lugliè 1996; Padedda & Sechi 2008), la cui causa principale, secondo le più recenti valutazioni, è da ricercarsi in una gestione non adeguata del vasto bacino idrografico. In particolare, il carico nutrizionale veicolato al lago è oltremodo elevato, superando le soglie stabilite scientificamente che segnano il manifestarsi dell'eutrofizzazione (Padedda *et al.* 2015, 2017). Le principali fonti inquinanti sono state infatti attribuite ai rilasci dai sistemi di depurazione comunali e alla intensa attività agricola condotta nel bacino versante. Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi dagli studi ecologici svolti negli ultimi dieci anni:

- le lunghe serie temporali dei biovolumi delle specie fitoplanctoniche sono state utilizzate, insieme a quelle di numerosi altri laghi artificiali sardi, per lo sviluppo del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI; Marchetto *et al.* 2009), un indice che si basa sul fitoplancton quale elemento

biotico per la valutazione della qualità ambientale ed è utile per definire gli effetti dell'eutrofizzazione nei laghi artificiali profondi del Mediterraneo. L'indice è basato sull'assunto che i valori del fosforo totale, considerato l'indicatore più importante nella valutazione dei livelli trofici lacustri, sia ben correlato con due variabili che, a loro volta, sono diretta espressione dell'intensità dello sviluppo fitoplanctonico: biovolume e clorofilla *a*. La preliminare applicazione dell'indice ha evidenziato una buona rispondenza tra lo stato trofico e l'indice stesso. Il valore calcolato per il Lago Cedrino ha infatti collocato il bacino all'interno della classe "bad-poor", quindi in uno stato di qualità ambientale fortemente compromesso e comunque inferiore alla condizione "good", che secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE necessariamente si sarebbe dovuto raggiungere entro il 2015, termine procrastinato alle nuove scadenze del 2021 e 2027;

- anche in considerazione della necessità di trovare strumenti gestionali utili per il miglioramento dello stato trofico lacustre e del relativo stato di qualità ambientale, è stato condotto uno studio teso a verificare l'effetto dei carichi nutrizionali provenienti dal bacino idrografico sul sistema lacustre (Padedda *et al.* 2015), considerando i dati raccolti nel biennio 2011-2012. In questo studio, è stato adottato un approccio territoriale che sulla base delle forme d'uso del suolo ha permesso di identificare e stimare i quantitativi teorici di nutrienti esterni originati dal bacino di drenaggio e determinanti nel definire la trofia del sistema. In aggiunta sono state definite a livello predittivo, le variazioni dello stato trofico relative alla manipolazione teorica dei suddetti input nutrizionali. Lo studio ha mostrato che il carico di nutrienti proveniente da attività antropiche nel bacino di drenaggio era coerente con lo stato trofico raggiunto dal sistema. Le stime hanno portato a valutare tali input in $42,6 \text{ t P a}^{-1}$ per il fosforo totale e 531 t N a^{-1} per l'azoto totale, quindi in aumento rispetto ad una precedente valutazione condotta nel 2002. L'applicazione di modelli predittivi di stato trofico, sulla base dei carichi stimati, ha di fatto condotto ad una previsione della concentrazione di fosforo nel lago molto simile a quella misurata sperimentalmente (101 mg P m^{-3} stimati a livello modellistico, a fronte di 99 mg P m^{-3} accertati sperimentalmente). I diversi scenari relativi alle possibili azioni per ridurre i carichi hanno mostrato come sia possibile nel tempo arrivare a portare il lago in condizioni di mesotrofia, abbattendo approssimativamente il 62% di fosforo e il 43% di azoto (Fig. 6);

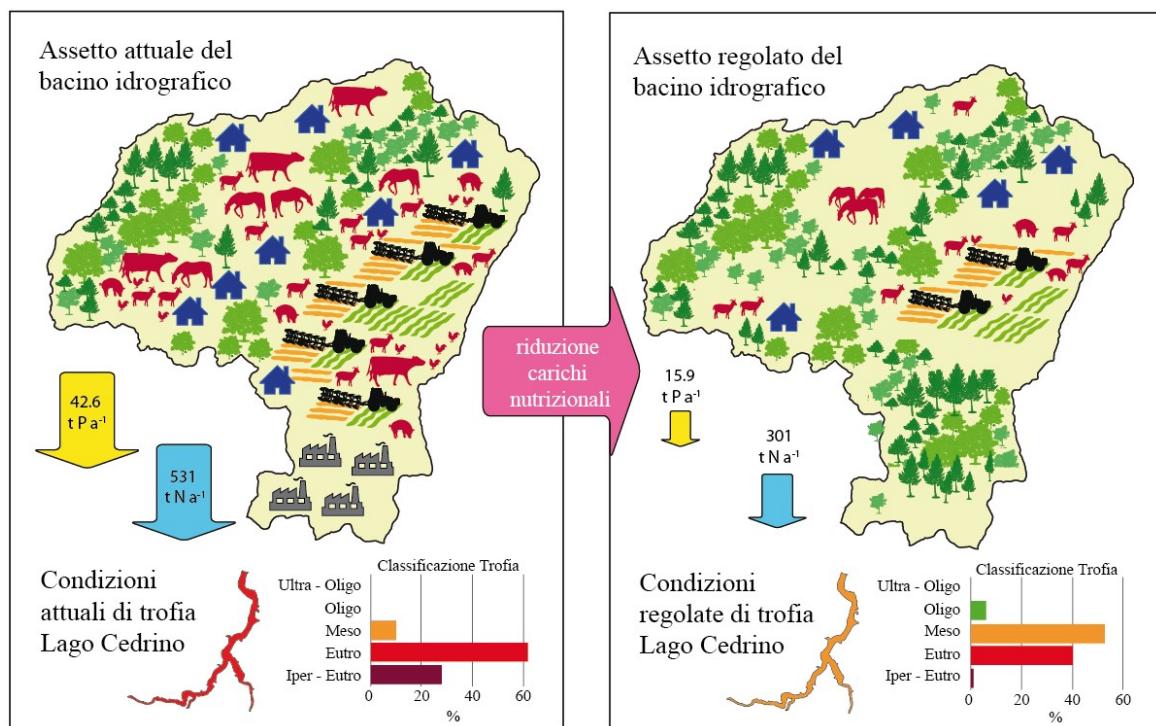


Fig. 6 - Identificazione e stima attuale dei quantitativi teorici dei carichi nutrizionali esterni originati dal bacino di drenaggio e condizioni di stato trofico del Lago Cedrino (pannello a sinistra); valutazione del possibile contingentamento dei carichi e conseguente previsione di riduzione dello stato trofico (pannello a destra)

• le indagini svolte sul lago hanno evidenziato la presenza di specie del fitoplancton potenzialmente capaci di influenzare l'uso delle acque, in particolare capaci di interferire con il processo di potabilizzazione (Padedda *et al.* 2017), e di svilupparsi con elevate densità tanto da produrre delle vere e proprie “maree rosse”. È stato questo il caso del dinoflagellato *Unrrubdinum penardii* (Lemmermann) Gottschling (ex *Peridiniopsis penardii*) che si sviluppa nei mesi invernali e che, in particolare nel febbraio del 2012, ha determinato la colorazione anomala delle acque del lago (Satta *et al.* 2014);

• ancora una volta tra gli effetti dell'eutrofizzazione è stata confermata l'affermazione massiva (in termini di densità e biomassa) di specie potenzialmente tossiche appartenenti ai Cianobatteri. In particolar modo, è stata rilevata la netta dominanza estiva di *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, le cui fioriture monospecifiche hanno rappresentato oltre il 90% della densità cellulare totale nel biennio 2011-2012, evidenziando l'urgenza della definizione di piani di gestione di fioriture potenzialmente tossiche (Fig. 7). L'urgenza deriva anche da precedenti rilevazioni di cianotossine nelle acque del lago, avvenuta in coincidenza con fioriture di *Microcystis* spp. (Messineo *et al.* 2009).

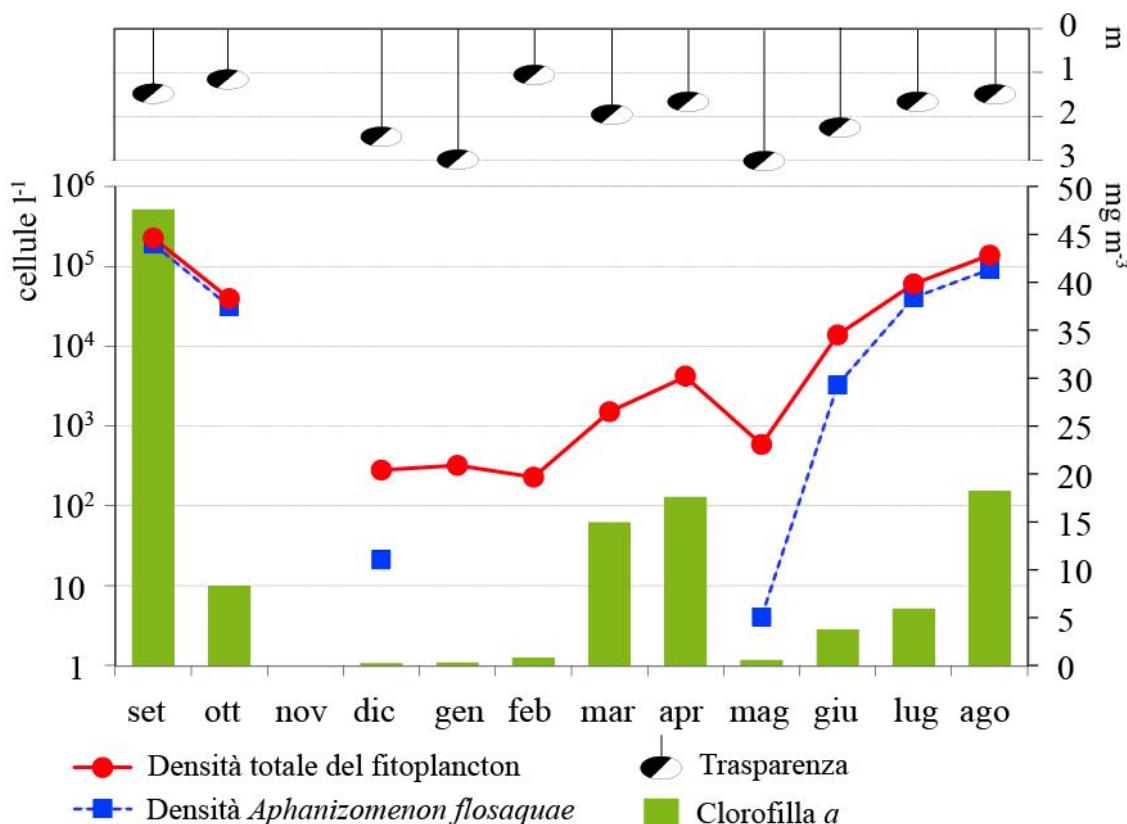


Fig. 7 - Densità totale del fitoplancton e di *Aphanizomenon flos-aquae* (asse sinistro), concentrazione della clorofilla a e trasparenza del disco di Secchi (asse destro) nel Lago Cedrino

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di numerosi progetti di ricerca tra cui i più importanti:

2003-2004: progetto PARSE “Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti” “U.O. 7 – Valutazione dell'efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri”, finanziato nell'ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l'Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2005-2009: convenzione “Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell'acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l'attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales”, su incarico dell'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2010-2012: studio “Convenzione per l'affidamento di un incarico di monitoraggio della qualità delle acque e degli ambienti della Valle del Cedrino” su incarico dell’Amministrazione Provinciale di Nuoro (contratto N° 2063 del 20-05-2010).

2010-2013: convenzione “Contratto per l'affidamento di supervisione scientifica sulle attività gestionali del sistema di monitoraggio automatico della qualità delle acque in alcuni laghi artificiali della Sardegna, progetto boe (lotto funzionale I e II)”, su incarico dell’Ente Acque della Sardegna (ENAS).

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: “Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring” per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Dal 2018: progetto europeo “European Long-Term Ecosystem and socio-ecological Research Infrastructure – eLTER H2020” (Project ID: 654359), finanziato nell’ambito del programma H2020-EU.1.4.1.2. – Integrating and opening existing national and regional research infrastructures of European interest.

Attività di divulgazione

Il sito di ricerca è stato oggetto di diverse iniziative che hanno riguardato importanti incontri pubblici con le amministrazioni locali, le associazioni di categoria e i diversi portatori di interesse, tesi alla sensibilizzazione e valorizzazione del sito. In particolare, il sito è stato ricompreso nell’ambito delle attività per la definizione del Contratto di fiume della Valle del Cedrino e nell’ambito delle attività inerenti al monitoraggio della qualità delle acque e degli ambienti della Valle del Cedrino su incarico dell’Amministrazione Provinciale di Nuoro nella definizione di piani d’azione territoriale di recupero del sito.

Abstract

Lake Cedrino (IT10-002-A) results from the damming of the Cedrino River, since 1984. The lake is located in the eastern centre of Sardinia. When it is filled to its maximum (103 m a.s.l.), it has a surface area of 1.5 km², a volume of 20 x 10⁶ m³, and a mean depth of 26.5 m. The catchment covers about 627 km². The lake is eutrophic. Currently the site is under the management of the Ente Acque della Sardegna – ENAS which deals with the quality control of water mainly used for irrigation and drinking uses. The collected data refer to various research topics, mainly regarding the study of phytoplankton ecology, eutrophication, biodiversity, harmful algal species and harmful algal blooms. For this lake, data collection began in 1994 and has been still ongoing; the historical series show some gaps of various temporal amplitudes. Sampling has been carried out generally monthly, at different depths along the vertical profile at a sampling station located at the maximum depth point of the lake. Data access is restricted and subject to a policy agreement, any use of the data must be authorized by the site manager.

Lago Cuga

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliazione

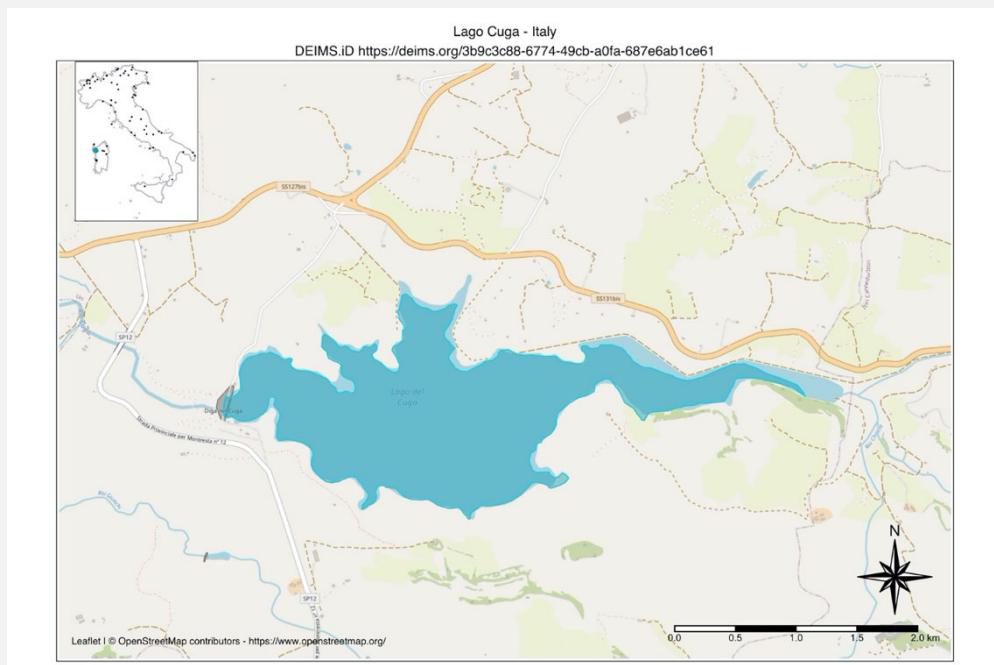
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-003-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/3b9c3c88-6774-49cb-a0fa-687e6ab1ce61>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Cuga (IT10-003-A) si trova nella parte nord-occidentale della Sardegna (Lat. 40.610430, Lon. 8.462634. UTM WGS84). Il lago è stato realizzato mediante sbarramento dell'omonimo fiume nel 1965 (Fig. 8). Il suo primo riempimento è stato completato solo nel 1975. Si trova ad un'altitudine di 114 m s.l.m. e si estende per circa 58×10^6 m²; ha una profondità massima e media rispettivamente di 45 m e 11 m, e un volume di circa 34×10^6 m³.

Le acque vengono drenate verso il lago principalmente dal Rio Cuga e risultano essere insufficienti per portare il lago al massimo riempimento. Esiste infatti uno squilibrio tra la domanda (utenze servite)

e la quantità di risorsa proveniente dal bacino imbrifero del lago. La maggiore richiesta rispetto al deflusso medio annuo è soddisfatta grazie ai volumi d'acqua che vengono trasferiti al Lago Cuga dal Lago Temo, attraverso una condotta. Le acque sono utilizzate principalmente per l'irrigazione e a fini potabili. Nel sito non sono presenti particolari status di protezione.

Il Lago Cuga è stato classificato come eutrofico con dati sperimentali sin dai primi anni del suo



Fig. 8 - Lago Cuga

riempimento, confermando la stima valutata sul carico in ingresso calcolato per via teorica. Tale situazione è da ricondurre all'eccessivo apporto di elementi nutrizionali dal bacino imbrifero (principalmente del fosforo). Nel periodo estivo per le acque ipolimiche viene rilevata talvolta la totale assenza di ossigeno disciolto, anche se quest'effetto dell'eutrofizzazione è spesso attenuato dalla rottura della stratificazione termica dovuta all'azione del vento che, per la geomorfologia dell'area e la morfometria lacustre, agisce sul lago con incisività, consentendo una parziale ri-ossigenazione anche di strati relativamente profondi (Fig. 9).

Coerentemente, anche lo sviluppo algale risulta consistente. La qualità dell'acqua rilevata appare condizionata dalle notevoli proliferazioni estive del fitoplancton, composto per la maggior parte da specie di Cianobatteri con caratteristiche anche potenzialmente tossiche, tra le quali *Dolichospermum flos-aquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) P.Wacklin, L.Hoffmann & J.Komárek (= *Anabaena flos-aquae* Brébisson ex Bornet & Flahault), *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault e *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing.

Risultati

La sintesi degli studi sinora condotti nel Lago Cuga mostra come il lago continui a trovarsi in una condizione di forte eutrofia (Marchetto *et al.* 2009), già riscontrata nei decenni precedenti (Sechi and Lugliè 1996). Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti sul Lago Cuga dalla costituzione della rete LTER-Italia:

L'eutrofia del Lago Cuga, già riscontrata nei decenni precedenti (Sechi and Lugliè 1996), è stata confermata da Marchetto *et al.* (2009). Nello stesso lavoro, le lunghe serie temporali dei biovolumi delle

specie fitoplanctoniche del lago sono state utilizzate, insieme a quelle di numerosi altri laghi artificiali sardi, per lo sviluppo del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI), un indice che si basa sul fitoplancton quale elemento biotico per la valutazione di qualità dell'ambiente. L'indice è utile per definire gli effetti dell'eutrofizzazione nei laghi artificiali profondi del Mediterraneo ed è basato sull'assunto che i valori del fosforo totale, considerato l'indicatore più importante nella valutazione dei livelli trofici lacustri, sia ben correlato con due variabili che, a loro volta, sono diretta espressione dell'intensità dello sviluppo del fitoplancton: biovolume e clorofilla *a*. La preliminare applicazione dell'indice e la sua comparazione ha evidenziato la buona corrispondenza tra lo stato trofico e l'indice stesso. Il valore calcolato per il Lago Cuga ha infatti collocato il lago all'interno della classe "bad-poor", quindi in uno stato di qualità ambientale fortemente compromesso e comunque inferiore alla condizione "good", che secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE necessariamente si sarebbe dovuta raggiungere entro il 2015, termine successivamente procrastinato alle nuove scadenze del 2021 e 2027.

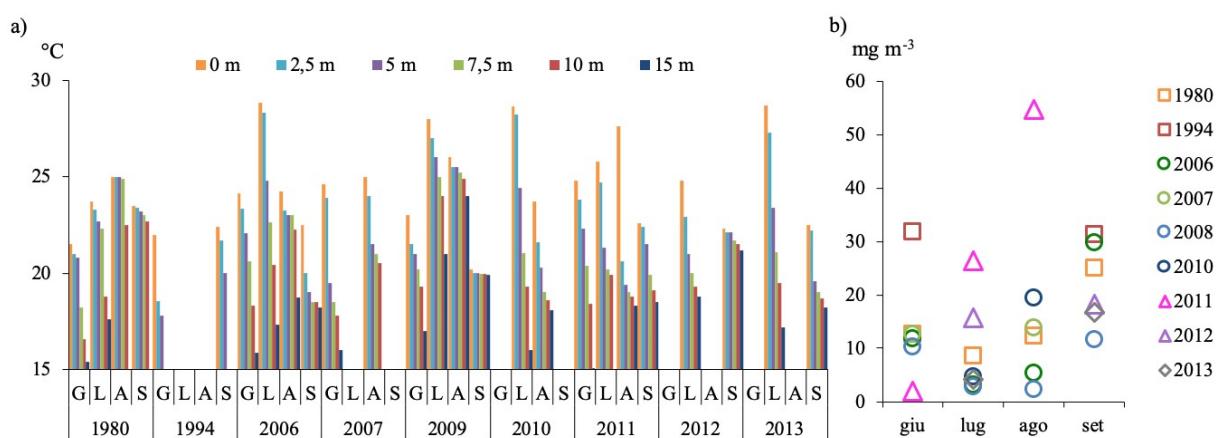


Fig. 9 - Dinamica estiva della temperatura (a) e della clorofilla a (b) nel Lago Cuga

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di diversi progetti tra cui i più importanti sono stati:

2003-2004: progetto PARSE "Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti" "U.O. 7 – Valutazione dell'efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri", finanziato nell'ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l'Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2005-2009: convenzione "Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell'acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l'attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales", su incarico dell'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: "Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring" per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+ Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

2010-2013: convenzione "Contratto per l'affidamento di supervisione scientifica sulle attività gestionali del sistema di monitoraggio automatico della qualità delle acque in alcuni laghi artificiali della Sardegna, progetto boe (lotto funzionale I e II)", su incarico dell'Ente Acque della Sardegna (ENAS).

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo "Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell'Università di Sassari", focalizzando in particolare l'attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Abstract

Lake Cuga (IT10-003-A) is an artificial lake located in the north-west part of Sardinia. The dam was built in 1965 and the first filling of the reservoir was in 1975. The lake lies at an altitude of 114 m a.s.l. and is extended for about 58×10^6 m², with a maximum and average depth of 45 m and 11 m, respectively. It has a volume of 34×10^6 m³. The waters are used mainly for irrigation and drinking supplies. Lake Cuga is classified as eutrophic since the early years of its filling.

Lago Monte Lerno

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Pasqualina Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliazione

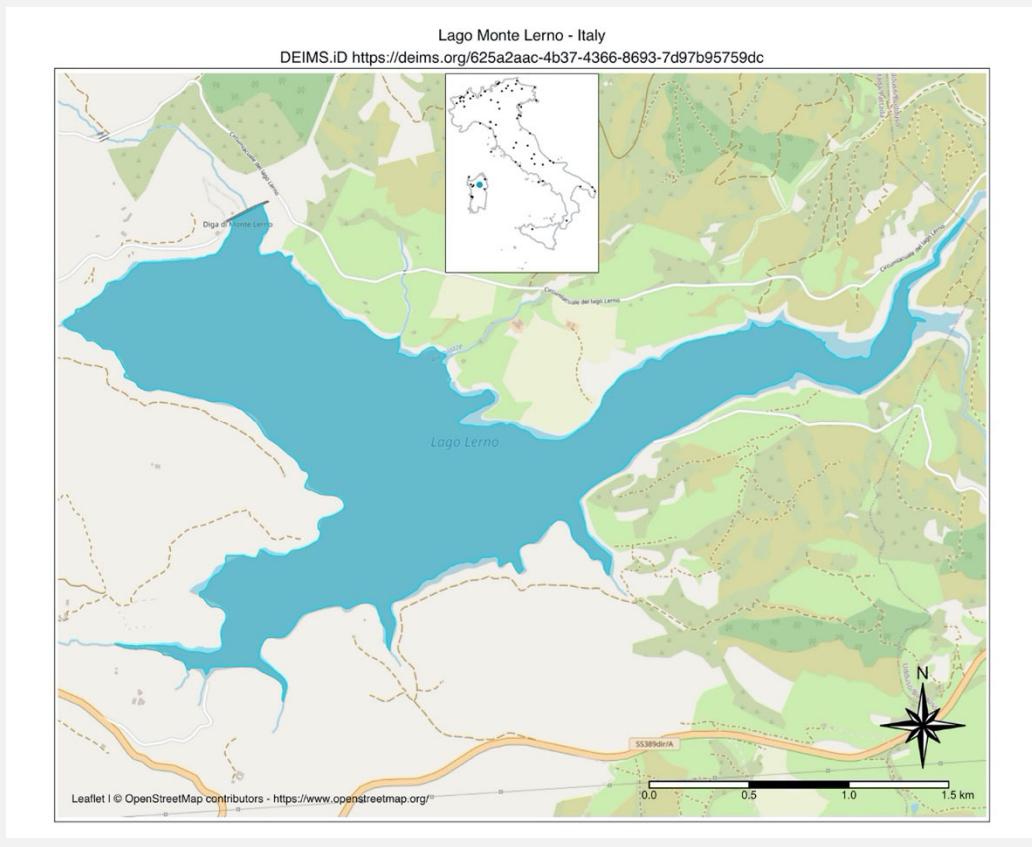
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-004-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/625a2aac-4b37-4366-8693-7d97b95759dc>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Monte Lerno (IT-004-A), chiamato anche Lago Pattada, si trova nella parte nord-orientale della Sardegna (Lat. 40.585604, Lon. 9.151818, UTM WGS84) nel territorio del comune di Pattada (SS) (Fig. 10). Si tratta di un lago artificiale costruito nel 1984, drenante un bacino idrografico di circa 160 km². Il lago si trova a 561 m a.s.l. e ha una superficie massima di 4,4 km², una profondità media di 14,9 m, ed un volume stimato di 65,5 x 10⁶ m³ di acqua. Le sue acque sono utilizzate per fini potabili e per l'irrigazione. Il Lago Monte Lerno rappresenta anche il primo salto di un complesso sistema di invasi interconnessi, alimentando col suo emissario il vasto Lago del Coghinas, a sua volta a monte del sistema terminale del Lago Casteldoria.



Fig. 10 - Lago Monte Lerno di Pattada

Il Lago Monte Lerno è classificato come eutrofico (Lugliè *et al.* 1994; Sechi e Lugliè 1996; Mameli *et al.* 2002), con estese proliferazioni estive di fitoplancton, composto in gran parte da specie di Cianobatteri potenzialmente tossiche, tra le quali *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *M. flos-aquae* (Wittrock) Kirchner e *Pseudanabaena mucicola* (Naumann & Huber-Pestalozzi) Schwabe (=*Phormidium mucicola*

Nauman & Huber-Pestalozzi). Nel periodo estivo le acque ipolimiche subiscono una deplezione dell'ossigeno disciolto pressoché totale, dovuta all'intenso consumo per la decomposizione dell'abbondante sostanza organica prodotta dal fitoplancton nelle acque superficiali e successivamente sedimentata sul fondo del lago. Alla carenza di ossigeno conseguono condizioni riduenti e diminuzione dei valori di pH, incrementi del fosforo, del ferro, del manganese e dell'ammoniaca. Il pH è invece spostato verso una chiara basicità, sino ad oltre le 9,5-10 unità, nella zona fotica, in coincidenza con eventi di intensa proliferazione algale.

Risultati

La sintesi degli studi sinora condotti nel Lago Monte Lerno evidenzia come il lago continui a trovarsi in una condizione di forte eutrofia (Marchetto *et al.* 2009; Mariani *et al.* 2015; Fadda *et al.* 2011), con un peggioramento nelle caratteristiche del fitoplancton per il verificarsi di prolungate fioriture di Cianobatteri tossici (Messineo *et al.* 2009; Mariani *et al.* 2015). Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti sul Lago Monte Lerno negli ultimi dieci anni:

- le lunghe serie temporali dei biovolumi delle specie fitoplanctoniche sono state utilizzate, insieme a quelle di numerosi altri laghi artificiali sardi, per lo sviluppo del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI; Marchetto *et al.* 2009), un indice che si basa sul fitoplancton quale elemento biotico per la valutazione di qualità dell'ambiente ed è utile per definire gli effetti dell'eutrofizzazione nei laghi artificiali profondi del Mediterraneo. L'indice è basato sull'assunto che i valori del fosforo totale, considerato l'indicatore più importante nella valutazione dei livelli trofici lacustri, sia ben

correlato con due variabili che, a loro volta, sono diretta espressione dell'intensità dello sviluppo fitoplanctonico: biovolume e clorofilla *a*. La preliminare applicazione dell'indice e la sua comparazione con i descrittori trofici (fosforo totale, clorofilla *a*, disco di Secchi) hanno evidenziato, nel caso del Lago Monte Lerno, delle divergenze tra lo stato trofico e l'indice, probabilmente legate alle diverse condizioni che si sono verificate nel lago durante le diverse fasi di maturità. Infatti, è verosimile che i primi due cicli d'indagine svolti solo pochi anni dopo il primo invaso del lago (1988-89 e 1997), abbiano risentito dell'innalzamento trofico attribuito al normale effetto di mineralizzazione dei materiali provenienti dai territori sommersi. In corrispondenza, i valori del MedPTI sono ricaduti all'interno della classe "moderate-poor". Sulle base delle minori concentrazioni di fosforo totale e di clorofilla *a* osservate nel 2006, al lago è stata attribuita una condizione di mesotrofia, a cui ha invece corrisposto un valore del MedPTI che rivelava un leggero peggioramento della classe di qualità ambientale (bad-poor). Diverse cause possono essere responsabili della diminuzione delle concentrazioni di fosforo totale e di clorofilla *a* oltre che la progressiva maturazione del lago, sia naturali (es., variabilità climatica) che antropogeniche (gestione del lago ed attività nel bacino imbrifero). In questo caso, l'indice ha classificato correttamente il lago sulla base della sua composizione in specie, sottolineando il vantaggio di un indice basato sulla composizione delle specie capace di stimare meglio la qualità ecologica dei corpi idrici che siano soggetti a forti variazioni ambientali da un anno all'altro. Successivamente, Fadda *et al.* (2011) e Mariani *et al.* (2015), hanno infatti classificato il lago ancora una volta come eutrofico in base ai dati rilevati. Entrambe le valutazioni ottenute con il MedPTI hanno in ogni caso evidenziato uno stato di qualità ambientale fortemente compromesso e comunque inferiore alla condizione "good", che secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE necessariamente si sarebbe dovuto raggiungere entro il 2015, termine successivamente procrastinato alle nuove scadenze del 2021 e 2027;

- il Lago Monte Lerno è stato successivamente inserito in una ricerca che aveva l'obiettivo di valutare l'effetto dello stato trofico sulla produzione di microcistine e sulla dominanza di Cianobatteri nell'assemblaggio fitoplancton di alcuni invasi mediterranei (Mariani *et al.* 2015). I principali risultati hanno mostrato, a conferma di quanto riportato nel precedente punto, un sostanziale incremento dei nutrienti nelle acque del lago rispetto agli studi precedenti, soprattutto per quanto riguarda il fosforo totale e la clorofilla *a* (Marchetto *et al.* 2009). Mariani *et al.* (2015) hanno perciò attribuito al Lago Monte Lerno un'elevata eutrofia.

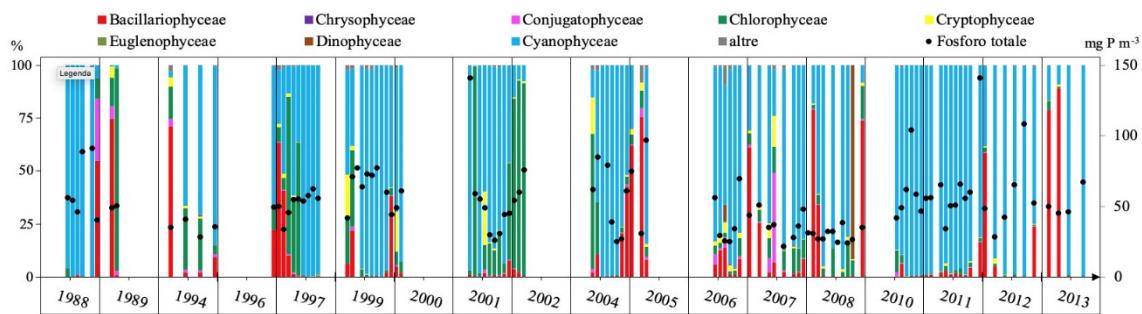


Fig. 11 - Dinamica del fosforo totale e della composizione percentuale in classi del fitoplancton nel Lago Monte Lerno

Le densità maggiori del fitoplancton sono state rilevate nel periodo estivo-autunnale e le biomasse maggiori nel periodo primaverile. Dal punto di vista strutturale il fitoplancton è risultato dominato per la densità e la biomassa dai Cianobatteri (Fig. 11), presenti con 31 taxa. Le specie più abbondanti sono state *Planktothrix agardhii-rubescens* group, *Aphanocapsa* spp. e *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault. Accanto alle specie già menzionate sono state rilevate anche altre specie potenzialmente tossiche, tra cui le prime segnalazioni in Sardegna per *Dolichospermum macrosporum* (Klebahn) Wacklin, Hoffmann and Komárek (= *Anabaena macrospora* Klebahn) e *D. viguieri* (Denis and Frémy) Wacklin, Hoffmann and Komárek (= *Anabaena viguieri* Denis and Frémy). Le microcistine (MC) sono state rilevate nella totalità dei campioni analizzati e in circa l'88% dei campioni analizzati le concentrazioni

hanno superato il valore soglia indicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per le acque potabili, pari a $1 \mu\text{g l}^{-1}$. Le più alte concentrazioni di MC sono state rilevate in inverno-primavera in coincidenza con le più elevate abbondanze cellulari di Cianobatteri (da gennaio ad aprile, densità $> 181 \times 10^6$ cellule l^{-1} e concentrazione di MC $> 4 \mu\text{g l}^{-1}$), a causa dell'affermazione del gruppo *P. agardhii-rubescens*, confermando la possibilità d'insorgenza di ceppi tossici di questo gruppo anche nei laghi artificiali del Mediterraneo. Questo quadro è risultato diverso da quanto riportato in precedenza da Messineo *et al.* (2009) che non avevano segnalato la presenza di cianotossine nei campioni analizzati, seppure in questi fosse stata riscontrata la presenza di Cianobatteri. Nel complesso i risultati ottenuti da Mariani *et al.* (2015) hanno fornito prove importanti circa le relazioni tra stato trofico, abbondanza di Cianobatteri e concentrazioni di MC, indicando un ruolo chiave dei nutrienti nel determinare la loro affermazione, e confermando come la temperatura e il rapporto $Z_{\text{eu}}/Z_{\text{mix}}$ risultino fattori importanti nello sviluppo dei Cianobatteri, da tenere in stretta considerazione in relazione al riscaldamento globale e al cambiamento climatico in atto.

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di numerosi progetti di ricerca tra cui i più importanti:

2003-2004: progetto PARSE “Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti” “U.O. 7 – Valutazione dell'efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri”, finanziato nell'ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l'Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2006-2009: convenzione “Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell'acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l'attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales”, su incarico dell'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2010-2012: progetto di ricerca “Cianobatteri: conoscenza e possibilità di predizione e gestione di fioriture potenzialmente tossiche in ambienti lacustri” della Dottoressa Maria Antonietta Mariani, Regione Autonoma della Sardegna, Borse di Studio per Giovani Ricercatori, Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio, Centro Regionale di Programmazione.

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: “Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring” per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+ Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

2010-2013: INHABIT – LIFE08 ENV/IT/000413 (Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes), CNR-ISE.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell'Università di Sassari”, focalizzando in particolare l'attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Abstract

Lake Monte Lerno (IT10-004-A) is an artificial lake located in the north-east part of Sardinia. It was built in 1984, draining a catchment area of 160 km^2 . The reservoir lies at 561 m a.s.l. and has a maximum area of 4.4 km^2 , a mean depth of 14.9 m and a volume of $65.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ of water. Its waters are used for drinking and irrigation. Lake Monte Lerno is classified as eutrophic.

Lago Sos Canales

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliatione

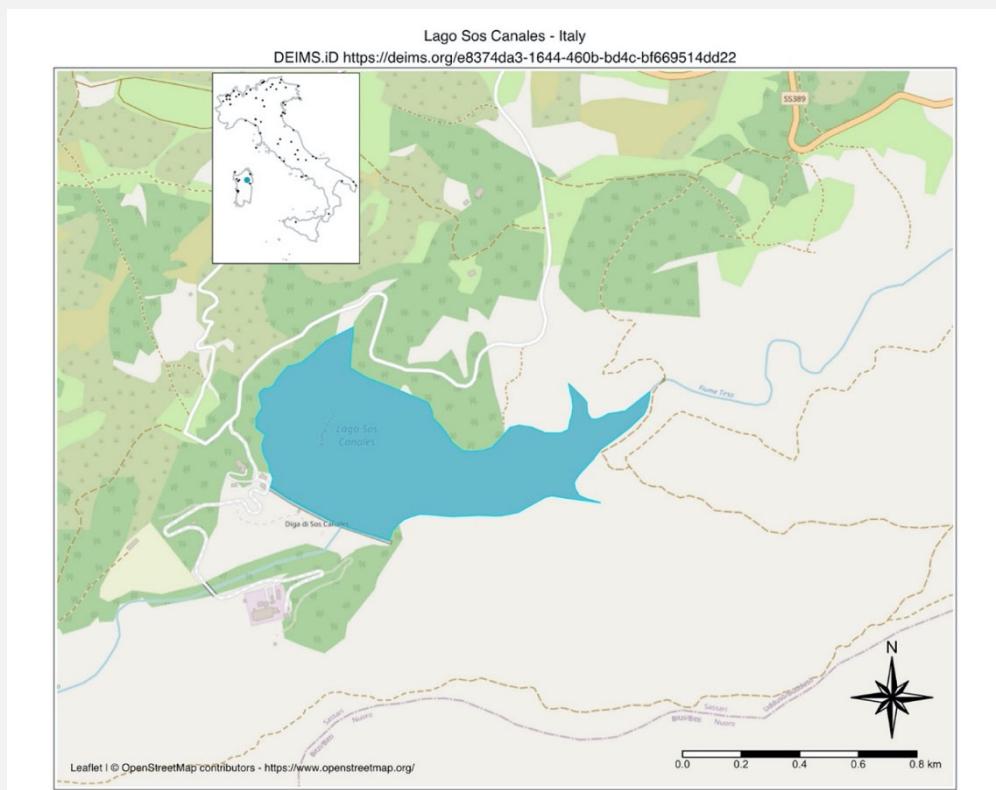
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-005-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/e8374da3-1644-460b-bd4c-bf669514dd22>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Sos Canales (IT-005-A) si trova nella parte nord-orientale della Sardegna (Lat. 40.554374, Lon. 9.314449, UTM WGS84), nel comune di Buddusò (SS) (Fig. 12). Si tratta di un lago artificiale, costruito nel 1956, ottenuto con lo sbarramento del Fiume Tirso per mezzo di una diga a gravità di 47 m di altezza. Il lago si trova a 714 m s.l.m., ha una superficie massima di 0,33 km², una profondità nominale media di 13,2 m, un volume massimo nominale di $4,3 \times 10^6$ m³ e un volume utile di circa $3,6 \times 10^6$ m³. Il bacino idrografico (esteso per circa 16 km²) risulta quasi interamente forestato ed è di notevole pregio paesaggistico; al suo interno non insistono centri abitati ma, piuttosto, vi è un ampio uso del territorio per l'allevamento brado, difficilmente quantificabile. Le sue acque vengono utilizzate per l'approvvigionamento potabile dei vicini centri abitati di Buddusò e Alà dei Sardi.



Fig. 12 - Lago Sos Canales

Le indagini svolte sul Lago Sos Canales hanno evidenziato nel tempo, la difficoltà nell'attribuire al lago uno stato trofico ben preciso. Basandosi infatti sugli aspetti quantitativi del fitoplancton (in particolare della clorofilla *a*) il Lago Sos Canales risulta essere eutrofico; considerando la disponibilità di fosforo nelle acque, secondo il modello OECD, il lago invece si configura, a seconda dell'anno considerato, come

mesotrofico. In generale il fitoplancton evidenzia, nella

sua composizione in specie, solo una parziale presenza di elementi che dominano i laghi eutrofici sardi sebbene nel tempo, in specifici anni, sia stata riscontrata una maggiore affermazione di Cianobatteri, in particolare del genere *Dolichospermum* (dominante nel periodo estivo-autunnale) e tipici di una condizione di maggiore trofia.

Risultati

La sintesi degli studi sinora condotti nel Lago Sos Canales evidenzia come il lago sia stato oggetto di diverse indagini. Un aspetto caratteristico è il ripetersi nel tempo dell'alternanza di anni di manifesta eutrofia ed altri di mesotrofia (Marchetto *et al.* 2009; Mariani *et al.* 2015; Morabito *et al.* 2018). Anche l'abbondanza del fitoplancton e la sua composizione in specie hanno mostrato cambiamenti nel tempo, con il verificarsi di prolungate fioriture di Cianobatteri tossici (Messineo *et al.* 2009; Mariani *et al.* 2015). Si tratta inoltre dell'unico lago artificiale della Sardegna in cui sia stata indagata la rete trofica pelagica attraverso l'analisi degli isotopi stabili (Stable Isotope Analysis, SIA) di carbonio e azoto, assumendo il Lago Sos Canales come esempio di lago artificiale mediterraneo. Lo scopo di questo studio è stato quello di valutare quanto la trofia lacustre potesse essere gestita, in termini vantaggiosi, con un approccio top-down in aggiunta e/o in alternativa ad un controllo bottom-up, basato principalmente sulle disponibilità delle risorse nutritive. Con questo obiettivo dal 2008 al 2011 sono state svolte, in successione, diverse attività di ricerca finalizzate alla valutazione dell'importanza relativa della produzione autoctona fitoplanctonica rispetto all'apporto alloctono per il sostegno alla produzione dei

popolamenti zooplanctonici e il contributo di questi ultimi nell'alimentazione ittica (Fadda *et al.* 2011; Fadda *et al.* 2014; Fadda *et al.* 2016a; 2016b). Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti sul Lago Sos Canales negli ultimi dieci anni:

- le lunghe serie temporali dei biovolumi delle specie fitoplanctoniche sono state utilizzate, insieme a quelle di numerosi altri laghi artificiali sardi, per lo sviluppo del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI; Marchetto *et al.* 2009), un indice che si basa sul fitoplancton quale elemento biotico per la valutazione di qualità dell'ambiente ed è utile per definire gli effetti dell'eutrofizzazione nei laghi artificiali profondi del Mediterraneo. L'indice è basato sull'assunto che i valori del fosforo totale, considerato l'indicatore più importante nella valutazione dei livelli trofici lacustri, sia ben correlato con due variabili che, a loro volta, sono diretta espressione dell'intensità dello sviluppo fitoplanctonico: biovolume e clorofilla *a*. La preliminare applicazione dell'indice e la sua comparazione con i descrittori trofici (fosforo totale, clorofilla *a*, disco di Secchi) hanno evidenziato, nel caso del Lago Sos Canales, divergenze tra lo stato trofico e l'indice, confermando la difficoltà nell'attribuire questo lago a una definita categoria trofica e la necessità di una sua valutazione anno per anno. Diverse cause, naturali (es., variabilità climatica) e antropogeniche (es., gestione del lago ed attività nel bacino imbrifero), possono essere responsabili della variazione delle concentrazioni di fosforo totale e di clorofilla *a* nel tempo. Per esempio, in base ai dati del 2006, l'ultimo anno considerato nel lavoro di Marchetto *et al.* (2009), il valore del MedPTI è ricaduto all'interno della classe "moderate-poor", con un corrispondente valore del fosforo tipico della mesotrofia e della clorofilla *a* dell'eutrofia, rispetto ad un quadro del 2005 i cui i valori del fosforo sono ricaduti nell'eutrofia e quelli della clorofilla *a* nella mesotrofia, con un peggioramento della classe di qualità ambientale del MedPTI a "poor-bad". Anche Fadda *et al.* (2011) hanno classificato il lago ancora una volta come eutrofico in base ai dati rilevati nel 2008, mentre Mariani *et al.* (2015) hanno segnalato ancora una volta una condizione intermedia tra mesotrofia ed eutrofia accertata tra il 2010 e il 2011. Le valutazioni ottenute con il MedPTI hanno in ogni caso evidenziato uno stato di qualità ambientale problematico e inferiore alla condizione "good" che secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE necessariamente si sarebbe dovuto raggiungere entro il 2015, termine successivamente procrastinato alle nuove scadenze del 2021 e 2027;

- le attività preliminari per lo studio della rete trofica dei laghi artificiali mediterranei sono iniziati nel 2008, con uno screening sullo zooplancton di 15 laghi artificiali, considerando una componente biotica non ancora indagata nei laghi sardi, lo zooplancton. Il Lago Sos Canales ha evidenziato la maggiore diversità della componente a crostacei zooplanctonici tra i laghi considerati (Fadda *et al.* 2011). I risultati hanno mostrato che il livello trofico dei laghi, la profondità, il tempo di ricambio idraulico e l'altitudine spiegavano una proporzione significativa della varianza totale osservata nella composizione tassonomica e nella struttura dei popolamenti zooplanctonici. Nel Lago Sos Canales, nel complesso, sono stati rilevati otto taxa, tra cui *Daphnia pulex* (L., 1758), il gruppo della *Daphnia longispina* (Müller O.F. 1776), l'ubiquitaria *Ceriodaphnia pulchella* (G.O. Sars 1862), i più rari *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820), *Bosmina longirostris* (Müller O.F. 1785), *Diaphanosoma* sp., e tra i copepodi *Copidodiatomus numidicus* (Gurney 1909), *Macrocylops albidus* (Jurine 1820) e una specie del gruppo *Cyclops abyssorum* (Sars 1863), presente in maniera specifica in profondità. I Cladoceri sono risultati particolarmente ben rappresentati, con *B. longirostris* e *C. pulchella* coesistenti sia con *D. pulex* che con *D. longispina*. In particolare, *C. pulchella* è risultata presente in tutte le stagioni diventando dominante in giugno-agosto e sostituendo *B. longirostris*, dominante invece tra settembre e marzo. *C. numidicus* è stato presente durante tutto l'anno, verosimilmente sostenuto dalla formazione di uova subitanee. Questo risultato è derivato dalla valutazione della banca delle uova presente nei sedimenti in aggiunta allo studio sulla biodiversità espressa. Un risultato interessante è stato inoltre ottenuto con l'analisi filogenetica delle sequenze del gene ND5 degli isolati di *D. pulex* del Lago Sos Canales con la loro inequivocabile appartenenza all'ibrido invasivo di origine americana, chiaramente distinto dal *D. pulex* europeo, e considerato una minaccia per le popolazioni native europee;

- dal 2010 al settembre 2011 sono state svolte le attività per l'applicazione della SIA allo zooplancton, ai pesci e agli organismi di riferimento per l'ambiente litorale (decapodi trituratori, *Atyaephyra desmaresti* Millet 1831), del perifiton (gasteropodi raschiatori, *Ancylus fluviatilis* Müller O.F. 1774), dei sedimenti lacustri (oligochetti bentonici), oltre che alla materia organica sospesa (Suspended Particulate Material, SPM). Si è voluto indagare la natura e l'origine dell'SPM del lago per un intero anno idrologico sul profilo verticale in due stazioni (lacustre e fluviale) (Fadda *et al.* 2016a). La quantità e la composizione dell'SPM sono risultate correlate alla dinamica idrologica annuale. Nel Lago Sos Canales, così come avviene nei laghi mediterranei, le fluttuazioni del livello dell'acqua sono uno dei più importanti fattori di stress, in gran parte dipendenti dalla forte stagionalità del clima e dallo sfruttamento idrico per usi umani. Il lago ha mostrato diverse fasi durante l'anno idrologico, alternando un periodo di svuotamento (estate-autunno) e uno di riempimento (inverno-primavera). I rapporti isotopici di C e N sono risultati simili sul profilo verticale e nelle due stazioni durante la fase di svuotamento, ma hanno differito durante le fasi di riempimento. Correlazioni significative sono state trovate tra $\delta^{15}\text{N}$ e il livello dell'acqua e tra $\delta^{13}\text{C}$ e la temperatura nello strato superficiale della stazione lacustre. Un'insolita distribuzione di $\delta^{13}\text{C}$ lungo la colonna d'acqua durante la fase di riempimento è stata interpretata sulla base della particolare composizione fitoplanktonica, caratterizzata dalla dominanza del dinoflagellato mixotrofo *Gymnodinium uberrimum* (G.J. Allman) Kofoid e Swezy, capace di utilizzare diverse fonti di carbonio rispetto ad un fitoplanktonte tipicamente fotoautotrofo (Fig. 13). L'anomalia del segnale isotopico riscontrata nell'SPM si è riflessa, in successione, anche sugli altri livelli trofici;

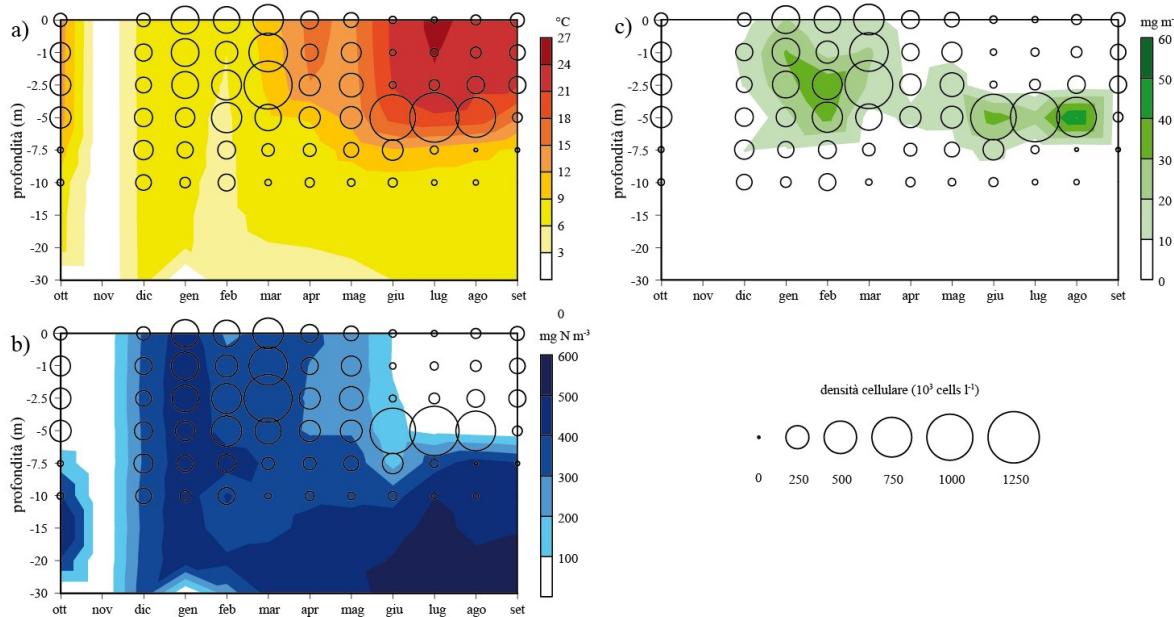


Fig. 13 - Dinamica temporale ed in colonna d'acqua di *Gymnodinium uberrimum* rispetto alla temperatura (a), ai nitrati (b) e alla clorofilla a (c)

- l'importanza dello zooplancton all'interno della rete trofica nel trasferimento della materia e dell'energia nel Lago Sos Canales è stata studiata su scala stagionale con l'applicazione della SIA ai crostacei zooplanktonici (Fadda *et al.* 2014). Lo studio ha dimostrato come i cambiamenti stagionali della firma isotopica dell'SPM si evidenziassero nei cladoceri erbivori. Le firme di $\delta^{15}\text{N}$ dei copepodi calanoidi e ciclopoidi sono risultate maggiori di circa il 3% di quelle per i cladoceri erbivori, suggerendo il potenziale uso di questi ultimi come risorsa alimentare. Le firme $\delta^{13}\text{C}$ nei copepodi predatori sono risultate altresì coerenti con le fluttuazioni stagionali nella linea di base $\delta^{13}\text{C}$ dell'SPM, tranne durante le forti piogge all'inizio della primavera, quando erano presenti individui ricchi di lipidi con un rapporto C/N più alto, suggerendo in questo caso la loro entrata in dormienza per cui non venivano più ad

alimentarsi nella colonna d'acqua. Lo studio ha dimostrato l'importanza della valutazione della firma isotopica su base stagionale negli ambienti mediterranei, oltre che le dinamiche delle comunità e il livello trofico dei taxa zooplanktonici quando si interpretano studi sugli isotopi stabili;

- sempre con l'applicazione della SIA di C e N durante un ciclo idrologico annuale, è stata valutata l'origine delle risorse alimentari sfruttate dalla componente ittica del Lago Sos Canales (Fadda *et al.* 2016b). L'obiettivo è stato quello di delineare un quadro del comportamento trofico stagionale delle specie ittiche che abitano un lago artificiale mediterraneo sottoposto a notevoli stress a causa delle elevate fluttuazioni del livello dell'acqua. Metodologicamente i pesci sono stati catturati all'incirca a cadenza bimestrale e i livelli basali isotopici di C e N nell'area pelagica e littoriale sono stati analizzati per stabilire l'origine delle fonti di cibo per i pesci, considerando il particolato sospeso, i crostacei planctonici e i macroinvertebrati littorali. Per valutare il contributo relativo delle diverse fonti è stato applicato il Dynamic Baseline Mixing Model (DBMM) e i risultati sono stati confrontati con il contenuto stomacale dei pesci. Le firme isotopiche hanno mostrato un andamento stagionale con livelli di ^{13}C maggiormente impoveriti in autunno-inverno e meno in primavera-estate mentre una tendenza inversa è stata registrata per ^{15}N , sia nei valori di base isotopici che nei pesci. I risultati isotopici e l'analisi del contenuto stomacale hanno evidenziato una rigida dipendenza per tutto l'anno dalle fonti alimentari littoriali solo per la trota fario, mentre la gambusia ha modificato il suo comportamento trofico stagionalmente, passando dall'alimentazione littoriale (periodo di maggiore livello dell'acqua) alle fonti pelagiche (periodo di basso livello dell'acqua), rispecchiando le condizioni idrologiche del lago;

- visto l'uso potabile delle acque e la dominanza dei Cianobatteri nel fitoplancton del Lago Sos Canales in alcuni anni di studio, Mariani *et al.* (2015b) hanno inserito il lago in uno studio comparativo svolto su quattro laghi artificiali della Sardegna caratterizzati da diversi livelli di trofia lacustre teso a valutare l'effetto dello stato trofico sulla produzione di microcistine (MCs) e la dominanza di Cianobatteri nell'assemblaggio fitoplancton. Nei 18 mesi di studio la massima densità cellulare del fitoplancton è stata osservata in estate-autunno ed il picco massimo di biomassa in primavera. Rispetto agli altri laghi indagati, i Cianobatteri sono stati meno abbondanti e importanti in termini di contributo percentuale al fitoplancton totale. Nonostante ciò, nel 63% dei campioni analizzati (16) sono state rilevate MCs sebbene mai con concentrazioni $> 1 \mu\text{g l}^{-1}$, il valore soglia indicato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per le acque potabili. Tra le specie di Cianobatteri potenzialmente tossici sono state rilevate *Anatheece* sp., *Planktothrix agardhii-rubescens* group e *Dolichospermum viguieri* (Denis and Frémy) Wacklin, Hoffmann and Komárek (= *Anabaena viguieri* Denis and Fremy), una specie non ancora segnalata nel fitoplancton del lago e dei laghi artificiali della Sardegna. Le maggiori concentrazioni di MCs hanno principalmente coinciso con fioriture estive di *D. viguieri*, sottolineando l'importanza degli studi a lungo termine per la precoce segnalazione di cambiamenti della comunità dovuti alla comparsa di specie in precedenza non segnalate, particolarmente importante quando i cambiamenti coinvolgono specie potenzialmente nocive.

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di numerosi progetti di ricerca tra cui i più importanti:

2003-2004: progetto PARSE “Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti” “U.O. 7 – Valutazione dell'efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri”, finanziato nell'ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l'Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2005-2009: convenzione “Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell'acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l'attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales”, su incarico dell'Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2010-2012: progetto di ricerca “Cianobatteri: conoscenza e possibilità di predizione e gestione di fioriture potenzialmente tossiche in ambienti lacustri” della Dottoressa Maria Antonietta Mariani, Regione Autonoma della Sardegna, Borse di Studio per Giovani Ricercatori, Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio.

2010-2013: convenzione “Contratto per l'affidamento di supervisione scientifica sulle attività gestionali del sistema di monitoraggio automatico della qualità delle acque in alcuni laghi artificiali della Sardegna, progetto boe (lotto funzionale I e II)”, su incarico dell’Ente Acque della Sardegna (ENAS).

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: “Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring” per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+ Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

2010-2013: INHABIT – LIFE08 ENV/IT/000413 (Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes), CNR-ISE.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Abstract

Lake Sos Canales (IT10-005-A) is located in the north-eastern Sardinia. The reservoir was built in 1956 with a dam in the first stretch of the Tirso River. The reservoir lies at 714 m a.s.l. and has a maximum area of 0.33 km², a mean depth of 13.2 m and a maximum nominal volume of 4.3 x 10⁶ m³. The catchment is extended for about 16 km². The lake is classified as meso-eutrophic.

Lago Temo

Autori

Bachisio Mario Padedda¹, Paola Buscarinu², Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Pasqualina Farina¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta¹, Marco Sarria¹, Tomasa Virdis², Antonella Lugliè¹

Affiliazione

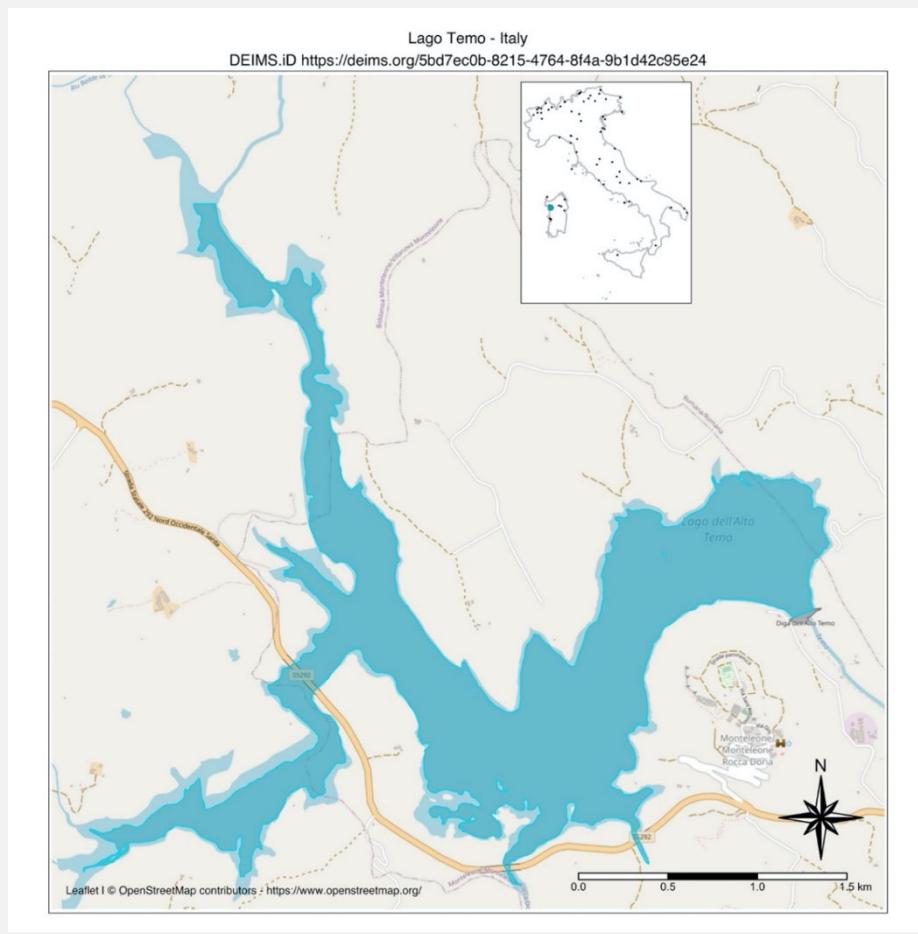
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari, Italia.

Sigla: IT10-006-A.

Responsabile del Sito: Bachisio Mario Padedda.

DEIMS.ID: <https://deims.org/5bd7ec0b-8215-4764-8f4a-9b1d42c95e24>



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Lago Temo (IT-006-A), conosciuto anche con il nome di Lago di Monteleone, è un lago artificiale situato nel nord-ovest della Sardegna (Lat. 40.481854, Lon. 8.560200, UTM WGS84) (Fig. 14). È stato realizzato mediante una diga sul corso del Fiume Temo, appena sotto il paese di Monteleone Rocca Doria (SS) e ricade nel territorio comunale di quest'ultimo. La costruzione della diga è iniziata nel 1971 ed è terminata solo nel 1984. Il lago si trova a 226 m s.l.m., ha una superficie di 4,81 km², una profondità media di 15,8 m, una capacità massima di 91×10^6 m³. Il suo bacino imbrifero si estende per 142,52 km². Il sito ricade in parte nel Sito di Importanza Comunitaria Entroterra e zona costiera tra Bosa, Capo Marargiu e Porto Tangone (ITB020041).

La conoscenza delle condizioni ecologiche e la valutazione trofica del Lago Temo, assumono una rilevante importanza per l'utilizzo potabile delle acque e per il collegamento che questo lago ha con i laghi Cuga e Bidighinzu: tramite condotte, è possibile che volumi idrici raccolti dal Lago Temo vengano trasferiti negli altri due laghi, rendendo così disponibile la risorsa idrica in aree diverse da quelle di raccolta. Questo comporta anche il trasferimento di nutrienti ai laghi recettori, con carichi aggiuntivi, provenienti da un bacino imbrifero diverso rispetto a quelli di competenza. Il lago, in base



Fig. 14 - Lago Temo

alle indagini condotte subito dopo il suo primo invaso (1984), è stato classificato come eutrofico (Lugliè *et al.* 1994; Sechi e Lugliè 1996), con una buona corrispondenza della risposta lacustre rispetto al carico potenziale dei nutrienti dal bacino imbrifero e quello critico calcolato (Sechi 1986, 1989). Rispetto alla componente fitoplanctonica, sono state osservate, sin dai primi studi, intense proliferazioni estive del fitoplancton, per la maggior parte dovute a specie di Cianobatteri come *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault e *Aphanocapsa* spp., con caratteristiche potenzialmente tossiche; la loro dominanza aveva interessato soprattutto i mesi estivi ed autunnali.

Risultati

La sintesi degli studi sinora condotti nel Lago Temo evidenzia come il lago, pur rimanendo in una condizione di eutrofia (Marchetto *et al.* 2009), abbia mostrato significative diminuzioni delle concentrazioni dei nutrienti, della clorofilla *a* e del biovolume medio del fitoplancton nel tempo (Pulina *et al.* 2016). Il fitoplancton ha confermato anche negli anni più recenti di studio prolungate fioriture estive di Cianobatteri anche potenzialmente tossici (Messineo *et al.* 2009; Lazzaro *et al.* 2018). Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti sul Lago Temo negli ultimi dieci anni:

- le serie temporali dei biovolumi delle specie fitoplanctoniche sono state utilizzate, insieme a quelle di numerosi altri laghi artificiali sardi, per lo sviluppo del Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (MedPTI; Marchetto *et al.* 2009), un indice che si basa sul fitoplancton quale elemento biotico per

la valutazione di qualità dell'ambiente ed è utile per definire gli effetti dell'eutrofizzazione nei laghi artificiali profondi del Mediterraneo. L'indice è basato sull'assunto che i valori del fosforo totale, considerato l'indicatore più importante nella valutazione dei livelli trofici lacustri, sia ben correlato con due variabili che, a loro volta, sono diretta espressione dell'intensità dello sviluppo fitoplanctonico: biovolume e clorofilla *a*. La preliminare applicazione dell'indice e la sua comparazione con i descrittori trofici (fosforo totale, clorofilla *a*, disco di Secchi) hanno evidenziato, per il Lago Temo, delle divergenze tra lo stato trofico e l'indice, probabilmente legate alle diverse condizioni che si sono verificate nel lago durante le diverse fasi di maturità. Infatti, è verosimile che i primi due cicli d'indagine svolti solo pochi anni dopo il primo invaso del lago (1988-89 e 1997), abbiano risentito dell'innalzamento trofico attribuito al normale effetto di mineralizzazione dei materiali provenienti dai territori sommersi. In corrispondenza, i valori del MedPTI sono ricaduti, rispettivamente, all'interno della classe "moderate-poor" e "bad-poor". Sulla base delle minori concentrazioni di fosforo totale e di clorofilla *a* osservate nel 2006, al lago è stata attribuita, rispettivamente, una condizione di eutrofia, ma nettamente inferiore rispetto agli anni passati, e di mesotrofia, a cui ha corrisposto un valore del MedPTI che rivelava un leggero miglioramento della qualità ambientale rispetto alla precedente valutazione, rientrando di nuovo nella classe "moderate-poor". Diverse cause possono essere responsabili della diminuzione delle concentrazioni di fosforo totale e di clorofilla *a* oltre che la progressiva maturazione del lago, sia naturali (es., variabilità climatica) che antropogeniche (gestione del lago ed attività nel bacino imbrifero). In questo caso, l'indice ha classificato correttamente il lago sulla base della sua composizione in specie, sottolineando il vantaggio di un indice basato sulla composizione delle specie capace di stimare meglio la qualità ecologica dei corpi idrici che siano soggetti a forti variazioni ambientali da un anno all'altro. Le valutazioni ottenute con il MedPTI hanno in ogni caso evidenziato uno stato di qualità ambientale fortemente compromesso e comunque inferiore alla condizione "good", che secondo la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE necessariamente si sarebbe dovuto raggiungere entro il 2015, termine successivamente procrastinato alle nuove scadenze del 2021 e 2027;

- le serie temporali del Lago Temo sono state anche utilizzate per un confronto trans-ecodominio di ecosistemi acquatici della Sardegna, d'acqua dolce, marini e di transizione. L'obiettivo era quello di verificare la presenza di tendenze significative, di identificare i più importanti fattori dei cambiamenti osservati e di individuare gli eventuali segnali comuni per distinguere l'azione di fattori globali, come quelli legati al clima, da quella di fattori locali, più strettamente legati all'uso antropico dei territori (Pulina *et al.* 2016). I principali risultati hanno mostrato come i fattori principali di cambiamento del fitoplancton fossero identificabili nelle disponibilità nutrizionali. Nello specifico, per il Lago Temo è stata rilevata nel tempo una diminuzione significativa della clorofilla *a* e della taglia cellulare del fitoplancton (3-10 µm) simultaneamente ad un decremento delle concentrazioni dei nutrienti (il P-PO₄ è diminuito significativamente in inverno e primavera; la SiO₄ in estate e autunno; TP in primavera, estate e autunno; TN in estate e autunno). Le densità cellulari del fitoplancton sono risultate in aumento accompagnate da variazioni della composizione in specie e dalla maggiore affermazione di specie con minori dimensioni cellulari. Questo probabilmente ha determinato la riduzione della concentrazione di clorofilla *a*. Le Bacillariophyceae (rappresentate principalmente da *Cyclotella* spp.), le Chlorophyceae (principalmente *Sphaerocystis* sp. e *Coelastrum reticulatum* (P.A. Dang.) Senn) e le Cryptophyceae (principalmente *Plagioselmis lacustris* (Pascher & Ruttner) Javorn) sono aumentate significativamente in estate, autunno e primavera (Fig. 15). Per i Cianobatteri, sebbene non siano state rilevate tendenze pluriennali significative a livello di classe, sono stati riscontrati cambiamenti significativi a livello di ordine: in estate, l'abbondanza delle Chroococcales, con specie principalmente di piccole dimensioni (tra le quali *Cyanocatena* cf. *imperfecta* Cronberg & Weibull Joosten, *Aphanothec* sp. e *Aphanocapsa* sp.), sono significativamente aumentate, mentre le Oscillatoriaceae, principalmente specie con cellule più grandi (come *Pseudanabaena* sp.), sono significativamente diminuite. Di fatto le cause più probabili di questi cambiamenti possono essere diverse e potrebbero essere individuate nella maturazione del Lago Temo nell'arco temporale considerato e nella variazione della pressione antropica nel bacino imbrifero

nello stesso periodo. La raccolta dei dati ecologici, come già riportato nel punto precedente, è infatti iniziata pochi anni dopo il primo riempimento del lago. Le alte concentrazioni di nutrienti rilevate in questo primo periodo quindi potrebbero essere da correlare con la fase di “incremento trofico”, tipica degli invasi giovani. Via via con la “maturazione” del lago le concentrazioni si sarebbero dovute portare su un livello di maggiore equilibrio con gli apporti dal bacino imbrifero. Contemporaneamente, anche la popolazione umana nel bacino imbrifero è diminuita negli ultimi decenni, accentuando probabilmente la riduzione delle concentrazioni legate alla maturazione del lago;

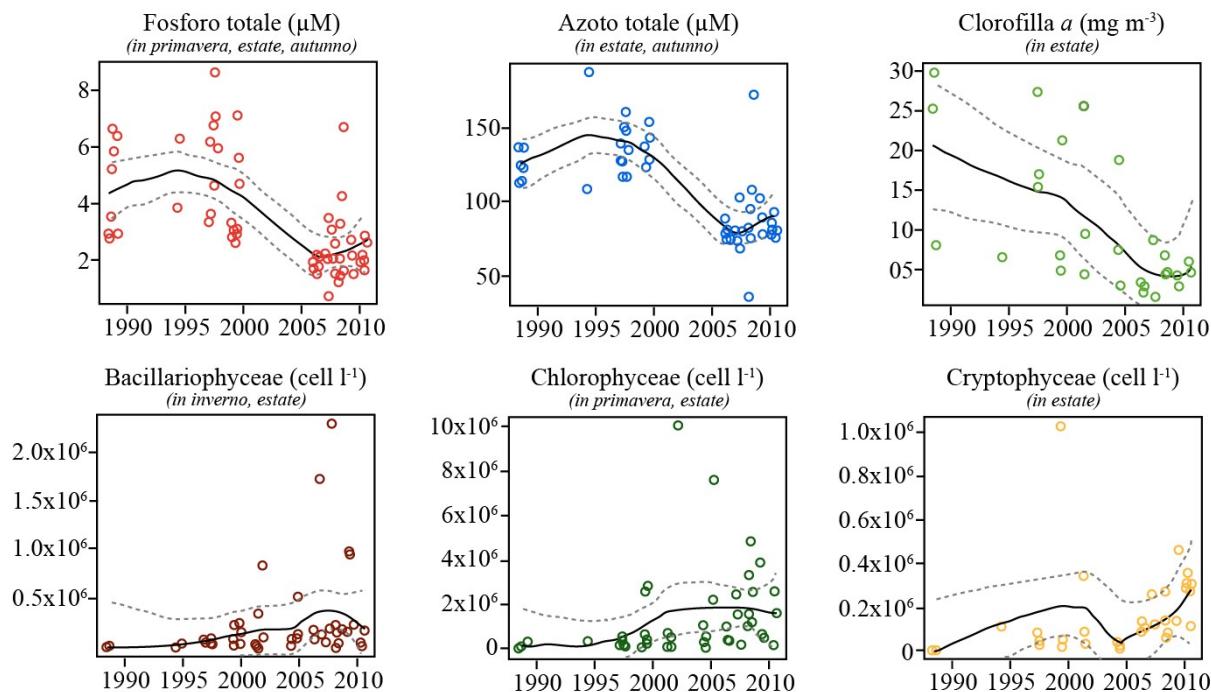


Fig. 15 - Rappresentazione dei principali trend pluriennali significativi e della funzione di smussamento dei dati (LOESS, Local Weighted Scatterplot Smoothing, linea intera) ed intervallo di confidenza del 95% (line tratteggiate) nel Lago Temo

- Messineo *et al.* (2009) hanno segnalato la presenza nei campioni analizzati del lago di cianotossine, microcistine extracellulari e, per la prima volta per i laghi sardi, di cilindrospermopsine. La concentrazione di microcistine è stata particolarmente elevata nel confronto con gli altri dati rilevati, superando ampiamente il limite definito dall'Organizzazione Mondiale della Sanità per le acque potabili, pari a $1 \mu\text{g l}^{-1}$. Nei campioni è stata osservata la presenza predominante tra i Cianobatteri di specie potenzialmente tossiche dei generi *Microcystis* e *Planktothrix*. Nei campioni in cui sono state rilevate le cilindrospermopsine, la composizione dei Cianobatteri è stata dominata da *Aphanizomenon* spp., *Merismopedia* sp., *Microcystis* spp., e *Anabaena* spp. L'osservazione dei corrispondenti campioni di fitoplancton, che fanno parte della collezione custodita all'Università di Sassari, ha permesso recentemente l'identificazione negli stessi della specie *Chrysosporum* (*Anabaena*, *Aphanizomenon*) *ovalisporum* (Forti) E.Zapomelová, O.Skácelová, P.Pumann, R.Kopp & E.Janecek (= *Anabaena ovalisporum* Forti e *Aphanizomenon ovalisporum* Forti), una specie considerata aliena ed invasiva nei corpi d'acqua dell'area tropicale e di quella temperata, capace di produrre cilindrospermopsine (Lazzaro *et al.* 2018).

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di numerosi progetti di ricerca tra cui i più importanti:

2003-2004: progetto PARSE “Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti” “U.O. 7 – Valutazione dell’efficacia dei sistemi di potabilizzazione nella rimozione delle cellule di Cianobatteri”, finanziato nell’ambito dei programmi di ricerca nazionale 2002 della Commissione Nazionale per la ricerca sanitaria. Convenzione con l’Istituto Superiore di Sanità N. 3AN/F1.

2005-2009: convenzione “Supervisione scientifica delle attività gestionali nel sistema di monitoraggio automatico della qualità dell’acqua e delle condizioni ambientali di 10 laghi artificiali della Sardegna e per l’attività di gestione della rete di monitoraggio delle acque dei laghi Cedrino, Cuga, Mannu di Pattada, Bidighinzu, Temo e Sos Canales”, su incarico dell’Ente Autonomo del Flumendosa (EAF).

2010-2013: convenzione “Contratto per l'affidamento di supervisione scientifica sulle attività gestionali del sistema di monitoraggio automatico della qualità delle acque in alcuni laghi artificiali della Sardegna, progetto boe (lotto funzionale I e II)”, su incarico dell’Ente Acque della Sardegna (ENAS).

2010-2013: progetto europeo EnvEurope: “Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring” per il focus sugli ecosistemi lacustri della Sardegna, progetto del programma Life+ Politica e governance ambientali 2008. (Contract No: LIFE08 ENV/IT/000339).

2010-2013: INHABIT – LIFE08 ENV/IT/000413 (Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes), CNR-ISE.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Abstract

Lake Temo (IT10-006-A) is located in north-western Sardinia. The construction of the dam began in 1971 and ended in 1984. The reservoir lies at 226 m a.s.l. and has an area of 4.81 km^2 , a mean depth of 15.8 m and a maximum capacity of $91 \times 10^6 \text{ m}^3$. Its catchment extends for 142 km^2 . Lake Temo has been classified as eutrophic.

Sitografia

<http://www.enas.sardegna.it>
<http://laea.altervista.org>

Bibliografia citata nel testo

Riviste ISI

- Aktan Y., Lugliè A., Sechi N. (2009). Morphological Plasticity of Dominant Species in Response to Nutrients Dynamics in Bidighinzu Reservoir of Sardinia, Italy. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9: 137-144.
- Fadda A., Palmas F., Camin F., Ziller L., Padedda B.M., Lugliè A., Manca M., Sabatini A. (2016). Analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic signatures to shed light on the hydrological cycle's influence on the trophic behavior of fish in a Mediterranean reservoir. *Biologia – Section Zoology*, 71/12: 1395-1403.
- Fadda A., Manca M., Camin F., Ziller L., Buscarino P., Mariani M.A., Padedda B.M., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2016a). Study on the suspended particulate matter of a Mediterranean artificial lake (Sos Canales Lake) using Stable Isotope Analysis of carbon and nitrogen. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 52: 401-412.
- Fadda A., Rawcliffe R., Padedda B.M., Lugliè A., Sechi N., Camin F., Ziller L., Manca M. (2014). Spatiotemporal dynamics of C and N isotopic signature of zooplankton: a seasonal study on a man-made lake in the Mediterranean region. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 50 (4): 279-287.
- Fadda A., Markova S., Kotlik P., Lugliè A., Padedda B.M., Buscarinu P., Sechi N., Manca M. (2011). First record of planktonic crustaceans in Sardinian reservoirs. *Biologia*, 66 (5): 856-865.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Riccardi E., Bruno M., Pigozzi S., Mariani M.A., Satta C.T., Stacca D., Bazzoni A.M., Caddeo T., Farina P., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Milandri A. (2017). Paralytic Shellfish Toxins and Cyanotoxins in the Mediterranean: New Data from Sardinia and Sicily (Italy). *Microorganisms*, 5 (4): 72.
- Lugliè A., Aktan Y., Casiddu P., Sechi N. (2001). The trophic status of Bidighinzu Reservoir (Sardinia) before and after the diversion of waste waters. *Journal of Limnology*, 60 (2): 135-142.
- Marchetto A., Padedda B.M., Mariani M.A., Lugliè A., Sechi N. (2009). A numerical index for evaluating phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep Mediterranean reservoirs. *Journal of Limnology*, 68 (1): 106-121.
- Mariani M.A., Padedda B.M., Kašťovský J., Buscarinu P., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2015a). Effects of trophic status on microcystin production and the dominance of cyanobacteria in the phytoplankton assemblage of Mediterranean reservoirs. *Scientific Reports*, 5: 1-16.
- Mariani M.A., Lai G.G., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2015b). Long-term ecological studies on phytoplankton in Mediterranean reservoirs: a case study from Sardinia (Italy). *Inland Waters*, 5 (4): 339-354.
- Messineo V., Bogiali S., Melchiorre S., Sechi N., Lugliè A., Casiddu P., Mariani M.A., Padedda B.M., Di Corcia A., Mazza R., Carloni E., Bruno M. (2009). Cyanotoxins occurrence in Italian freshwaters. *Limnologica*, 39: 95-106.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A.,

-
- Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta, C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of Total Environment*, 627: 373-387.
- Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Virdis T., Buscarinu P., Luglie A. (2017). Consequences of eutrophication in the management of water resources in Mediterranean reservoirs: A case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, 12: 21-35.
- Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Satta C.T., Bazzoni A., Virdis T., Buscarinu P., Lugliè A. (2015). A fast-response methodological approach to assessing and managing nutrient loads in eutrophic Mediterranean reservoirs. *Ecological Engineering*, 85: 47-55.
- Pulina S., Suikkanen S., Satta C.T., Mariani M.A., Padedda B.M., Virdis T., Caddeo T., Sechi N., Lugliè A. (2014). Multiannual phytoplankton trends in relation to environmental changes across aquatic domains: a case study from Sardinia (Mediterranean Sea). *Plant Biosystems*, 150 (4): 660-670.
- Pulina S., Lugliè A., Mariani M.A., Sarria M., Sechi N., Padedda B.M. (2019). Multiannual decrement of nutrient concentrations and phytoplankton cell size in a Mediterranean reservoir. *Nature Conservation*, 34: 163-191.
- Sechi N., Lugliè A. (1996). Phytoplankton in Sardinian reservoirs. *Giornale Botanico Italiano* 130 (4-6): 977-994.

Riviste non ISI

- Lugliè A., Manca B., Sechi N. (1994). Limnologia degli invasi Pattada e Monteleone (Nord Sardegna). Atti del 10° Congresso A.I.O.L. – Alassio, 4-6 novembre 1992: 287-294.
- Mameli R., Bazzoni A.M., Casiddu P., Sechi N. (2002). Evoluzione dello stato trofico del Lago Pattada. Atti 15° Congresso A.I.O.L.: 75-85.
- Mariani M.A., Padedda B.M., Lai G.G., Sechi N., Buscarinu P., Virdis T., Lugliè A. (2016). First results of a water aeration experiment on a Mediterranean hypereutrophic reservoir. 33rd Congress of the International Society of Limnology. Torino, 31 July – 05 August, 2016.
- Naselli-Flores L., Lugliè A. (2014). Laghi artificiali dell'Italia meridionale e delle isole maggiori. *Biologia Ambientale*, 28 (2): 1-8.
- Satta C.T., Stacca D., Lai G.G., Mariani M.A., Padedda B.M., Sechi N., Buscarinu P., Lugliè A. (2014). First detection of a bloom forming *Peridiniopsis* species from a Sardinian reservoir (NW Mediterranean Sea). The 16th International Conference on Harmful Algae, Wellington, New Zealand, 27-31 October 2014.
- Sechi N. (1986). Il problema dell'eutrofizzazione dei laghi. La situazione trofica degli invasi della Sardegna. *Bollettino Società Sarda Scienze Naturali*, 25: 49-62.
- Sechi N. (1989). L'eutrofizzazione dei laghi artificiali della Sardegna. Atti del Convegno “La qualità dell'acqua in Sardegna. Il problema dell'eutrofizzazione: cause, conseguenze, rimedi”, Cagliari, 15-16 maggio 1986: 71-82.

Libri o capitoli di libro

- Lazzaro L., Essl F., Lugliè A., Padedda B.M., Pyšek P., Brundu G. (2018). Invasive alien plant impacts on human health and well-being. In Mazza G, Tricarico E. (eds.), *Invasive Species and Human Health*. CAB International, Boston USA, pp. 16-33.

Lavori divulgativi

- Padedda B.M., Sechi N. (2008). Condizioni del Lago Cedrino e relazioni con il suo bacino versante. *Natura in Sardegna*, 30: 42-49.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Aktan Y., Lugliè A., Sechi N. (2009). Morphological Plasticity of Dominant Species in Response to Nutrients Dynamics in Bidighinzu Reservoir of Sardinia, Italy. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 9: 137-144.
- Fadda A., Palmas F., Camin F., Ziller L., Padedda B.M., Lugliè A., Manca M., Sabatini A. (2016). Analysis of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ isotopic signatures to shed light on the hydrological cycle's influence on the trophic behavior of fish in a Mediterranean reservoir. *Biologia – Section Zoology*, 71/12: 1395-1403.
- Fadda A., Manca M., Camin F., Ziller L., Buscarino P., Mariani M.A., Padedda B.M., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2016a). Study on the suspended particulate matter of a Mediterranean artificial lake (Sos Canales Lake) using Stable Isotope Analysis of carbon and nitrogen. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 52: 401-412.
- Fadda A., Rawcliffe R., Padedda B.M., Lugliè A., Sechi N., Camin F., Ziller L., Manca M. (2014). Spatiotemporal dynamics of C and N isotopic signature of zooplankton: a seasonal study on a man-made lake in the Mediterranean region. *Annales de Limnologie – International Journal of Limnology*, 50 (4): 279-287.
- Fadda A., Markova S., Kotlik P., Lugliè A., Padedda B.M., Buscarinu P., Sechi N., Manca M. (2011). First record of planktonic crustaceans in Sardinian reservoirs. *Biologia*, 66 (5): 856-865.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Riccardi E., Bruno M., Pigazzi S., Mariani M.A., Satta C.T., Stacca D., Bazzoni A.M., Caddeo T., Farina P., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Milandri A. (2017). Paralytic Shellfish Toxins and Cyanotoxins in the Mediterranean: New Data from Sardinia and Sicily (Italy). *Microorganisms*, 5 (4): 72.
- Marchetto A., Padedda B.M., Mariani M.A., Lugliè A., Sechi N. (2009). A numerical index for evaluating phytoplankton response to changes in nutrient levels in deep Mediterranean reservoirs. *Journal of Limnology*, 68 (1): 106-121.
- Mariani M.A., Padedda B.M., Kašťovský J., Buscarinu P., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2015a). Effects of trophic status on microcystin production and the dominance of cyanobacteria in the phytoplankton assemblage of Mediterranean reservoirs. *Scientific Reports*, 5: 1-16.
- Mariani M.A., Lai G.G., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Virdis T., Lugliè A. (2015b). Long-term ecological studies on phytoplankton in Mediterranean reservoirs: a case study from Sardinia (Italy). *Inland Waters*, 5 (4): 339-354.
- Messineo V., Bogialli S., Melchiorre S., Sechi N., Lugliè A., Casiddu P., Mariani M.A., Padedda B.M., Di Corcia A., Mazza R., Carloni E., Bruno M. (2009). Cyanotoxins occurrence in Italian freshwaters. *Limnologica*, 39: 95-106.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of Total Environment*, 627: 373-387.
- Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Sarria M., Satta C.T., Virdis T., Buscarinu P., Luglie A. (2017). Consequences of eutrophication in the management of water resources in

-
- Mediterranean reservoirs: A case study of Lake Cedrino (Sardinia, Italy). *Global Ecology and Conservation*, 12: 21-35.
- Padedda B.M., Sechi N., Lai G.G., Mariani M.A., Pulina S., Satta C.T., Bazzoni A., Virdis T., Buscarinu P., Lugliè A. (2015). A fast-response methodological approach to assessing and managing nutrient loads in eutrophic Mediterranean reservoirs. *Ecological Engineering*, 85: 47-55.
- Pulina S., Suikkanen S., Satta C.T., Mariani M.A., Padedda B.M., Virdis T., Caddeo T., Sechi N., Lugliè A. (2014). Multiannual phytoplankton trends in relation to environmental changes across aquatic domains: a case study from Sardinia (Mediterranean Sea). *Plant Biosystems*, 150 (4): 660-670.
- Pulina S., Lugliè A., Mariani M.A., Sarria M., Sechi N., Padedda B.M. (2019). Multiannual decrement of nutrient concentrations and phytoplankton cell size in a Mediterranean reservoir. *Nature Conservation*, 34: 163-191.

Riviste non ISI

- Naselli-Flores L., Lugliè A. (2014). Laghi artificiali dell'Italia meridionale e delle isole maggiori. *Biologia Ambientale*, 28 (2): 1-8.

Libri o capitoli di libro

- Lazzaro L., Essl F., Lugliè A., Padedda B.M., Pyšek P., Brundu G. (2018). Invasive alien plant impacts on human health and well-being. In Mazza G, Tricarico E. (eds.), *Invasive Species and Human Health*. CAB International, Boston USA, pp. 16-33.

Lavori divulgativi

- Padedda B.M., Sechi N. (2008). Condizioni del Lago Cedrino e relazioni con il suo bacino versante. *Natura in Sardegna*, 30: 42-49.

Autori

Andrea Lami¹, Michela Rogora¹, Simona Musazzi¹, Marina Manca¹, Angela Boggero¹, Gabriele A. Tartari¹, Franco Salerno², Gianni Tartari¹, Licia Guzzella², Paolo Cristofanelli³, Angela Marinoni³, Paolo Bonasoni³, Claudia Giardino⁴, Mariano Bresciani⁴, Alessandro Oggioni⁴, Erica Matta⁴

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), Via del Mulino 19, Brugherio (MB).
- ³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), Via Piero Gobetti 101, Bologna.
- ⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (CNR-IREA), Via Bassini 15, Milano.

DEIMS.ID: <https://deims.org/53c835b3-9ecb-4613-9b96-6b36356e83a8>

Referente Macrosito: Andrea Lami

Siti di ricerca:

Lago Piramide Superiore (LCN9)

Lago Piramide Inferiore (LCN10)

Le attività sui due siti di ricerca sono state svolte in modo coordinato che per le finalità di questo volume si è optato per una trattazione unica della descrizione delle attività svolte, dei risultati ottenuti e delle pubblicazioni.

Tipologia di ecosistema: lacustre

Citare questo capitolo come segue: Lami A., Rogora M., Musazzi S. *et al.* (2021). IT11-A Laghi Piramide, p. 371-398. DOI: 10.5281/zenodo.5584749. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del Macrosito e delle sue finalità

Le aree remote d'alta quota sono strategiche per studiare il sistema terra nella sua globalità, essendo i luoghi dove più intensi ed evidenti sono i legami tra cause ed effetti e dove più chiara è la percezione dei fenomeni. Lo studio dei principali processi che regolano la dinamica di questi ambienti è quindi fondamentale non solo per comprendere i cambiamenti climatici, a cui è soggetto il globo nel suo insieme, ma anche per comprendere l'effetto antropico sugli ecosistemi stessi.

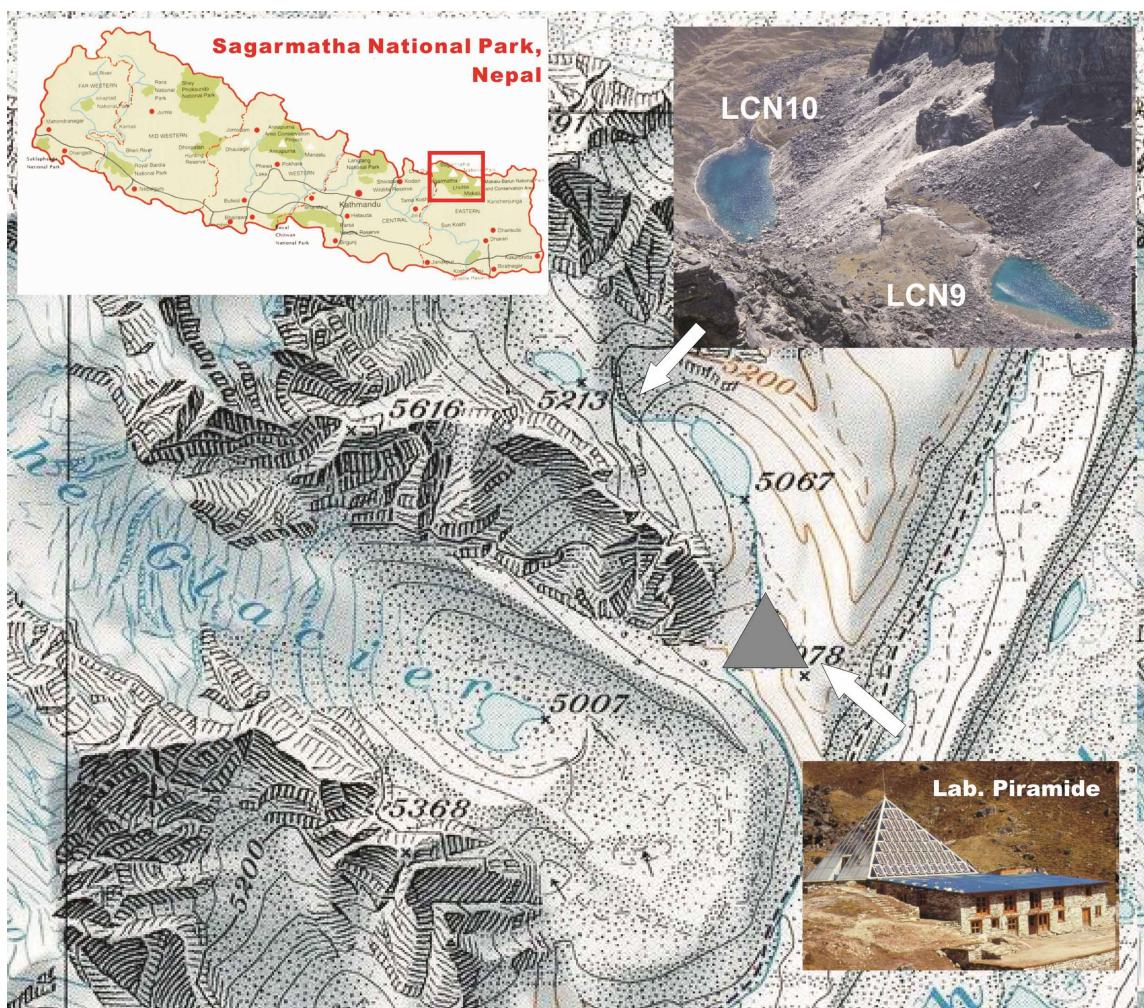


Fig. 1 - Ubicazione del Macrosito, oltre alla mappa del Nepal è evidenziato il Laboratorio Piramide, base di accesso ai due siti (LCN9, LCN10)

Analogamente all'Antartide, il cosiddetto Terzo Polo delimitato a Sud dalla catena Himalayana con la più alta vetta del globo, l'Everest ha assunto un ruolo particolarmente importante nella comunità scientifica per via delle sue interazioni uniche e complesse dei processi atmosferici, criosferici, idrologici, geologici e ambientali che hanno un grande effetto sulla biodiversità, sul clima e sui cicli idrici della Terra (Yao *et al.* 2012).

Le attività di ricerca qui svolte si inseriscono in una strategia riconosciuta come prioritaria dal CNR fin dal 1985, quando ha avuto la responsabilità scientifica ed ha partecipato direttamente alle ricerche del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide, che per il 2004-2006 ha individuato tra i settori di interesse strategico i cambiamenti globali, i processi climatici e la biodiversità ed adattamento evolutivo. Dagli inizi degli anni novanta, quando il Progetto Ev-K2-CNR installò la prima stazione meteorologica con rilevazione in continuo dei dati a cadenza bioraria presso il Laboratorio-Osservatorio

Internazionale Piramide in Nepal (Bollasina *et al.* 2002), sono in corso attività di ricerca multidisciplinari che includono lo studio delle caratteristiche meteo-climatiche dell'Himalaya, il monitoraggio dei ghiacciai e indagini limnologiche. Le attività svolte, che si caratterizzano a distanza di molti anni per la grande regolarità delle misure oltre a far parte della rete LTER Italy, sono state inserite a partire dal 2002 nel Progetto CEOP (Coordinated Enhanced Observing Period, Global Energy & Water Cycle Experiment, World Climate Research Programme) della World Meteorological Organization (WMO).

Il macrosito si trova all'interno del Parco Nazionale del Sagarmatha (SNP), in Nepal (Fig. 1). Il Parco, istituito il 19 luglio 1976, comprende la parte superiore dei bacini idrografici del Dudh Khosi and Imja Khola; e nel 1979 è stato inserito dall'UNESCO tra i patrimoni dell'umanità. Sagarmatha è il termine sanscrito per "madre dell'universo", ed è l'attuale nome nepalese del monte Everest. Il Parco racchiude un'area di 1148 km² che si distribuisce in altitudine dai 2845 metri di Jorsalle agli 8848 della cima dell'Everest. Le aree al di sopra dei 5000 m rappresentano il 69% del Parco. Tutto il territorio è caratterizzato da un forte gradiente altitudinale che delinea all'interno del Parco tre zone climatiche differenti: una zona a foresta, una zona con clima alpino, la cui parte più alta ospita le ultime forme di vegetazione arborea, ed infine la zona artica dove non si trovano alberi ma solo praterie di alta quota.

La possibilità di avere il Laboratorio Osservatorio Piramide localizzato a 5000 m s.l.m. come base operativa ha permesso di ampliare le osservazioni non ai solo due laghi (Piramide Inferiore e Superiore; Fig. 2) ma anche di svolgere indagini scientifiche su di un'area di studio più vasta (Lami & Giussani 1998).



Fig. 2 - Lago Piramide Inferiore: fasi di campionamento nel periodo delle acque libere da ghiaccio (autunno) o con presenza di ghiaccio (primavera). Foto Archivio CNR-IRSA Verbania

Abstract

The two lakes are located in the Khumbu Valley, Sagarmatha National Park (SNP), Nepal. SNP is situated in the Solu-Khumbu district, in the north-eastern region of Nepal and represents the Northernmost part of the Dudh Koshi River Basin, which is part of the Koshi River Basin (or SaptaKoshi Basin), one of the seven major hydrographic basins into which Nepal is subdivided. The

SNP covers an area of 1148 km² and is surrounded on all sides by the highest mountain ranges on Earth. The terrain is extremely irregular, with altitudes that reach 8848 m. The lower topographic limit of permanent snow cover is located at an altitude of 5500-5600 m. The climate of the SNP is driven by the Asian monsoon. The lake bedrock is mainly Late Tertiary Granites, with a primarily quartz-silicate composition and a low weathering rate. Soils are absent or very thin in most of the catchments. Vegetation cover is restricted to small areas of alpine meadow. The lake surface area for Piramide Superiore and Inferiore is 0.006 and 0.017 km², respectively. The two lakes lie well above 5000 m a.s.l., the tree line limit. The lake is ice-covered for ca. 9-10 months every year (from October-November to June-July). Chlorophyll a concentrations are below 1 µg l⁻¹ and are probably controlled by strong grazing pressure from a large pigmented (keto-carotenoid or astaxanthin type) zooplankton community. Total phosphorus concentrations (mean values) are about 2 µg P l⁻¹, whereas total nitrate concentrations are about 120 µg N l⁻¹. Concentrations of particulate organic carbon (POC) and dissolved organic carbon (DOC) are very low. Paleolimnological studies covering the last ca. 3500 yrs B.P confirmed the high sensitivity to climatic forcing of this environment with oscillation that mimic warm and cold period and the recent warming.

Paleolimnological results are in agreement with the evidence of long-term monitor data on lake chemistry strong variability in lake chemistry, which in turn drives the variability in lake production and the composition of algal assemblages.

Lago Piramide Superiore

Autori

Andrea Lami¹, Michela Rogora¹, Simona Musazzi¹, Marina Manca¹, Angela Boggero¹, Gabriele A. Tartari¹, Franco Salerno², Gianni Tartari¹, Licia Guzzella², Paolo Cristofanelli³, Angela Marinoni³, Paolo Bonasoni³

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).

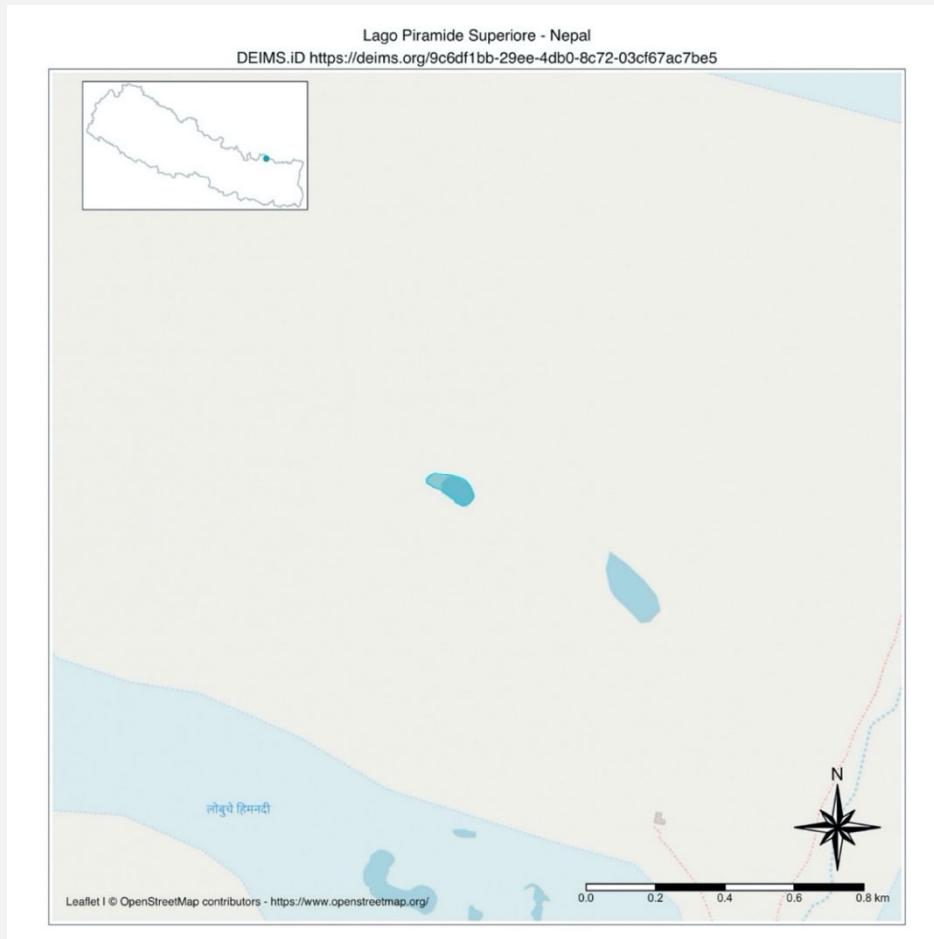
² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), Via del Mulino 19, Brugherio (MB).

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), Via Piero Gobetti 101, Bologna.

Sigla: IT11-001-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/53c835b3-9ecb-4613-9b96-6b36356e83a8>

Referente Macrosito: Andrea Lami



Lago Piramide Inferiore

Autori

Andrea Lami¹, Michela Rogora¹, Simona Musazzi¹, Marina Manca¹, Angela Boggero¹, Gabriele A. Tartari¹, Franco Salerno², Gianni Tartari¹, Licia Guzzella², Paolo Cristofanelli³, Angela Marinoni³, Paolo Bonasoni³

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).

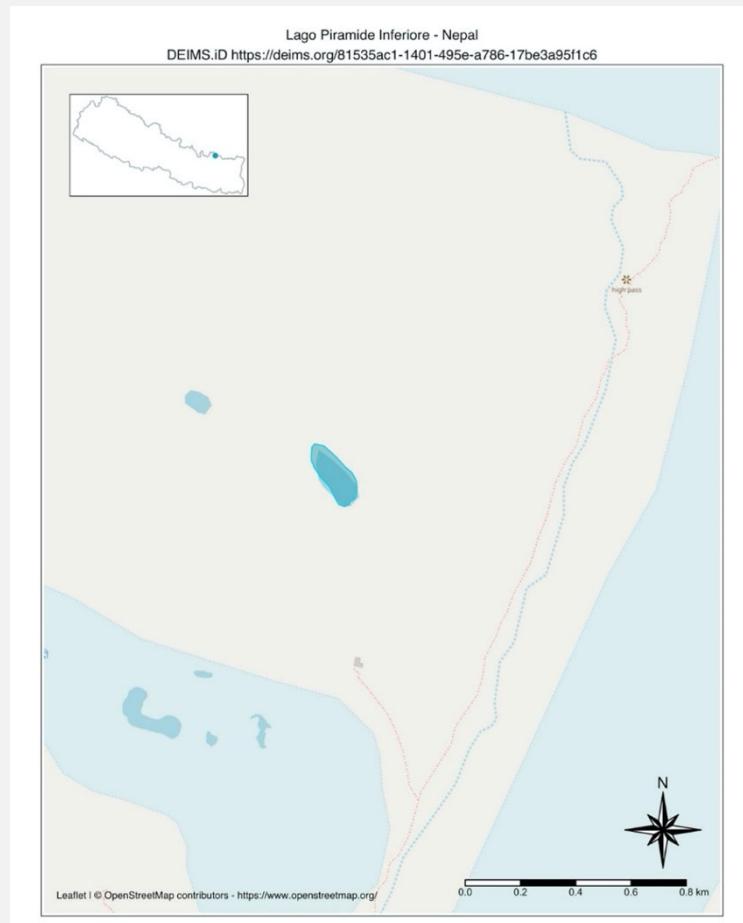
² Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (CNR-IRSA), Via del Mulino 19, Brugherio (MB).

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), Via Piero Gobetti 101, Bologna.

Sigla: IT11-002-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/53c835b3-9ecb-4613-9b96-6b36356e83a8>

Referente Macrosito: Andrea Lami



Descrizione dei due siti e delle loro finalità



Lago Piramide Superiore (LCN 09)

Lon; 86° 48' 40"; Lat 27° 57' 54"

Caratteristiche morfometriche ed idrologiche

Altitudine del lago	m	5213
Altitudine massima nel bacino	m	5980
Area del bacino, compreso il lago (a)	km ²	0.795
Superficie del lago (b)	m ²	5.7 10 ³
Rapporto (a / b)		140
Lunghezza della linea di costa	m	292
Lunghezza del lago	m	112
Larghezza del lago	m	67
Profondità massima	m	8.2

Lago Piramide Inferiore (LCN 10)

Lon 86° 48' 56"; Lat 27° 57' 45"

Caratteristiche morfometriche ed idrologiche

Altitudine del lago	m	5067
Altitudine massima nel bacino	m	5980
Area del bacino, compreso il lago (a)	km ²	1.167
Superficie del lago (b)	m ²	16.7 103
Rapporto (a / b)		70
Lunghezza della linea di costa	m	569
Lunghezza del lago	m	246
Larghezza del lago	m	91
Profondità massima	m	14.2

Nelle due foto sono riportati i laghi (Piramide Superiore e Inferiore) fra loro connessi in cascata, mentre nella tabella si riassumono le principali caratteristiche morfometriche e idrologiche del sito "Laghi Piramide". I laghi, che si trovano al di sopra del limite della vegetazione arborea (4000 m s.l.m.), sono coperti da una coltre di ghiaccio per circa 10 mesi all'anno (da ottobre/novembre a giugno/luglio) e sono alimentati da un piccolo ghiacciaio presente nel bacino. La composizione litologica prevalente del bacino idrografico è costituita da rocce quarzo-silicee del Tardo Terziario con un basso tasso di erosione; di conseguenza i suoli sono assenti o molto ridotti. La copertura vegetale è limitata ad aree ristrette di prato-pascolo alpino circondate da roccia nuda e sfasciumi. Nel bacino non è presente alcuna forma di antropizzazione o di sfruttamento del territorio.

Uno degli ostacoli maggiori alla comprensione delle variazioni degli ecosistemi naturali è solitamente data da tre fattori: la brevità temporale del periodo di studio (la maggior parte della letteratura scientifica si basa su ricerche di 1-2 anni), la limitata rappresentatività spaziale e la scarsa integrazione interdisciplinare dei risultati. Negli oltre due decenni di indagini limnologiche condotte fino ad oggi, un importante sforzo è stato posto a ridurre al minimo gli ostacoli prima citati, integrando le ricerche con altre discipline (climatologia, idromorfologia, glaciologia, ecc.) e individuando i due laghi situati nei pressi del Laboratorio-Osservatorio "Piramide" come siti di riferimento in cui svolgere quell'attività di osservazione a lungo termine, che oggi ci permette di avere a disposizione una serie di dati chimici e biologici che coprono un intervallo di circa 30 anni.

In quest'area, infatti, le informazioni limnologiche sui laghi erano praticamente assenti, se si escludono i lavori pionieristici di Löffler (1969) e sono state svolte in collaborazione fra le sedi di Verbania e Brugherio dell'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR). Le attività di ricerca hanno riguardato il campo dell'idrochimica, della biologia e dello studio dei sedimenti.

Risultati

I principali risultati di questa ricerca possono così essere schematizzati:

- lo studio delle caratteristiche limnologiche di diversi corpi idrici di alta quota del SNP ha consentito di definire le loro caratteristiche chimiche e biologiche, nonché l'interazione tra le biocenosi e l'ambiente (Lami & Giussani 1998) e di approfondire le conoscenze tassonomiche anche utilizzando nuove tecniche come l'analisi genetica (vedi sotto).
- La possibilità di ripetere le analisi chimiche e biologiche sulle acque di alcuni laghi per quasi due decenni ha consentito di misurare la variabilità temporale di questi ecosistemi. L'andamento osservato (Fig. 3) è stato interpretato come una risposta a modifiche nei processi di dilavamento del bacino collegati al ritiro dei ghiacciai e riduzione dell'intensità del monsone (Salerno *et al.* 2016), fenomeni che hanno determinato un aumento dei processi di ossidazione delle rocce.
- A partire dal 2002, inoltre, è stato avviato il monitoraggio ad alta frequenza della temperatura dell'acqua a diverse profondità (Lago Piramide Inferiore), per seguire le dinamiche della termica lacustre in relazione alla formazione della copertura ghiacciata e al disgelo.

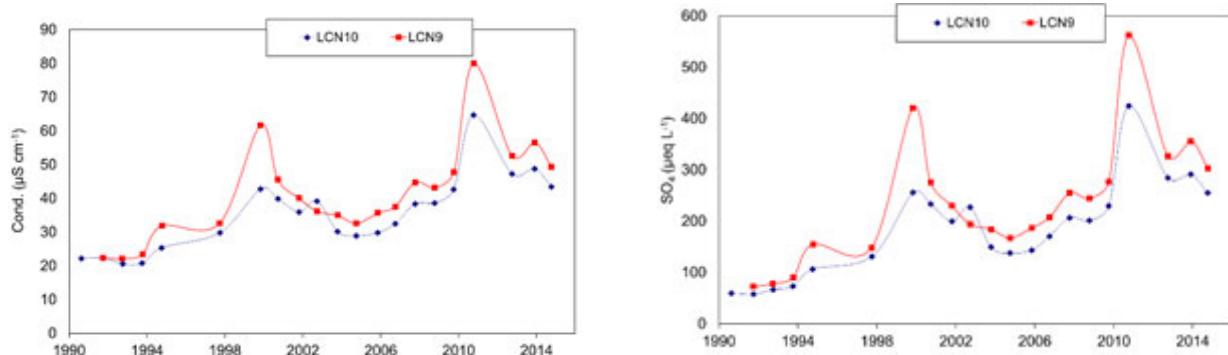


Fig. 3 - Variazioni a lungo termine della chimica dei laghi da Salerno *et al.* 2016

Sulla peculiarità degli organismi presenti negli ambienti campionati riferì, come sopra evidenziato, (Löffler 1969) segnalando la presenza anche di specie endemiche (ad es. *Daphnia tibetana* (Sars 1908)). La revisione dei caratteri diagnostici di quest'ultima in campioni raccolti, oltre nei due laghi della Piramide, anche in alcuni laghi presenti nell'area di studio ha portato ad identificare una nuova specie, *Daphnia himalaya* (Fig. 4) per la cui descrizione è stata fondamentale la presenza nei campioni di individui maschi, mai fino ad allora rinvenuti. La descrizione morfologica di *Daphnia fusca* ha suggerito che fosse questa la specie rinvenuta nei laghi da noi analizzati. Tuttavia, uno studio recente su ambienti acquatici del Plateau Tibetano basato su analisi molecolari (Lei Xu *et al.* 2018) ha evidenziato come “La morfologia di *D. cf. himalaya* nella nostra collezione è simile alle specie di *Daphnia* scure e pigmentate descritte da Manca, Martin, Peñalva-Arana e Benzie (2006) e denominate *Daphnia himalaya* dalla regione del Khumbu in Nepal. Tuttavia, l'assenza di maschi nei nostri campioni suggerisce che sono necessarie ulteriori indagini”. La ricchezza di maschi nei campioni raccolti nel corso delle campagne condotte sui laghi del Khumbu è dunque elemento che potrà, nel futuro, portare a nuove importanti scoperte.

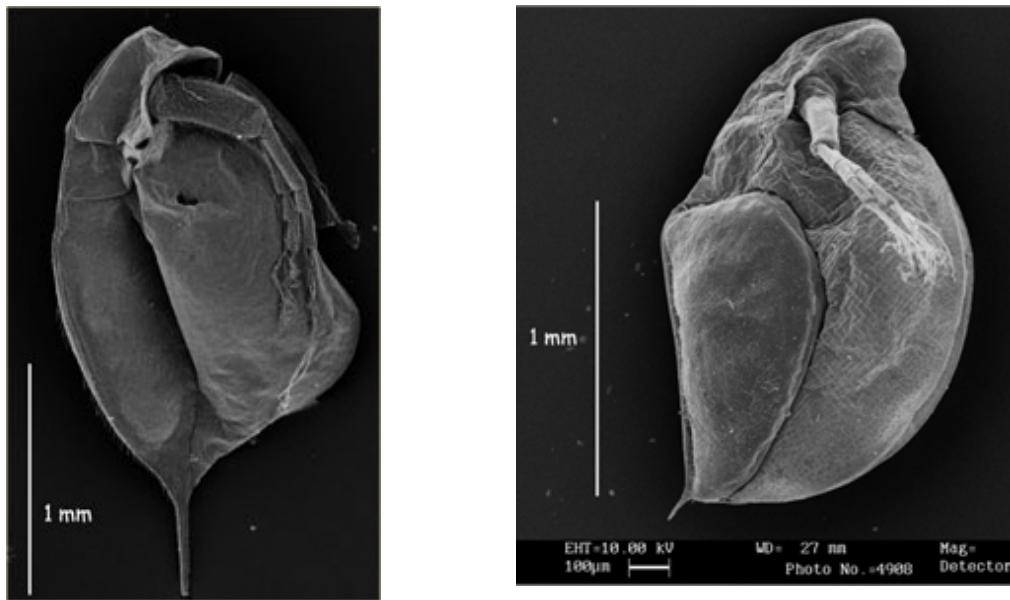


Fig. 4 - Fotografia al microscopio elettronico a scansione di femmine efippiate di *Daphnia himalaya* (emend. *fusca*) e *Daphnia dentifera* (foto Dr. Carolina Peñalva Arana)

Quanto alla *Daphnia* del gruppo *longispina* (non melanica e priva di spina caudale allo stadio adulto), rinvenuta in alcuni degli ambienti da noi studiati e per la quale, in attesa di una ridecisione, era stata mantenuta la denominazione originaria di *D. longispina* (var. *aspina* Weretschagin 1911), analisi molecolari hanno consentito di stabilire l'appartenenza alla specie *D. dentifera* (Möst *et al.* 2013) (Fig. 4).

Le analisi microscopiche dei campioni (Fig. 5) hanno anche portato, negli anni, all'individuazione di altre entità tassonomiche di grande interesse, sia rinvenute in campagne precedenti (e.g. *Arctodiaptomus jurisonwitchi*, descritto da Löffler nel 1968, *Hexarthra bulgarica* var. *nepalensis* riportata in Dumont & Van De Velde 1977), sia da noi rinvenute (e.g. Tecamoebe; Manca *et al.* 1998), Anostraci (Manca & Mura 1997).



Fig. 5 - Fotografia al microscopio ottico da sinistra a destra di: uovo duraturo, uovo schiuso, neonata del rotifero *Hexarthra bulgarica* var. *nepalensis* provenienti dai primi 2 cm di sedimento della carota LCN70 94/1 prelevata dal Lago 70 (foto Archivio CNR-IRSA, Verbania)

Ciò conferma l'importanza degli ambienti acquatici studiati dal punto di vista faunistico e come riserva di biodiversità. In questo contesto, si è anche valutata la capacità di adattamento e sopravvivenza degli invertebrati acquatici presenti in questi laghi di alta montagna che sono in grado di modificare il loro ciclo di vita, ad esempio producendo stadi di riposo, per superare i periodi sfavorevoli (bassa / alta temperatura, la stagione della siccità e della competizione). La produzione di stadi di resistenza (diapausa) e una schiusa asincrona nei diversi anni permette la formazione di una “banca delle uova”, analogamente alla banca dei semi, può essere considerata come un meccanismo con il quale i diversi taxa mantengono le loro riserve genetiche. La valutazione del potenziale genetico rappresentato da

questo serbatoio, comunemente conosciuto come “Eggs bank”, potrebbe essere un punto chiave per la valutazione dei rischi potenziali al mantenimento della biodiversità in questi ambienti ed è stato oggetto di un progetto di ricerca finanziato dal CNR (DG.RSTL.094.012 “Evoluzione della biodiversità e valutazione della banca degli stadi duraturi di organismi acquatici di laghi remoti”).

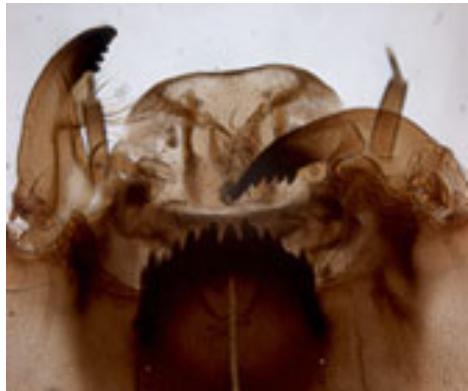


Fig. 6 - Tra i chironomidi *Pseudodiamesa* è uno dei generi più diffusi in questi laghi ed è presente con due specie, di cui una è probabilmente *P. nepalensis* (foto Prof. G. Rossaro, Univ. Milano)

riflette in una forte riduzione di taxa nel Lago Piramide Superiore (LCN 09). Questi laghi sono quindi luoghi ideali su cui condurre ricerche di lungo termine per evidenziare gli effetti dei cambiamenti climatici.

Nella parte superiore (A) di Fig. 8 si riporta una mappa della concentrazione dei solidi sospesi (SPM) nella Valle del Imja Kola. In blu-scuro sono rappresentati i laghi con concertazioni di SPM < 3 g m⁻³; in azzurro i laghi con valori di SPM fra 3 e 16 g m⁻³, in grigio-chiaro laghi con valori di SPM >16 g m⁻³. Nel pannello inferiore (B) si riporta un ingrandimento dell'area sopra dove si trova il lago Imja. I colori rappresentano la distribuzione spaziale all'interno del lago delle concentrazioni di SPM. I valori di concentrazione aumentano passano dal blu al rosso.

In collaborazione con colleghi del CNR-IREA di Milano sono state svolte campagne di misura a terra e confronto con immagini satellitari con l'obbiettivo di misurare la distribuzione dei principali pigmenti algali per la determinazione indiretta del biovolume del fitoplancton e del contenuto del particolato sospeso (SPM) sia organico (CDOM) che inorganico (NAP) al fine di sviluppare un algoritmo che, utilizzando le immagini satellitari, consentisse di identificare e quantificare i solidi sospesi presenti nelle acque in modo estensivo e ricorrente (Fig. 8).

In tre occasioni dal 1993 al 2002 sono state condotte ricerche per verificare l'evoluzione della composizione specifica e della densità dei macroinvertebrati con particolare riferimento a Ditteri Chironomidi (Fig. 6) ed Oligocheti. A quote superiori ai 5000 m di altitudine la diversità tende a semplificarsi, riducendosi quasi del tutto ai soli Ditteri Chironomidi e a poche altre forme capaci di resistere a forti sbalzi giornalieri di temperatura, esposizione alle radiazioni solari, vento, durata del manto nevoso, natura delle sostanze disciolte in acqua, accidentali variazioni meteo-climatiche (Fig. 7).

I risultati ottenuti sino ad oggi, distribuiti su un lungo arco di tempo, non ci permettono di fornire risposte sicure, ma due sembrano essere i fattori che maggiormente influenzano la comunità bentonica: le fluttuazioni di livello dell'acqua, legate alla variabilità meteorologica, ed il gradiente altitudinale che si

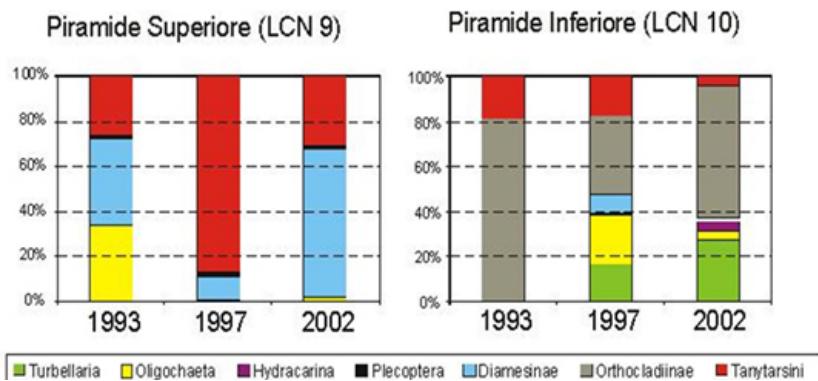


Fig. 7 - Distribuzione dei principali taxa di macroinvertebrati identificati nei due laghi della Piramide

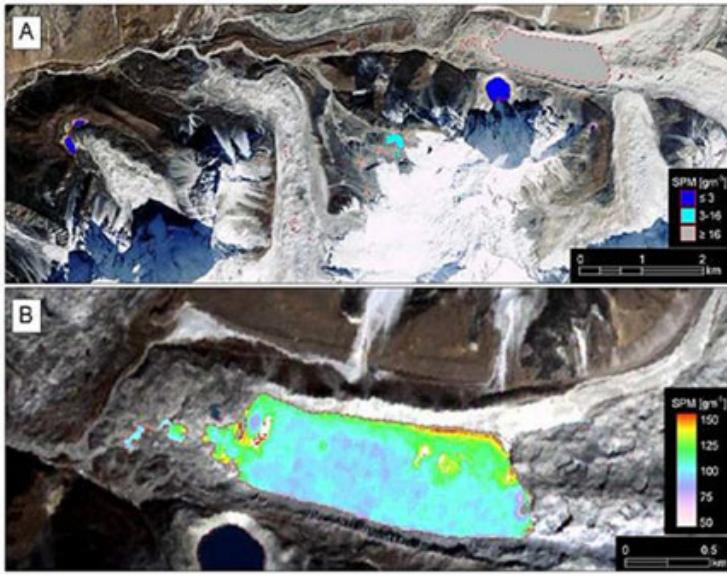


Fig. 8 - Nella parte superiore (A) si riporta una mappa della concentrazione dei solidi sospesi (SPM) nella Valle del Imja Kola. In blu-scuro sono rappresentati i laghi con concentrazioni di SPM < 3 g m⁻³; in azzurro i laghi con valori di SPM fra 3 e 16 g m⁻³, in grigio-chiaro laghi con valori di SPM >16 g m⁻³. Nel pannello inferiore (B) si riporta un ingrandimento dell'area sopra dove si trova il lago Imja. I colori rappresentano la distribuzione spaziale all'interno del lago delle concentrazioni di SPM. I valori di concentrazione aumentano passano dal blu al rosso

Sono anche state condotte indagini (Salerno *et al.* 2012) che tramite le analisi satellitari prese in un arco temporale di circa 50 anni, che hanno permesso di descrivere l'evoluzione della distribuzione dei laghi nell'area del SNP e variazioni idromorfologiche connesse con le

alterazioni del clima in quell'arco temporale (Fig. 9).

Al fine di caratterizzare la presenza di composti legati alle attività umane sono state condotte campagne di campionamento sui sedimenti nel 2007 e 2008 sui laghi LCN 9 e 10 che hanno evidenziato nei sedimenti più recenti la presenza di un metabolita del p,p' DDT il p,p'-DDE, persistente e stabile tanto è vero che è soggetto al trasporto a lunga distanza in aree remote (Guzzella *et al.* 2011). Nella campagna del 2008 sono stati investigati altri 6 laghi nelle valli di Imja, Thame e Gokyo con analisi che, oltre al DDT, hanno compreso i composti PCBs, PBDE e IPA (Guzzella *et al.* 2016). La distribuzione di questi composti normalizzate sul valore di carbonio organico sono riportate in Fig. 10. Soltanto i metaboliti p,p'-DDD e p,p'-DDE risultano presenti, ma in concentrazioni simili ai valori di fondo delle aree non contaminate Guzzella *et al.* (2011). Le concentrazioni dei PCBs caratterizzate da un valore medio $20,2 \pm 26,3$ ng g⁻¹ O.C. sono simili a quelle pubblicate in altri studi nel mondo in aree considerate "pristine" cioè non soggette all'impatto diretto da attività antropiche in aree remote e di alta quota (Zhang *et al.* 2014; Usenko *et al.* 2007; Guzzella *et al.* 2011).

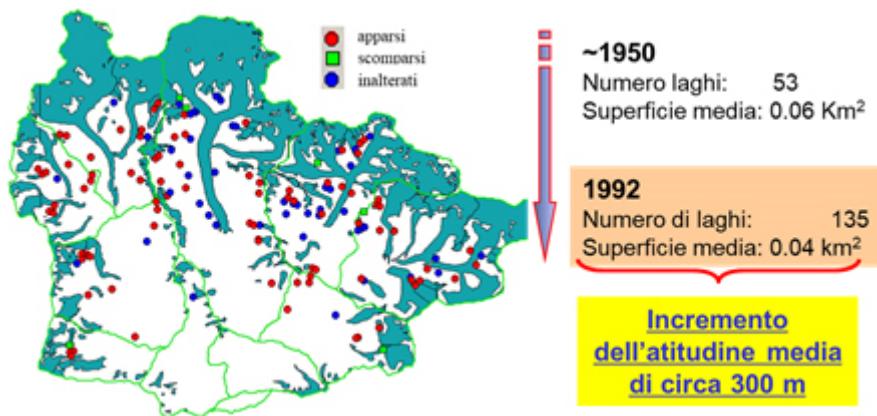


Fig. 9 - Variazione della popolazione dei laghi in 40 anni: 1950 – '90 nell'area del Parco Nazionale del Sagarmatha (da Salerno *et al.* 2012)

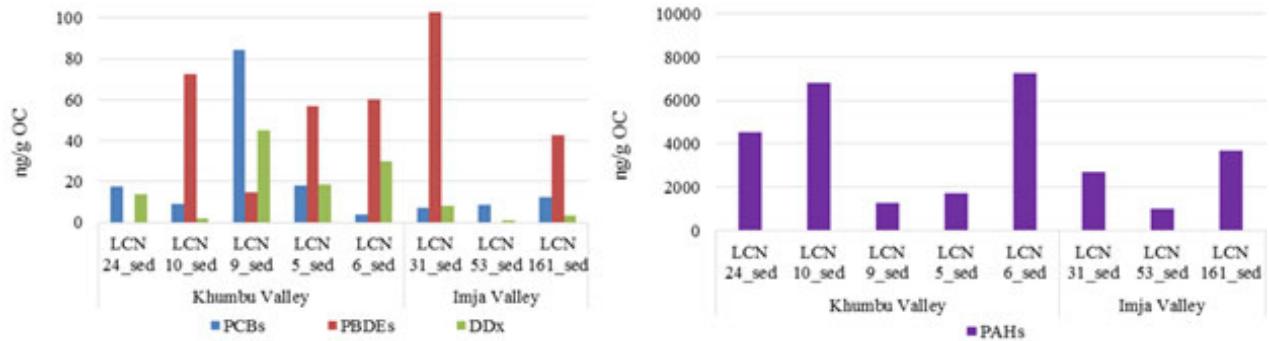


Fig. 10 - Concentrazioni di DDX, PCBs, PBDEs (a sinistra) e di IPA (a destra) normalizzate sul carbonio organico in sedimenti lacustri campionati nel 2008 nel SNP, Nepal

Come è noto i PCB più leggeri con da 3 a 5 atomi di cloro sono i più mobili e tendono ad essere trasportati con le masse d'aria dalle zone contaminate a quelle remote, mentre i PCB a più elevato contenuto di cloro (da 6 a 10) tendono ad essere trasportati per adsorbimento sulle particelle atmosferiche e quindi a depositarsi nelle aree più vicine alle fonti di contaminazione (Li *et al.* 2012). A conferma di tale teoria nota come LRAT (Long Range Atmospheric Transport) il profilo dei PCB nei sedimenti dei laghi del SNP rivela una dominanza di PCB leggeri a basso contenuto di cloro (il 73% del totale). La presenza dei PCB nei sedimenti dei laghi del SNP potrebbe essere correlata, oltre che al trasporto di inquinanti attraverso il processo LRAT, anche alla fusione dei ghiacciai dovuto al riscaldamento globale: questo processo fa sì che si liberino gli inquinanti depositati in periodi in cui le emissioni in atmosfera erano più elevate, promuovendo la mobilizzazione di una contaminazione pregressa esistente (Fig. 11). La maggiore contaminazione infatti è stata osservata nel lago LCN 9 che è un lago di primo ordine, alimentato direttamente da un ghiacciaio rispetto al lago LCN 10 (sito a valle del lago LCN 9), in cui la concentrazione di PCB è circa dieci volte inferiore.

Considerando la contaminazione da PBDE, ritardanti di fiamma organobromurati, questi risultano presenti un po' in tutti i laghi di quest'area con concentrazioni mediamente pari a $41 \pm 31,5$ e $49 \pm 51,7$ ng g⁻¹ O.C. nelle valli di Khumbu and Imja rispettivamente. I congeneri maggiormente presenti sono risultati: il BDE-209 (95% del totale) e il BDE-99, in accordo con i dati pregressi pubblicati (Guzzella *et al.* 2011) e in accordo con la composizione della miscela commerciale nota come Deca-BDE (~97% di

BDE-209), suggerendo un possibile uso locale di materiale plastico di varia natura.

La concentrazione da IPA nei sedimenti dei laghi considerati (Fig. 10) è dieci volte superiore rispetto a quella degli altri POPs considerati; la media raggiunge valori di IPA di 4323 ± 2796 ng/g O.C. per i laghi della valle del Khumbu e 2464 ± 1343 ng g⁻¹ OC per la valle Imja. La distribuzione dei vari IPA evidenzia una prevalente presenza degli IPA più leggeri a 2, 3 e 4 anelli (93% del totale), mentre quelli più pesanti a 5-6 anelli idrocarburici rappresentano solo il 7% del totale. Le elaborazioni statistiche (Fig.

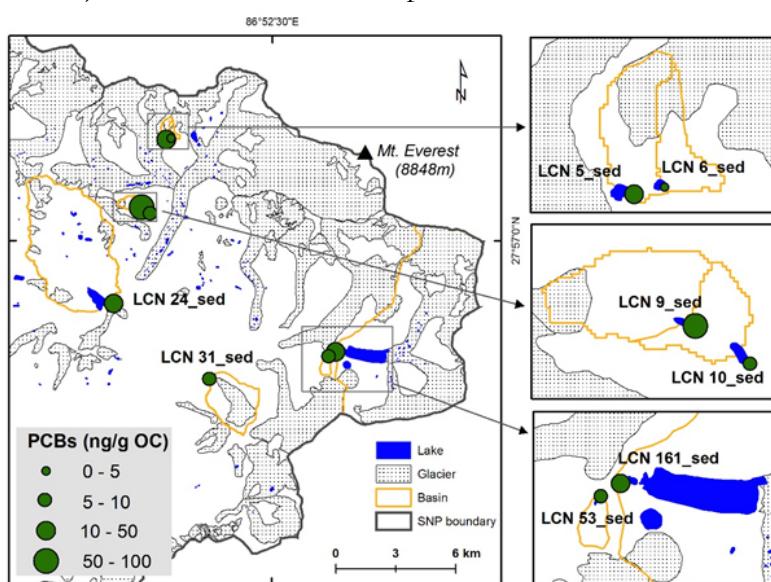


Fig. 11 - Distribuzione dei PCB normalizzati rispetto al carbonio organico (OC) in sedimenti lacustri campionati nel 2008 nel SNP, Nepal

12) sulla distribuzione degli IPA nei sedimenti evidenziano come non vi sono relazioni tra concentrazioni di IPA e la quota dei laghi, ma si distinguono due gruppi: i laghi LCN 6 e LCN 10 evidenziano una abbondanza di IPA-LMW a 2, 3 e 4 anelli, quindi di origine atmosferica, mentre il lago LCN 24 per quelli IPA-HMW (a 5 e 6 anelli) con probabile origine da fonti locali legate alla combustione di legna o gasolio.

Analizzando la storia di quest'area su una prospettiva temporale più ampia, lo studio condotto sul Lago Piramide Inferiore (LCN 10) ha messo in luce diverse fasi di cambiamento nei parametri geochimici (sostanza organica, acqua) e biologici (diatomee, produttività primaria) durante gli ultimi 3500 anni, che possono essere messe in relazione (allo stesso modo dei laghi artici) con la durata di copertura del ghiaccio e quindi indirettamente con la temperatura e le variazioni globali del clima (Lami *et al.* 2007 e 2010). In particolare si può affermare che da 3500 fino a circa 2500 anni fa (450 AC), il lago ha attraversato l'ultima fase di un lungo periodo glaciale. A questa fase è seguito un periodo di generale elevata produttività, durato circa 800 anni, coincidente con la fase di riscaldamento climatico noto come Caldo Romano, e terminato all'inizio del primo millennio AD. Il periodo noto come Caldo Medievale, nella regione Himalayana non è risultato così evidente come in Europa, ma caratterizzato da repentine oscillazioni indicative di fasi di raffreddamento climatico, coincidenti con periodi in cui nel sud est asiatico si sono verificate eruzioni vulcaniche di entità catastrofica. Per contro, la fine della Little Ice Age (1700-1800 AD) è evidenziata da una corrispettiva fase di raffreddamento anche in questa regione del Nepal, in accordo con quanto rilevato negli studi di glaciologia (Fig. 12). Infine nel XX secolo, si è osservato, nel Lago Piramide Inferiore, un rapido ritorno a condizioni di elevata produttività, ad indicare un miglioramento delle condizioni climatiche dovuto a una nuova fase di riscaldamento che risulta essere superiore, anche se non di molto, a quelle riscontrate negli ultimi 3500 anni.

A partire dal 2006, le attività si sono ampliate con l'avvio di programmi osservativi, per caratterizzare in modo continuativo la composizione dell'atmosfera ben presto inseriti a livello internazionale in ambito GAW (Global Atmosphere Watch) WMO (World Meteorological Organization) e UNEP-ABC. Il Nepal Climate Observatory Pyramid (NCO-P) è divenuta così una "Stazione Globale GAW-WMO" che ha eseguito dal 2006 al 2015 a 5079 m di quota, misure di variabili climatiche (parametri meteorologici, radiazione solare e composti climalteranti), comprese quelle relative ai cosiddetti SLCFs – Short Lived Climate Forcers.

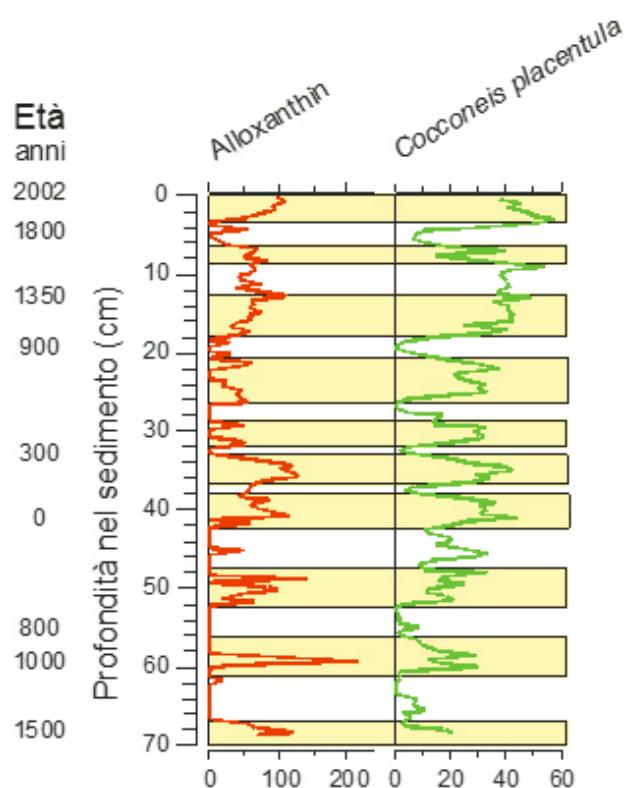


Fig. 12 - Ricostruzione basata sui resti, rinvenuti in una carota di sedimento prelevata nel Lago Piramide inferiore, di una diatomea (*Cocconeis placentula*) e di un carotenoide specifico di alghe planctoniche (*alloxantina*) nel corso delle diverse fasi climatiche degli ultimi 3500 anni. Le aree colorate corrispondono a periodi relativamente più caldi

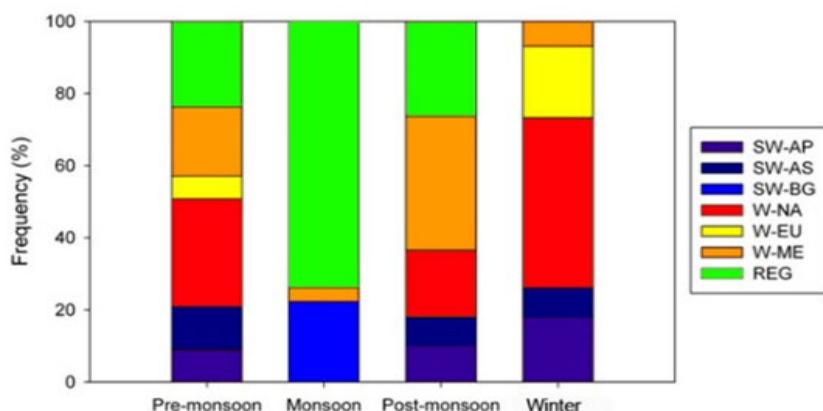


Fig. 13 - Distribuzione stagionale delle frequenze dell'origine delle masse d'aria che raggiungono il sito di alta quota NCOP: SW-AP (South Westerly-Arabian Peninsula), SW-AS (South Westerly-Arabian Sea), SW-BG (South Westerly-Bengal Gulf), W-NA (Westerly-North Africa), W-EU (Westerly-Europe), W-ME (Westerly-Middle East), REG (Regional)

con un forte vento di valle diurno e una brezza notturna di montagna. È stato osservato che le condizioni atmosferiche incontaminate dell'Himalaya possono essere influenzate, in determinati periodi, dal trasporto di masse d'aria inquinate provenienti dall'Asia meridionale e dalla Pianura Indo-Gangetica (Fig. 13). Le emissioni derivanti dalla combustione di combustibili fossili, dalla combustione di biomassa, dalla cottura di biocombustibili e dal riscaldamento, favoriscono la formazione durante la stagione secca della Atmospheric Brown Cloud (ABC), che si estende dall'Oceano Indiano fino alla dorsale himalayana. La possibilità che l'ABC venga trasportata verso l'Himalaya è stata studiata grazie a questi anni di osservazioni confermando il ruolo fondamentale svolto dalla circolazione a mesoscala in regime di brezza di valle.

L'estensione dell'ABC ai piedi dell'Himalaya è stata identificata da valori elevati di AOD ($> 0,4$) associati alle alte concentrazioni di inquinanti misurate a NCO-P nei giorni caratterizzati dalla presenza di brezza di valle (Gobi *et al.* 2010). Il trasporto diretto dell'ABC che influenza la composizione atmosferica a NCO-P si è verificata nell'87% dei casi nella stagione premonsonica, il 9% durante l'inverno e il 4% nel post-monsone. Il pre-monsone è la stagione più frequentemente influenzata da forti episodi di trasporto di masse d'aria inquinate dell'ABC. In queste giornate, durante il pomeriggio, si verifica un forte aumento di black carbon (+ 522%), PM1 (+ 502%) e coefficiente di scattering (+ 385%) rispetto ai valori stagionali. In queste condizioni sono stati registrati un aumento significativo delle particelle grossolane (+ 38%) e delle concentrazioni di ozono (+ 13%). Gli alti valori misurati a NCO-P hanno confermato che quando l'ABC si estende fino alle colline pedemontane, le valli Himalayane possono rappresentare un canale efficiente che favorisce il trasporto degli inquinanti alle alte quote. In particolare, grazie anche ad una collaborazione con l'Istituto Cinese di ricerca è stato accuratamente analizzato un intenso episodio di trasporto di massa d'aria inquinata registrato durante un prolungato periodo di interruzione del monsone estivo, avvertito anche sul Plateau Tibetano.

Le misure condotte hanno inoltre permesso di identificare a simili quote, per la prima volta in modo sistematico, la frequenza di eventi di nucleazione di particolato atmosferico in Himalaya. Grazie all'applicazione di un'opportuna metodologia di selezione è stata effettuato un primo studio sistematico relativo alle intrusioni stratosferiche in Himalaya che ha permesso di mettere in luce il loro impatto sulla concentrazione media di O₃ (+27.1%) ed il loro legame con la Quasi-Biennial Oscillation (QBO) ed El-Niño-Southern Oscillation (ENSO). È stato infine creato ed implementato un opportuno algoritmo di clustering che, applicato alle back-trajectory tridimensionali calcolate dall'ETHZ di Zurigo, ha permesso di definire la climatologia del trasporto a scala sinottica (Fig. 14).

Le attività svolte a NCO-P e l'elevato livello di tecnologia impiegato hanno permesso di garantire la continuità e la tracciabilità della qualità delle osservazioni per dieci anni. Le osservazioni acquisite, inerenti le proprietà fisico-chimiche dell'aerosol e le concentrazioni dei gas in traccia, hanno permesso di ottenere importanti risultati scientifici.

L'area himalayana di alta quota oggetto di studio è soggetta alla circolazione monsonica asiatica ma anche al sistema locale di brezze,



Fig. 14 - L'Atmospheric Brown Cloud sul versante meridionale dell'Himalaya (sensore MODIS sul satellite Terra NASA, 21 gennaio 2007) e posizione NCO-P

Attività di divulgazione e formazione

Il principale partner delle ricerche condotte nel Macrosito è certamente la Nepal Academy of Science and Technology (NAST), con la quale esiste un protocollo di intesa per la gestione del laboratorio Piramide che ha permesso di realizzare attività di scambio con l'ospitalità di giovani ricercatori nepalesi presso istituti e centri di ricerca Italiani, finalizzate a realizzare attività formazione e di trasferimento tecnologico nel campo degli studi ambientali. Inoltre, sono stati stipulati accordi di collaborazione con organismi governativi come il Wildlife Conservation (DNPWC), Hydrological and Meteorological Department (DHM), il Sagarmatha National Park, il Comitato di gestione della “Buffer Zone” del Parco Sagarmatha.

Nel 2012 è stato realizzato un concorso per bambini della scuola primaria e secondaria nella Valle del Khumbu, in occasione della giornata internazionale per l'ambiente. Le migliori realizzazioni artistiche sono state premiate da una giuria.

Prospettive future

Le aree di alta montagna sono regioni particolarmente sensibili dal punto di vista ambientale e importanti per il monitoraggio dello stato di salute della Terra. In questo contesto, la catena dell'Himalaya e quella del Karakorum rappresentano anche la zona di confine tra i Paesi della Terra più densamente popolati e in fase di sviluppo. Risulta pertanto fondamentale implementare lo studio ed il monitoraggio ambientale, climatico e geofisico nell'area Himalayana per la quale i dati meteo-climatici, e paleo-climatici oggi disponibili sono ancora scarsi. Questi dati sono necessari per integrare e validare i modelli di circolazione atmosferica sia su scala globale, oggi riguardanti solo i continenti Americano ed Europeo, sia di dettaglio, che tengano cioè conto dell'effetto amplificatorio delle montagne sulla dinamica di precipitazioni e temperatura. Purtroppo ad oggi tutte le attività di monitoraggio presso questo sito sono sospese, ci si augura che queste possano riprendere al più presto.

Ringraziamenti

Un ringraziamento speciale deve essere fatto a tutto il personale e allo staff tecnico di Ev-K2-CNR e del Laboratorio Piramide senza il cui fondamentale contributo e supporto alla logistica e le attività in campo queste ricerche non avrebbero potuto essere svolte.

Sitografia

<http://www.evk2cnr.org/cms/en/research/>

Bibliografia citata nel testo

- Bollasina M., Bertolani L. & Tartari G. (2002). Meteorological observations at high altitude in the Khumbu Valley, Nepal, Himalayas, 1994-1999. *Bulletin of Glaciological Research*, 19: 1-11.
- Gobbi G.P., Angelini F., Bonasoni P., Verza G.P., Marinoni A. & Barnanba F. (2010). Sunphotometry of the 2006-2007 aerosol optical/radiative properties at the Himalayan Nepal Climate Observatory – Pyramid (5079 m asl). In: Special Issue “Atmospheric brown cloud in the Himalayas”. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 10: 1193-1220.
- Guzzella L., Salerno F., Freppaz M., Roscioli C., Pisanello F., Poma G. (2016). POP and PAH contamination in the southern slopes of Mt. Everest (Himalaya, Nepal): Long-range atmospheric transport, glacier shrinkage, or local impact of tourism? *Science of the Total Environment*, 544: 382-390
- Guzzella L., Poma G., De Paolis A., Roscioli C., Viviano G. (2011). Organic persistent toxic substances in soils, waters and sediments along an altitudinal gradient at Mt. Sagarmatha, Himalayas. *Nepal. Environmental Pollution* 159. 2552-2564.
- Lami A., Giussani G. (1998). Limnology of high altitude lakes in the Mt Everest Region (Himalayas, Nepal), *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia*, 58, pp. 244.
- Lami A., Musazzi S., Manca M., Marchetto A., Guilizzoni P. & Guzzella L. (2007). Indagini paleolimnologiche in laghi himalayani: ricostruzioni del clima del passato ed effetti delle variazioni climatiche sulle biocenosi. In: *Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR*, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Roma, 2007. ISBN: 978-88-8080-075-0, pp. 605-609.
- Lami A., Turner S., Musazzi S., Gerli S., Guilizzoni P., Rose N.L., Yang H., Wu G. & Yang R. (2010). Sedimentary evidence for recent increases in production in Tibetan plateau lakes. *Hydrobiologia*, 648: 175-187.
- Xu L., Lin Q., Xu S., Gu Y., Hou J., Liu Y., Dumont H.J., Han B.-P. (2018). Daphnia diversity on the Tibetan Plateau measured by DNA taxonomy. *Ecology and evolution*, DOI: 10.1002/ece3.4071.
- Li Y.M., Geng D.W., Hu Y.B., Wang P., Zhang Q.H., Jiang G.B. (2012). Levels and distribution of polychlorinated biphenyls in the atmosphere close to Chinese Great Wall Station, Antarctica: Results from XAD-resin passive air sampling 2012. *Chinese Science Bulletin* 57: 1499-1503.
- Löffler H. (1969). High Altitude Lakes in Mt Everest Region. *Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie*, 17: 373-385.
- Manca M. & Mura M. (1997). On *Branchinecta orientalis* Sars (Anostraca) in the Himalayas, *Hydrobiologia* 356: 111-116.
- Manca M., Ruggiu D., Panzani P., Asioli A., Mura G. and Nocentini A.M. (1998). Report on a collection of aquatic organisms from high mountain lakes in the Khumbu Valley (Nepalese Himalayas). In: Lami A. & Giussani G. (Guest Editors). *Limnology of high altitude lakes in the Mt Everest Region (Nepal)*. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* 57: 77-98.
- Manca M., Ruggiu D., Panzani P., Asioli A., Mura G. and Nocentini A.M. (1998). Report on a collection of aquatic organisms from high mountain lakes in the Khumbu Valley (Nepalese Himalayas). In: Lami A. & Giussani G. (Guest Editors). *Limnology of high altitude lakes in the Mt Everest Region (Nepal)*. *Memorie dell'Istituto italiano di Idrobiologia* 57: 77-98.
- Manca M., Martin P., Peñalva-arana D.C., Benzie J.A.H. (2006). “Re-description of *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) from lakes in the Khumbu Region, Nepalese Himalayas, with the erection of a new species, *Daphnia himalaya*, and a note on an intersex individual”. *Journal of Limnology* 65: 132-140.

-
- Manca M., Martin P., Peñalva-arana D.C., Benzie J.A.H. (2006). "Re-description of *Daphnia* (*Ctenodaphnia*) from lakes in the Khumbu Region, Nepalese Himalayas, with the erection of a new species, *Daphnia himalaya*, and a note on an intersex individual". *Journal of Limnology* 65: 132-140.
- Möst M., Petrussek A., Sommaruga R., Juráčka P.J., Slusarczyk M., Manca M., Spaak P. (2013). At the edge and on the top: molecular identification and ecology of *Daphnia dentifera* and *D. longispina* in high-altitude Asian lakes. *Hydrobiologia* 715: 51-62.
- Putero D., Landi T.C., Cristofanelli P., Marinoni A., Laj P., Duchi R., Calzolari F., Verza G.P. & Bonasoni P. (2013). Influence of open vegetation fires on black carbon and ozone variability in the southern Himalayas (NCO-P, 5079 m a.s.l.). *Environmental Pollution* 184: 597-604.
- Salerno F., Thakuri S., D'Agata C., Smiraglia C., Manfredi E.C., Viviano G. and Tartari G. (2012). Glacial lake distribution in the Mount Everest region: Uncertainty of measurement and conditions of formation. *Global and Planetary Change* 93: 30-39.
- Salerno F., Rogora M., Balestrini R., Lami A., Tartari G.A., Thakuri S., Godone D., Freppaz M. and Tartari G. (2016). Glacier Melting Increases the Solute Concentrations of Himalayan Glacial Lakes. *Environ. Sci. Technol.* 50, 9150-9160.
- Usenko S., Landers D.H., Appleby P.G., Simonich S.L. (2007). Current and historical deposition of PBDEs, pesticides, PCBs, and PAHs to rocky mountain national park. *Environmental Science and Technology* 41: 7235-7241.
- Yao T., Thompson L.G., Mosbrugger V., Zhang F., Ma Y., Luo T., Xu B., Yang X., Joswiak D.R., Wang W., Joswiak M.E., Devkota L.P., Tayal S., Jiliani R. & Fayziev R. (2012). Third Pole Environment (TPE) Environmental Development 3: 52-64.
- Zhang P., Ge L., Gao H., Yao T., Fang X., Zhou C., Na G. (2014). Distribution and transfer pattern of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) among the selected environmental media of Ny-Ålesund, the Arctic: As a case study. *Marine Pollution Bulletin* 89: 267-275.

Bibliografia del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Abeli T., Rossi G., Gentili R., Mondoni A. & Cristofanelli P. (2012). Response of Alpine plant flower production to temperature and snow cover fluctuation at the species range boundary. *Plant Ecology*, 2013(1): 1-13.
- Asmi A., Wiedensohler A., Laj P., Fjaeraa A.-M., Sellegrí K., Birmili W., Weingartner E., Baltensperger U., Zdimal V., Zikova N., Putaud J.-P., Marinoni A., Tunved P., Hansson H.-C., Fiebig M., Kivekäs N., Lihavainen H., Asmi E., Ulevicius V., Aalto P.P., Swietlicki E., Kristensson A., Mihalopoulos N., Kalivitis N., Kalapov I., Kiss G., de Leeuw G., Henzing B., Harrison R.M., Beddows D., O'Dowd C., Jennings S.G., Flentje H., Weinhold K., Meinhardt F., Ries L. & Kulmala M. (2011). Number size distributions and seasonality of submicron particles in Europe 2008-2009. *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 5505-5538, 2011.
- Baietto M., Masin S., Vaghi S. & Padoa Schioppa E. (2007). Observation of Red-Billed Chough (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) removing from Himalayan Tahr (*Hemitragus jemlahicus*). *Research Journal of Biological Sciences*, 2(1): 89-90.
- Balerna, A., Bernieri E., Chiti M., Denni U., Esposito A., Frani A. & Tullio V. (2003). In situ measurements of cesium-137 gamma-ray emission at very high altitudes using a fully portable detector. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, 512: 631-636.
- Balerna, A., Bernieri E., Pecci M., Polesello S., Smiraglia C. & Valsecchi S. (2003). Chemical and radiochemical composition of freshsnow samples from Northern slopes of Himalayas (Cho Oyu range, Tibet). *Atmospheric Environment*, 37: 1573-1581.

-
- Belle S., Musazzi S. & Lami A. (2018). Glacier dynamics influenced carbon flows through lake food webs: evidence from a chironomid $\delta^{13}\text{C}$ -based reconstruction in the Nepalese Himalayas. *Hydrobiologia* 1-11.
- Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Profumo A., Loppi S. & Gallorini M. (2004). Determination of baseline element composition of lichens using samples from high elevations. *Chemosphere*, 55: 933-939.
- Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Giordani L., Profumo A. & Gallorini M. (2005). INAA for the determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in lichens of high altitude areas. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 263(3): 721-724.
- Bertolani L., Bollasina M. & Tartari G. (2000). Recent biennial variability of meteorological features in the Eastern Highland Himalayas. *Geophysical Research Letters*, 27: 2185-2188.
- Boesi R., Polidori C., Gayubo S.F., Tormos J., Asís J.D. & Andrietti F. (2007). Nesting biology, morphological remarks, and description of the mature larva of *Mellinus arvensis obscurus* (hymenoptera: crabronidae) in Nepal. *Florida Entomologist*, 90(1): 184-190.
- Boggero A., Bo T., Zaupa S. & Fenoglio S. (2014). Feeding on the roof of the world: the first gut content analysis of very high altitude Plecoptera. *Entomologica Fennica*, 25: 220-224.
- Bollasina M. & Benedict S. (2004). The Role of the Himalayas and the Tibetan Plateau Within the Asian Monsoon System. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(7): 1001-1004.
- Bollasina M., Bertolani L. & Tartari G. (1999). Recent Interannual Variability of local Climate in Eastern Highland Himalayas. *UCLA Tropical Meteorology Newsletter*, No. 31.
- Bollasina M., Bertolani L. & Tartari G. (2002). Meteorological observations at high altitude in the Khumbu Valley, Nepal Himalayas, 1994-1999. *Bulletin of Glaciological Research*, 19: 1-11.
- Bonasoni P., Cristofanelli P., Marinoni A., Vuillermoz E. & Adhikary B. In press. Atmospheric Pollution in the Hindu Kush-Himalaya Region: Evidence and Implications for the Regional Climate. *Mountain Research and Development*, 32 (4).
- Bonasoni P., Laj P., Marinoni A., Sprenger M., Angelini F., Arduini J., Bonafè U., Calzolari F., Colombo T., Decesari S., Di Biagio C., di Sarra A.G., Evangelisti F., Duchi R., Facchini M.C., Fuzzi S., Gobbi G.P., Maione M., Panday A., Roccato F., Sellegrini K., Venzac H., Verza G.P., Villani P., Vuillermoz E. & Cristofanelli P. (2010). Atmospheric Brown Clouds in the Himalayas: first two years of continuous observations at the Nepal-Climate Observatory at Pyramid (5079 m). In: Special Issue "Atmospheric Brown Clouds in the Himalayas" *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10:7515-7531.
- Bonasoni P., Laj P., Angelini F., Arduini J., Bonafè U., Calzolari F., Cristofanelli P., Decesari S., Facchini M.C., Fuzzi S., Gobbi G.P., Maione M., Marinoni A., Petzold A., Roccato F., Roger J.C., Sellegrini K., Sprenger M., Venzac H., Verza G.P., Villani P. & Vuillermoz E. (2008). The ABC-Pyramid Atmospheric Research Observatory in Himalaya for continuous aerosol and ozone and halocarbon measurements. *Science of the Total Environment*, 391(2-3): 252-261.
- Bracci A., Cristofanelli P., Sprenger M., Bonafè U., Calzolai F., Duchi R., Laj P., Marinoni A., Roccato F., Vuillermoz E. & Bonasoni P. (2012). Transport of Stratospheric Air Masses to the Nepal Climate Observatory-Pyramid (Himalaya; 5079 m asl): A Synoptic-Scale Investigation, *J. App. Meteorol. Climatol.*, 51, 1489-1507.
- Brunner D., Henne S., Keller C.A., Reimann S., Vollmer M.K., O'Doherty S. & Maione M. (2011). An extended Kalman-filter for regional scale inverse emission estimation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 29195-29249, DOI: 10.5194/acpd-11-29195-2011.
- Bucci S., Cagnazzo C., Cairo F., Di Liberto L. & Fierli F. (2013). Aerosol variability and atmospheric transport in the Himalayan region from CALIOP 2007-2010 observations, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 13, 15271-15299.

-
- Byers A. (2005). Contemporary Human Impacts on Alpine Ecosystems in the Sagarmatha (Mt. Everest) National Park, Khumbu, Nepal. *Annals of the Association of American Geographers*, 95(1): 112-140.
- Decesari, S., Facchini M.C., Carbone C., Giulianelli L., Rinaldi M., Finessi E., Fuzzi S., Marinoni A., Cristofanelli P., Duchi R., Bonasoni P., Vuillermoz E., Cozic J., Jaffrezo J.L. & Laj P. (2010). Chemical Composition of PM10 and PM1 at the high altitude Himalayan station Nepal Climate Observatory-Pyramid. In: Special Issue “Atmospheric brown cloud in the Himalayas” *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10, 4583-4596.
- Diodato N., Bellocchi G. & Tartari G. (2011). How do Himalayan areas respond to global warming? *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.2340.
- Duchi R., Cristofanelli P., Marinoni A., Laj P., Marcq S., Villani P., Sellegri K., Angelini F., Calzolari F., Gobbi G.P., Verza G.P., Vuillermoz E., Sapkota A. & Bonasoni P. (2011). Continuous observations of synoptic-scale dust transport at the Nepal Climate Observatory-Pyramid (5079 m a.s.l.) in the Himalayas. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 4229-4261.
- Giaveri G., Bergamaschi L., Rizzio R., Verza G., Zambelli G., Brandone A., Profumo A., Baudo R., Tartari G. & Gallorini M. (2005). INAA at the top of the world: elemental characterization and analysis of airbone particulate matter collected in Himalayas at 5,100 m high. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 263(3): 725-732.
- Giaveri G., Rizzio E. & Gallorini M. (2001). Preconcentration and preseparation procedure for Platinum determination at trace levels by Neutron Activation Analysis. *Analytical Chemistry*, 73: 3488-3491.
- Giostra U., Furlani F., Arduini J., Cava D., Manning A.J., O'Doherty S.J., Reimann S. & Maione M. (2011). The determination of a regional atmospheric background mixing ratio for anthropogenic greenhouse gases: a comparison of two independent methods. *Atmos Environ*, 45 (2011), pp. 7396-7405. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2011.06.076.
- Gobbi G.P., Angelini F., Bonasoni P., Verza G.P., Marinoni A. & Barnanba F. (2010). Sunphotometry of the 2006-2007 aerosol optical/radiative properties at the Himalayan Nepal Climate Observatory – Pyramid (5079 m asl). In: Special Issue “Atmospheric brown cloud in the Himalayas”. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 10: 1193-1220.
- Guzzella L., Salerno F., Freppaz M., Roscioli C., Pisanello F., Poma G. (2016). POP and PAH contamination in the southern slopes of Mt. Everest (Himalaya, Nepal): Long-range atmospheric transport, glacier shrinkage, or local impact of tourism? *Science of the Total Environment*, 544: 382-390.
- Guzzella L., Poma G., De Paolis A., Roscioli C., Viviano G. (2011). Organic persistent toxic substances in soils, waters and sediments along an altitudinal gradient at Mt. Sagarmatha, Himalayas. *Nepal. Environmental Pollution* 159. 2552-2564.
- Hindman E. & Upadhyay B. (2002). Air pollution transport in the Himalayas of Nepal and Tibet during the 1995-1996 dry season. *Atmospheric Environment*, 36: 727-739.
- Laiolo P. (2003). Diversity and structure of the bird community overwintering in the Himalayan subalpine zone: is conservation compatible with tourism? *Biological Conservation*, 115: 251-262.
- Laiolo P., Rolando A., Delestrade A. & De Sanctis A. (2004). Vocalizations and morphology: interpreting the divergence among populations of Chough Pyrrhocorax pyrrhocorax and Alpine Chough P. graculus. *Bird Study*, 51: 248-255.
- Lami A., Marchetto A., Musazzi S., Salerno F., Tartari G., Guilizzoni P., Rogora M. & Tartari G.A. (2010). Chemical and biological response of two small lakes in the Khumbu Valley, Himalayas (Nepal)to short-term variability and climatic change as detected by long-term monitoring and paleolimnological methods. *Hydrobiologia*, 648: 189-205.
- Lau K.-M., Ramanathan V., Wu G.X., Li Z., Tsay S.C., Hsu C., Sikka R., Holben B., Lu D., Tartari G., Chin M., Koudelova P., Chen H., Ma Y., Huang J., Taniguchi K. & Zhang R. (2008). The joint

-
- Aerosol-Monsoon experiment. A New Challenge for Monsoon Climate Research. American Meteorological Society, 1-15.
- Xu L., Lin Q., Xu S., Gu Y., Hou J., Liu Y., Dumont H.J., Han B.-P. (2018). Daphnia diversity on the Tibetan Plateau measured by DNA taxonomy. *Ecology and evolution*, DOI: 10.1002/ece3.4071.
- Lovari S. & Ale S.B. (2001). Are there multiple mating strategies in Blue Sheep? *Behavioural Processes*, 53: 131-135.
- Lovari S., Minder I., Ferretti F., Mucci N., Randi E. & Pellizzi B. (2013). Common and snow leopards share prey, but not habitats: competition avoidance by large predators? *Journal of Zoology*, 291 (2013): 127-135.
- Marcq S., Laj P., Roger J.C., Villani P., Sellegrini K., Bonasoni P., Marinoni A., Cristofanelli P., Verza G.P. & Bergin M. (2010). Aerosol optical properties and radiative forcing in the Himalaya based on measurements at the Nepal Climate Observatory-Pyramid site (5079m a.s.l.). In: Special Issue "Atmospheric brown cloud in the Himalayas" *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 5859-5872.
- Marinoni A., Cristofanelli P., Laj P., Duchi R., Putero D., Calzolari F., Landi T.C., Vuillermoz E., Maione M., Bonasoni P. (2013). High black carbon and ozone concentrations during pollution transport in the Himalayas: Five years of continuous observations at NCO-P global GAW station. *Journal of Environmental Sciences*, 25: 1618-1625.
- Marinoni A., Cristofanelli P., Laj P., Duchi R., Calzolari F., De Cesari S., Sellegrini K., Vuillermoz E., Verza G.P., Villani P. & Bonasoni P. (2010). Aerosol mass and black carbon concentrations, a two year record at NCO-P (5079 m, Southern Himalayas). In: Special Issue "Atmospheric Brown Clouds in the Himalayas" *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10: 8551-8562.
- Marinoni A., Polesello S., Smiraglia C. & Valsecchi S. (2001). Chemical composition of freshsnow samples from the southern slope of Mt. Everest Region. *Atmospheric Environment*, 35: 3183-3190.
- Marinoni A., Polesello S., Valsecchi S., Tartari G., Maggi V. & Smiraglia C. (2001). Composizione chimica della neve e del ghiaccio nella valle del Khumbu (Sagarmatha National Park, Himalaya, Nepal). *Supplemento Geogr. Fis. Dinam. Quat*, V: 103-111.
- Mayer C., Fowler A.C., Lambrecht A. & Scharrer K. (2011). A surge of North Gasherbrum Glacier, Karakoram, China. *Journal of Glaciology*, 57(205), 904-916.
- Ming J., Xiao C., Sun J., Kang S. & Bonasoni P. (2010). Carbonaceous particles in the atmosphere and precipitation of the Nam Co region, central Tibet. *Journal of Environmental Sciences*, 22(11): 1748-1756.
- Mondoni A., Rossi G., Orsenigo S. & Probert R.J. (2012). Climate warming could shift the timing of seed germination in alpine plants. *Annals of Botany*, 110(1):155-64.
- Mondoni A., Probert R.J., Rossi G., Vegini E. & Hay F.R. (2010). Seeds of alpine plants are short-lived: implications for long-term conservation. *Annals of Botany*, 107: 171-179.
- Padoa Schioppa E., Baietto M. (2008). Effects of tourism pressure on herd composition in the Sherpa villages of Sagarmatha National Park (Everest, Nepal). *The International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 15(5): 412-418.
- Palazzi E., Von Hardenberg J. & Provenzale A. (2013). Precipitation in the Hindu-Kush Karakoram Himalaya: Observations and future scenarios. *Journal of Geophysical Research*, 118(1): 85-100.
- Rizzio E., Giaveri G. & Gallorini M. (2000). Some analytical problems encountered for trace elements determination in the airborne particulate matter of urban and rural areas. *Sci. Total Environ.*, 256: 11-22.
- Rizzio E., Bergamaschi L., Profumo A. & Gallorini M. (2001). The use of the Neutron Activation Analysis for particles size fractionation and chemical characterization of Trace Elements in urban air particulate matter. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 248: 21-28.

-
- Rizzio E., Bergamaschi L., Valcuvia M.G., Profumo A., Gallorini M. & Verza G. (2002). Determination of trace elements and evaluation of their Enrichment Factors in Himalayan lichens. *Environmental Pollution*, 120: 137-144.
- Rizzio E., Bergamaschi L., Valcuvia M.G., Profumo A., Gallorini M. (2001). Trace elements determination in lichens and in the airborne particulate matter for the evaluation of the atmospheric pollution in a region of northern Italy. *Environment International*, 26: 543-549.
- Salerno F., Buraschi E., Brucolieri G., Tartari G. & Smiraglia C. (2008). Glacier surface-area changes in Sagarmatha national park, Nepal, in the second half of the 20th century, by comparison of historical maps. *Journal of Glaciology*, 54(187): 738-752.
- Sellegrí K., Laj P., Venzac H., Picard D., Villani P., Bonasoni P., Marinoni A. & Vuillermoz E. (2010). Seasonal variation of aerosol size distribution based on long-term measurements at the high altitude Himalayan site of Nepal Climate Observatory-Pyramid (5079 m), Nepal. In: Special Issue "Atmospheric Brown Clouds in the Himalayas". *Atmospheric Chemistry and Physics Discussion*, 10: 6537-6566.
- Sommaruga R. (2010). Preferential accumulation of carotenoids rather than mycosporine-like amino acids in copepods from high altitude Himalayan lakes. In: Special Issue "Global Change Impacts on Mountain Lakes" *Hydrobiologia*, 648: 143-156. Aryal A., Raubenheimer D., Subedi S. & Kattel B. (2010). Spatial Habitat Overlap and Habitat Reference of Himalaya Musk Deer (*Muskus chrysogaster*) in Sagarmatha (Mt. Everest) National Park. *Current Research Journal of Biology Sciences*, 2 (3): 217-225.
- Sommaruga R. (2010). Preferential accumulation of carotenoids rather than of mycosporine-like amino acids in copepods from high altitude Himalayan lakes. In: Eggermont, H., M. Kernan & K. Martens (eds.). *Global Change Impacts on Mountain Lakes*. *Hydrobiologia*, 648:143-156.
- Tartari G., Salerno F., Buraschi E., Brucolieri G. & Smiraglia C. (2008). Lake surface area variations in the North-Eastern sector of Sagarmatha National Park (Nepal) at the end of the 20th Century by comparison of historical maps. *Journal of Limnology*, 67(2):139-154.
- Tartari G., Salerno F. *et al.* (2008). "Lake surface area variations in the North-Eastern sector of Sagarmatha National Park (Nepal) at the end of the 20th Century by comparison of historical maps". *Journal of Limnology* 67: 139-154.
- Terzago S., von Hardenberg J., Palazzi E. and Provenzale A. (2014). Snowpack Changes in the Hindu Kush-Karakoram-Himalaya from CMIP5 Global Climate Models. *J. Hydrometeor.*, 15, 2293-2313.
- Ueno K., Toyotsu K., Bertolani L. & Tartari G. (2008). Stepwise onset of monsoon weather observed in the Nepal Himalaya. *American Meteorological Society*, 136: 2507-2522.
- Valsecchi S., Smiraglia C., Tartari G. & Polesello S. (1999). Chemical composition of monsoon depositions in the Everest region. *Sci. Total Environ.*, 226: 187-199.
- Venzac H., Sellegrí K., Laj P., Villani P., Bonasoni P., Marinoni A., Cristofanelli P., Calzolari F., Fuzzi S., Decesari S., Facchini M.C., Vuillermoz E. & Verza G.P. (2008). High frequency new particle formation in the Himalayas. *PNAS*, 105(41): 15666-15671.
- Wiedensohler A., Birmili W., Nowak A., Sonntag A., Weinhold K., Merkel M., Wehner B., Tuch T., Pfeifer S., Fiebig M., Fjaraa A.M., Asmi E., Sellegrí K., Depuy R., Venzac H., Villani P., Laj P., Aalto P., Ogren J.A., Swietlicki E., Williams P., Roldin P., Quincey P., Hueglin C.H., Fierz-Schmidhauser R., Gysel M., Weingartner E., Riccobono F., Santos S., Grünig C., Faloon K., Beddows D., Harrison R., Monahan C., Jennings S.G., O'Dowd C.D., Marinoni A., Horn H.-G., Keck L., Jiang J., Scheckman J., McMurry P.H., Deng Z., Zhao C.S., Moerman M., Henzing B., de Leeuw G., Lüscher G. & Bastian S. (2012). Mobility particle size spectrometers: harmonization of technical standards and data structure to facilitate high quality long-term observations of atmospheric particle number size distributions. *Atmos. Meas. Tech.*, 5, 657-685.
- Yasunari T.J., Bonasoni P., Laj P., Fujita K., Vuillermoz E., Marinoni A., Cristofanelli P., Duchi R., Tartari G. & Lau K.M. (2010). Estimated impact of black carbon deposition during pre-monsoon

season from Nepal Climate Observatory-Pyramid data and snow albedo changes over Himalayan glaciers. In: Special Issue “Atmospheric brown cloud in the Himalayas” Atmospheric Chemistry and Physics 10: 6603-6615.

Riviste non ISI

- Baroni A., Boselli A.M. & Caravello G.U. (2001). Risorse idriche, qualità ed interazione con la salute umana in Nepal e nella valle del Khumbu. *Acqua & Aria*, 5: 106-108.
- Carosi R., Montomoli C. & Visonà D. (2002). Is there any detachment in the Lower Dolpo (Western Nepal). *Comptes Rendus Geoscience*, 334(12): 933-940.
- Diodato N., Tartari G. & Belocchi G. (2010). Geospatial Rainfall Modelling at Eastern Nepalese Highland from Ground Environmental Data. *Water Resour Manage*. DOI: 10.1007/s11269-009-9575-2.
- Giardino C., Oggioni A., Bresciani M. & Yan H. (2010). Remote Sensing of Suspended Particulate Matter in Himalayan Lakes. A Case Study of Alpine Lakes in the Mount Everest Region. *Mountain Research and Development* 30:157-168.
- Giardino C., Oggioni A., Bresciani M. & Yan H. (2010). Remote Sensing od Suspended Particulate Matter in Himalayan Lakes. In: Special Issue “Methodologies and Tools for the Management of Mountain Protected Areas: Mount Everest (Nepal, China) and K2 (Pakistan) Regions”. *Mountain Research and Development*, 30(2): 157-168.
- Li Y.M., Geng D.W., Hu Y.B., Wang P., Zhang Q.H., Jiang G.B. (2012). Levels and distribution of polychlorinated biphenyls in the atmosphere close to Chinese Great Wall Station, Antarctica: Results from XAD-resin passive air sampling 2012. *Chinese Science Bulletin* 57: 1499-1503.
- Matta E., Giardino C., Boggero A., Bresciani M. (2017). Use of satellite and in situ reflectance data for lake water color characterization in the Everest Himalayan Region. In: *Mountain Research and Development* 37: 16-23.
- Mayer C., Lambrecht A., Mihalcea C., Belò M., Diolaiuti G., Smiraglia C. & Bashir F. (2010). Analysis of Glacial Meltwater in Bagrot Valley, Karakoram. In: Special Issue “Methodologies and Tools for the Management of Mountain Protected Areas: Mount Everest (Nepal, China) and K2 (Pakistan) Regions”. *Mountain Research and Development*, 30(2): 169-177.
- Mosca P., Groppo C. & Rolfo F. (2013). Main geological features of the Rolwaling-Khumbu Himal between the Khimti Khola and Dudh Khosi valleys (eastern-central Nepal Himalaya). *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana* 29: 112-115.
- Pecci M. (2005). High Altitude in situ surveys and researches on the snow cover in high altitude: case studies in Italian and Himalayan mountain ranges. *Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, VII: 253-260.
- Poretti G., Calligaris C., Tariq S. & Khan H. (2011). Comparison between the tectonic movements of Nanga Parbat-Haramosh Massif and Mt. Everest. *Journal of Nepal Geological Society*, 43 (Special Issue): 69-77.
- Müller T., Henzing J.S., de Leeuw G., Wiedensohler A., Alastuey A., Angelov H., Bizjak M., Collaud Coen M., Engström J.E., Gruening C., Hillamo R., Hoffer A., Imre K., Ivanow P., Jennings G., Sun J.Y., Kalivitis N., Karlsson H., Komppula M., Laj P., Li S.-M., Lunder C., Marinoni A., Martins Dos Santos S., Moerman M., Nowak A., Ogren J.A., Petzold A., Pichon J.M., Rodriguez S., Sharma S., Sheridan P.J., Teinilä K., Tuch T., Viana M., Virkkula A., Weingartner E., Wilhelm R. & Wang Y.Q. (2011). Characterization and intercomparison of aerosol absorption photometers: result of two intercomparison workshops. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4 (2): 245-268.
- Rizzio E., Giaveri G., Bergamaschi L., Profumo A. & Gallorini M. (2001). Controllo di qualità nell’analisi degli elementi in traccia contenuti nell’articolato atmosferico. *Acqua & Aria*, 6: 71-78.

Smiraglia C., Mayer C., Mihalcea C., Diolaiuti G., Belò M. & Vassena G. (2007). Ongoing variations of Himalayan and Karakoram glaciers as witnesses of global changes: recent studies of selected glaciers. In: Baudo R., Tartari G. & Vuillermoz E. (Eds.). Mountains witnesses of global changes research in the Himalaya and Karakoram; SHARE-Asia project, Developments in Earth Surface Processes, 10: 235-247.

Teti P., Guzzella L., Roscioli C. & De Paolis A. (2005). I composti organoclorurati nei sedimenti di laghi remoti e del Lago Maggiore. *Acqua & Aria*, 4: 24-29.

Thakuri S., Salerno F., Smiraglia C., Bolch T., D'Agata C., Viviano G., Tartari G. (2013). Tracing glacier changes since the 1960s on the south slope of Mt. Everest (central Southern Himalaya) using optical satellite imagery. *The Cryosphere Discuss.* 7: 5389-5432.

Vuillermoz E. & Certo G. (2005). Sensori meteorologici in alta quota della rete SHARE-Asia. *Acqua & Aria*, 8: 76-79.

Libri e capitoli di libri

Beltramo R. (2005). Alpinismo e ambiente. Linee guida per spedizioni ecocompatibili. Quaderni della Montagna, Istituto Nazionale della Montagna, Rome, Italy. pp. 196.

Bhuju D.R., Carrer M., Gaire N.P., Soraruf L., Riondato R., Salerno F. & Maharjan S.R. (2010). Dendroecological Study of High Altitude Forest at Sagarmatha National Park, Nepal. In: Jha P.H. & Khanal I.P. (Eds). Contemporary Research in Sagarmatha (Mt. Everest) Region, Nepal: An Anthology. Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 119-130.

Ghimire N.P., Shrestha P.P., Caravello G.U. & Jha P.K. (2010). Sources of Water Pollution in Sagarmatha National Park and Buffer Zone, Nepal. In: Jha P.H. & Khanal I.P. (Eds). Contemporary Research in Sagarmatha (Mt. Everest) Region, Nepal: An Anthology. Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 103-109.

Boselli A.M., Caravello G.U. & Baroni A. (2010). The Sustainability in Khumbu Valley. In: Jha P.H. & Khanal I.P. (Eds). Contemporary Research in Sagarmatha (Mt. Everest) Region, Nepal: An Anthology. Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 83-89.

Ramanathan V., Akimoto H., Bonasoni P., Brauer M., Carmichael G., Chung C.E., Feng Y., Fuzzi S., Hasnian S.I., Iyngararasan M., Jayaraman A., Lawrence M.G., Nakajima T., Panwar T.S., Ramana M.V., Rupakheti M., Weidemann S., Yoon S.C., Zhang Y. & Zhu A. (2008). Part I Atmospheric Brown Clouds and regional climate change. Atmospheric Brown Clouds, Regional Assessment Report with Focus on Asia. UNEP, Kenya. 1-144.

Marinoni A., Cristofanelli P., Bonafé U., Calzolari F., Roccato F., Angelini F., Decesari S., Facchini M.C., Fuzzi S., Gobbi G.P., Bonasoni P., Laj P., Sellegri K., Venzac H., Villani P., Maione M., Arduini J., Vuillermoz E. & Verza G.P. (2007). L'osservatorio ABC-Pyramid a 5079 m slm in Himalaya. Una stazione per la misura di aerosol, ozono e gas serra alogenati. In: Carli B., Cavarretta G., Colacino M. & Fuzzi S. (Eds). Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy. 475-478.

Tartari G., Vuillermoz E. & Bertolani L. (2007). Monitoraggio dei cambiamenti globali in Himalaya e Karakorum. In: Carli B., Cavarretta G., Colacino M. & Fuzzi S. (Eds). Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy. 479-482.

Lami A., Marchetto A., Morabito G., Manca M., Mosello R., Tartari G.A., Piscia R., Tartari G. & Salerno F. (2007). Influenze climatiche sui corpi lacustri del Sagarmatha National Park, Mount Everest, Nepal. In: Carli B., Cavarretta G., Colacino M. & Fuzzi S. (Eds). Clima e cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy. 597-600.

Lami A., Musazzi S., Manca M., Marchetto A., Guilizzoni P. & Guzzella L. (2007). Indagini paleolimnologiche in laghi himalayani: ricostruzioni del clima del passato ed effetti delle variazioni climatiche sulle biocenosi. In: Carli B., Cavarretta G., Colacino M. & Fuzzi S. (Eds). Clima e

cambiamenti climatici: le attività di ricerca del CNR, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy. 605-608.

Gallorini M. (2000). Trace Elements in Atmospheric Pollution Processes: the contribution of the Neutron Activation Analysis. In: Spurny K.R. (Ed). *Aerosol Chemical Processes in the Environment*. Lewis CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. 22: 431-455.

Lavori divulgativi

Bergamaschi L., Rizzio E., Profumo A. & Gallorini M. (2003). Simultaneous trace elements monitoring by INAA in urban air particulate matter and in transplanted lichens. Proceedings VI International conference on methods and applications of radioanalytical chemistry. Kailua-Kona, Hawaii, USA, 7-11 April, 2003. 85.

Bergamaschi L., Rizzio E., Giaveri G., Verza P., Profumo A. & Gallorini M. (2003). INAA for the determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in lichens of high altitude areas. Proceedings VI International conference on methods and applications of radioanalytical chemistry. Kailua-Kona, Hawaii, USA, 7-11 April, 2003. 83.

Bergamaschi L., Rizzio E., Valcuvia M.G., Verza G., Profumo A. & Gallorini M. (2003). Trace Elements Determination in Himalayan Lichens. Proceedings Biomonitoring of Atmospheric pollution-BioMAP II. Azores Islands, Portugal, 28 August – 3 September 2000. 317-325.

Bonasoni P., Laj P., Cristofanelli P., Marinoni A., Bonafè U., Calzolari F., Roccato F., Vuillermoz E., Arduini J. & Maione M. (2007). High Mountain Observatories for monitoring gases and aerosol properties in Himalaya and Apennine regions. Proceedings Global Change, Environment, Sustainable development of the society and high mountain observatories network BEOBAL Conference, Gyulechista, Bulgaria, 21-25 March, 2007. 32-39.

Bonasoni P. (2005). Le stazioni di ricerca in alta quota per lo studio dell'atmosfera. Atti Il K2 cinquant'anni dopo. La Ricerca Scientifica negli ambienti estremi, Rome, Italy, 17 December, 2004. Il Veltro Editrice, Rome, Italy, 185-188.

Bonasoni P., Vuillermoz E., Toffolon R., Laj P., Salerno F., Tartari G. & Lami A. (2009). The SHARE Project: Mountain climatic observations at high altitude. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 675-676.

Boselli A.M., Caravello G.U. & Baroni A. (2004). Environmental quality of Upper Mustang: population, water and tourism. International Conference on The Great Himalayas: Climate, Health, Ecology, Management and Conservation, Kathmandu, Nepal, 12-15 January, 2004. <http://www.aehms.org/hima02.html>.

Boselli A.M., Caravello G.U., Bresolin C., Giacomin F. & Baroni A. (2003). The ecosystem health in upper Mustang (Nepal): some considerations. Proceedings International Seminar on Mountains, Kathmandu, Nepal, 6-8 March, 2002. Royal Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 478-484.

Bovio S. & Manca M. (2009). Rotifers from a lake in Nepalese Himalayas: living community and biotic reservoir in the egg bank. XII Rotifera. Poster. Berlino, Germania, 16-21 agosto 2009.

Caravello G.U., Bilo F., Boselli A.M., Bresolin C., Giacomin F., Turin P. & Baroni A. (2003). Characterization of the Environmental Quality of Water-Rivers in the Khumbu Valley (Sagarmatha National Park) by Biocenotic Indexes. Proceedings International Seminar on Mountains, Kathmandu, Nepal, 6-8 March, 2002. Royal Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 236-244.

Carosi R., Pertusati P.C. & Visonà D. (1997). Geologia del Cristallino dell'Alto Himalaya e del Tibet meridionale nella regione del Cho-Oyu, Everest e Makalu (Nepal orientale). *Acqua & Aria*, 5: 84-87.

-
- Cristofanelli P., Bonasoni P., Marinoni A., Bonafè U., Calzolari F., Duchi R., Roccato F., Malaspina F., Lauria L. & Vuillermoz E. (2009). The Mt. Cimone high elevation station (2165 m a.s.l., Italy) for atmospheric research. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 676-677.
- Da Polenza A., Vuillermoz E., Verza G.P., Cortinovis A., Bonasoni P. & Tartari G. (2009). SHARE EVEREST, The highest (8,000 m a.s.l.) automatic weather station of the world: South Col, Mt. Everest, Nepal. Technical characteristics and preliminary results. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 678-679.
- de Bernardi R. & Vuillermoz E. (2006). Ev-K2-CNR SHARE-Asia Project: a case study of interdisciplinary environmental research in the framework of international scientific cooperation. Euro Arab 2006, Kuwait City, Kuwait, 27-29 November, 2006. 869-877.
- Diolaiuti G., Smiraglia C., Verza G.P., Chillemi R. & Meraldi E. (2009). La rete micro-meteorologica glaciale lombarda: un contributo alla conoscenza dei ghiacciai alpini e delle loro variazioni recenti. Atti Conferenza Clima e Ghiacciai L'evoluzione delle Risorse Glaciali in Lombardia, Milan, Italy, 17 November 2007. 75-98.
- Duchi R., Bonasoni P., Cristofanelli P., Marinoni A., Bonafè U., Calzolari F., Roccato F., Arduini J., Maione A., Cacciari A., Di Nicolantonio W. & Vuillermoz E. (2009). Intercontinental forest fire plume observations at Mt. Cimone high elevation station (Italy). Technical characteristics and preliminary results. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 681-682.
- Fuzzi S., Bonasoni P. & Maione M. (2009). Atmospheric Composition Change and Climate in High Mountain Areas. Proceedings of the International Conference Mountains as Early Indicators of Climate Change, Padova, Italy 17-18 April 2008. 31-41.
- Giaveri G., Bergamaschi L., Rizzio R., Verza G., Zambelli G., Brandone A., Profumo A., Baudo R., Tartari G. & Gallorini M. (2003). INAA at the top of the world: elemental characterization and analysis of airbone particulate matter collected in Himalayas at 5,100 m high. Proceedings VI International conference on methods and applications of radioanalytical chemistry. Kailua-Kona, Hawaii, USA, 7-11 April, 2003. 83-84.
- Lami A. (2005). I Laghi remoti come sensori dei cambiamenti climatici. Atti Il K2 cinquant'anni dopo. La Ricerca Scientifica negli ambienti estremi, Rome, Italy, 17 December, 2004. Il Veltro Editrice, Rome, Italy, 111-126.
- Lami A. (2008). Ev-K2-CNR: 20 anni di ricerca scientifica nel Sagarmatha National Park. Atti Convegno “Economia agraria e pianificazione economica territoriale nel Parco nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal)”, Perugia, Italy, 25-26 September 2008. 20-29.
- Lovari S. & Pezzo F. (2008). Il ritorno del leopardo delle nevi sull'Everest. Atti Convegno “Economia agraria e pianificazione economica territoriale nel Parco nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal)”, Perugia, Italy, 25-26 September 2008. 41-43
- Lovari S., Bahadur S. & Roberto B. (2011). Notes on the Large Mammal Community of Sagarmatha National Park (Nepal). Proceeding International Karakorum Conference, Islamabad, Pakistan, 25-27 April, 2005. Pakistan Academy of Geological Science, Islamabad, Pakistan, 225-230.
- Luciani F. & Melis M.T. (2005). L'uso del telerilevamento satellitare per una corretta analisi degli impatti ambientali del turismo, nel Parco Nazionale del Sagarmatha (Nepal). Atti IX Conferenza ASITA, Catania, Italy, 15-18 Novembre, 2005. 2: 1399-1404.
- Luciani F. & Micheli S. (2010). Indagine economico ambientale sul Parco Nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal). Dalla cartografia delle unità di copertura del suolo, alla definizione di una matrice

-
- di capitale naturale, attraverso l'uso del telerilevamento satellitare. Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA, Brescia, Italy, 9-12 November, 2010.
- Luciani F., Melis M.T. & Pierantozzi M. (2006). Prima analisi degli impatti ambientali causati dall'antropizzazione nel Parco Nazionale del Sagarmatha (Everest), attraverso il telerilevamento satellitare. Atti X Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, Italy, 14-17 November, 2006. 2: 1315-1320.
- Marinoni A., Cristofanelli P., Duchi R., Calzolari F., Roccato F., Bonasoni P., Laj P. & Vuillermoz E. (2009). Two-Years black carbon observations at Nepal Climate Observatory at Pyramid (Nepal, 5079 m a.s.l.). Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2:686-687.
- Melis M.T., Anfodillo T., Smiraglia C., Diolaiuti G.A., D'Agata C., Dessì F., Ficetola F., Salerno F., Basani M., Cucillato E., Shrestha B. & Bajracharya B. (2008). Remote sensing application for management planning in Central Karakoram National Park, Pakistan. Proceedings XXI International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress Beijing, China, 3-11 July, 2008. IAPRS, Vol. XXXVII, ISSN: 1682-1750: 1103-1108.
- Oggioni A., Giardino C., Yan H., Bresciani M. & Lami A. (2009). Advanced remote sensing based methods for the assessment of the environmental status of lake waters in the Himalayan Region: the Case-Study of the Northern and Southern side of Mount Everest. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2:689.
- Pandey B., Ghimire P. & Agrawal V.P. (2004). Studies on Antibacterial Activity of Soil from Khumbu Region of Mount Everest. International Conference on The Great Himalayas: Climate, Health, Ecology, Management and Conservation, Kathmandu, Nepal, 12-15 January, 2004. <http://www.aehms.org/hima02.html>.
- Poretti G. (1997). Le scienze della Terra nel Progetto Ev-K2-CNR: geodesia e geofisica. *Acqua & Aria*, 5: 81-83.
- Poretti G., Mandler R. & Lipizer M. (2005). Exakte Bestimmung des Mount Everest. *Der Vermessungsingenieur*, 5: 416-423.
- Provenzale A. (2011). The Ev-K2-CNR SHARE Project Paprika-Karakorum: Cryospheric responses to anthropogenic pressures in the Hindu Kush – Karakoram – Himalaya regions: impact on water resources and availability. Atti delle Giornate di Studio “Impatto delle modificazioni climatiche su rischi e risorse naturali. Strategie e criteri d'intervento per l'adattamento e la mitigazione”, Bari, Italy, 10-11 March, 2011.
- Rizzio E., Bergamaschi L., Valcuvia M.G., Profumo A. & Gallorini M. (2003). Trace elements determination in lichens and in the airborne particulate matter for the evaluation of the atmospheric pollution of an Italian alpine region. Proceedings International Seminar on Mountains, Kathmandu, Nepal, 6-8 March, 2002. Royal Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 595-599.
- Rizzio E., Bergamaschi L., Giaveri G., Baudo R., Verza P., Savini A., Brandoni A. & Gallorini M. (2003). Determination of trace elements and evaluation of their enrichment factors in Himalayan and Alpine lichens. Proceedings International Seminar on Mountains, Kathmandu, Nepal, 6-8 March, 2002. Royal Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 600-605.
- Salerno F. & Viviano G. (2008). Ricerca scientifica e modellistica quali-quantitativa per la gestione delle aree protette: il caso del Parco Nazionale del Sagarmatha (Nepal). Atti Conegno “Economia agraria e pianificazione economica territoriale nel Parco nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal)”, Perugia, Italy, 25-26 September 2008. 30-40.

-
- Salerno F., Cuccillato E., Muetzelfeldt R., Giannino F., Bajracharya B., Caroli P., Viviano G., Staiano A., Cartenì F., Mazzoleni S. & Tartari G. (2008). Concept maps for combining hard and soft system thinking in the management of socio-ecosystems. Proceedings III International Conference on Concept Mapping (CMC2008), Tallinn, Estonia & Helsinki, Finland, 22-25 September, 2008. 1: 298-305.
- Salerno F., Tartari G., Smiraglia C., D'Agata C. & Melis M.T. (2009). The recent evolution of glaciers and lakes in the eastern Himalayas (Nepal) as witnesses of climate change. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 692-693.
- Singh D. & Agrawal V.P. (2003). Diversity of Actinomycetes of Lobuche in Mount Everest I. Proceedings International Seminar on Mountains, Kathmandu, Nepal, 6-8 March, 2002. Royal Nepal Academy of Science and Technology, Kathmandu, Nepal. 357-360.
- Smiraglia C. & Diolaiuti G. (2009). Lo stato di salute dei ghiacciai lombardi: verso l'estinzione di una risorsa fondamentale? Atti Conferenza Clima e Ghiacciai L'evoluzione delle Risorse Glaciali in Lombardia, Milan, Italy, 17 November 2007. 29-53.
- Smiraglia C. (1997). L'attività della Sezione Glaciologia nell'ambito del progetto strategico Ev-K2-CNR. Acqua & Aria, 5: 95-97.
- Smiraglia C., Mayer C., Mihalcea C., Diolaiuti G., Belò M., Lambrecht A., Tamburini A., Tartari G. & Vuillermoz E. (2011). Glaciological Investigations on Baltoro Glacier (Karakoram, Pakistan) performer during the last Intalian Expedition “1954-2004: 50 years later”. Proceeding International Karakorum Conference, Islamabad, Pakistan, 25-27 April, 2005. Pakistan Academy of Geological Science, Islamabad, Pakistan, 59-72.
- Tartari G. & Toffolon R. (2009). The high elevations of the world as key strategic areas in the regional and global energy and water budgets. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2:634-635.
- Tartari G. (2005). Integrazione e internazionalizzazione delle ricerche climatiche e ambientali in Himalaya e Karakorum. Atti Il K2 cinquant'anni dopo. La Ricerca Scientifica negli ambienti estremi, Rome, Italy, 17 December, 2004. Il Veltro Editrice, Rome, Italy, 86-110.
- Tartari G., Lami A., Salerno F. & Copetti D. (2009). I laghi attori attivi o passivi dei cambiamenti globali? Atti Conferenza Clima e Ghiacciai L'evoluzione delle Risorse Glaciali in Lombardia, Milan, Italy, 17 November 2007. 163-180.
- Tartari G., Ueno K. & Sugimoto S. (2009). Preliminary examination of data collected by SHARE EVEREST AWS at 8,000 m. a.s.l. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 695-696.
- Teti P., Vuillermoz E., Polesello S., Guzzella L., Roscioli C., Cozzi G., Cescon P., Valsecchi S., Comi M. & Tartari G. (2011). Chemical composition of fresh snow samples sinoptically collected on Mount Everest (nothern slope) and K2 (northern and southern scope) during May-July 2004. Proceeding International Karakorum Conference, Islamabad, Pakistan, 25-27 April, 2005. Pakistan Academy of Geological Science, Islamabad, Pakistan, 73-82.
- Ueno K., Tartari G., Toffolon R., Manfredi E. & Vuillermoz E. (2009). CEOP-High Elevations: present status and future scenario. Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 696-697.
- Vuillermoz E., Tartari G., Baudo R., Lami A., Schommer B. (2006). The Ev-K²-CNR Project: 15 years of high altitude research on global change. In: Price M.F. (Ed). Global Change in Mountain Regions.

Proceedings Open science on global change in mountain regions, Perth, Scotland, 2-6 October, 2005. Sapiens Publishing, 70-71.

Vuillermoz E., Verza G.P., Toffolon R., Tartari G., Lami A. & Bonasoni P. (2009). The first SHARE – Automatic Weather Station (AWS) in Africa, Mt. Rwenzori (Uganda). Proceedings 6th International Scientific Conference on the global energy and water cycle and 2nd integrated land eco system – Atmosphere processes study (iLEAPS) science conference, Melbourne, Australia, 24-28 August 2009. 2: 698-699.

Tesi di laurea/dottorato

Orsenigo Simone. 2009/2010. Tesi di Laurea Specialistica: “Risposta della flora periglaciale al riscaldamento climatico. Un caso di studio nelle Alpi Retiche”. Relatore: Dott. Marco Caccianiga. Correlatori: Prof. Graziano Rossi, Dott. Andrea Mondoni. Università degli Studi di Milano – Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. pp. 69.

Minora Umberto Filippo. 2008/2009. Tesi di Laurea Triennale: “Analisi dei dati termici-pluviometrici registrati dalla stazione sopraglaciale AWS1 Forni nel quadriennio 2005/2009 e confronto con le climatologie ricostruite attraverso modelli climatologici-fisici”. Relatore: Dott.ssa Guglielmina Adele Diolaiuti. Correlatori: Prof. Maurizio Maugeri; Dott. Gianluca Lentini. Università degli Studi di Milano – Facoltà di scienze Matematiche, Fisiche e Naturali. pp. 58.

Cabini Emanuele. 2008/2009. Tesi di Laurea Specialistica: “Bioclimatologia del Parco Nazionale del Monte Everest (Sagarmatha National Park – Nepal)”. Relatore: Prof. Marco Acutis. Correlatori: Prof. Luigi Mariani, Dott. Gianni Tartari, Dott.ssa Elisa Vuillermoz. Università degli Studi di Milano – Facoltà di Agraria. 212.

Viviano Gaetano. 2007/2008. Tesi di Laurea Specialistica in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio: “Modellizzazione quali-quantitativa a supporto della gestione del Parco Nazionale del Sagarmatha (Nepal)”. Relatore: Prof. Martino Gatto. Correlatori: Dr. Gianni Tartari, Dr. Franco Salerno. Politecnico di Milano – Facoltà di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale. pp. 271.

Ratto Paolo. 2006/2007. Tesi di laurea: “Conservazione e sviluppo in ambiente montano: gestione di acque, rifiuti ed energia nel Parco Nazionale del Rwenzori (Uganda)”. Relatore: Prof. Carlo Collivignarelli. Correlatori: Ing. Sabrina Sorlini; Ing. Fausta Prandini. Università degli Studi di Brescia – Facoltà di Ingegneria.

Maffioletti Matteo. 2005/2006. Tesi di laurea: “Caratterizzazione micrometeorologica di un ghiacciaio alpino: il ghiacciaio dei Forni in Alta Valtellina”. Relatore: Dott.ssa Guglielmina Adele Diolaiuti. Correlatori: Prof. Claudio Smiraglia; Eraldo Meraldì. Università degli Studi di Milano – Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali. pp. 51.

Toyotsu Kazuhiro. 2005/2006. Tesi di dottorato “Characteristics of local circulation in the Nepal Himalayas observed by Automatic Weather Stations”. Relatore: Kenichi Ueno. University of Tsukuba – Japan. pp. 45.

Bruccoleri Gabriele. 2005/2006. Tesi di laurea “Morfometria lacustre e copertura glaciale nel Parco Nazionale Sagarmatha (Nepal) durante il XX secolo”. Relatore: Prof. Claudio Smiraglia. Correlatori: Dr. Gianni Tartari, Dr. Franco Salerno, Dr. Elisa Buraschi. Università degli Studi di Milano – Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali. pp. 147.

Autori

Alessandra Pugnetti¹, Mauro Bastianini¹, Bruno Cataletto², Federica Grilli³, Mariangela Ravaioli⁴, Fabrizio Bernardi Aubry¹, Francesco Acri¹, Elisa Camatti¹, Marco Pansera¹, Stefania Finotto¹, Amelia De Lazzari¹, Simona Armeli Minicante¹, Paola Del Negro², Marina Cabrini², Marina Monti², Michele Giani², Tamara Cibic², Federica Cerino², Daniela Fornasaro², Cinzia Fabbro², Valentina Tirelli², Alessandra De Olazabal², Alenka Goruppi², Annalisa Franzo², Rocco Auriemma², Federica Nasi², Larissa Ferrante², Mauro Celussi², Cinzia De Vittor², Lidia Urbini², Martina Kralj², Federica Relitti², Marina Lipizer², Alessandra Giorgetti², Menashè Eliezer², Matteo Bazzaro², Alfred Beran², Caterina Bergami⁴, Francesco Riminucci⁴⁻⁵, Lucilla Capotondi⁴, Sonia Albertazzi⁴, Alessandro Coluccelli⁶, Patrizia Giordano⁷, Aniello Russo⁴⁻⁵⁻⁶, Giuseppe Stanghellini⁴, Leone Tarozzi⁴, Mauro Marini³, Tiziana Romagnoli⁶, Mattia Betti³, Giuseppe Caccamo³, Alessandra Campanelli³, Emanuela Frapiccini³, Pierluigi Penna³, Elio Paschini³, Stefano Accoroni⁶, Sonia Giulietti⁶, Cecilia Totti⁶

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737f, 30122 Venezia, Italia.

² Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS), Italia.

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (CNR-IRBIM), Largo Fiera della Pesca 2, 60125 Ancona, Italia.

⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

⁵ Consorzio PROAMBIENTE, Tecnopolo CNR Bologna, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

⁶ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della vita e dell'Ambiente (DISVA), Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.

⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Polari (CNR-ISP), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/92fd6fad-99cd-4972-93bd-c491f0be1301>

Referente macrosito: Alessandra Pugnetti

Siti di ricerca:

Golfo di Venezia, IT12-001-M

Golfo di Trieste, IT12-002-M

Delta del Po e Costa Romagnola, IT12-003-M

Transetto Senigallia Susak, IT12-004-M

Tipologia di ecosistema: marino

Citare questo capitolo come segue: Pugnetti A., Bastianini M., Cataletto B. *et al.* (2021). IT12-M Alto Adriatico, p. 399-438. DOI: 10.5281/zenodo.5584751. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

In un tempo come il nostro, dove sembra irrimediabilmente perso il senso dello spazio, l'Adriatico viene spesso liquidato come un piccolo mare chiuso. Navigatelo a vela, camminate lungo le sue coste, ascoltate i racconti degli uomini e delle onde, ne scoprirete la vastità e il fascino.
(Fabio Fiori)

Il Mare Mediterraneo termina, nella sua porzione più settentrionale, con il Mare Adriatico, che si estende con i suoi tre bacini (settentrionale, centrale e meridionale) per 800 km, con una profondità crescente da nord a sud.

L'Alto Adriatico, che ne costituisce la parte meno profonda (profondità media 30 m), si sviluppa verso sud, fino all'isobata di 100 m, con un gradiente batimetrico poco marcato. È considerato tra le aree più produttive del Mare Mediterraneo per quanto riguarda i diversi livelli trofici, dal fitoplancton ai pesci. La produttività e il funzionamento dell'Alto Adriatico dipendono dalla combinazione di diversi fattori chiave – apporti di nutrienti e sostanza organica dai fiumi, disponibilità di luce, temperatura, stratificazione e mescolamento della colonna d'acqua, venti e correnti – che interagiscono fra loro con dinamiche complesse e variabili, sia nel tempo sia nello spazio. Ne risulta che tutto il bacino è caratterizzato da

un'elevata eterogeneità, rilevabile alla scala sia stagionale sia interannuale (Solidoro *et al.* 2009). Tendenzialmente, in inverno la colonna d'acqua appare prevalentemente ben mescolata, mentre, dalla primavera, gli apporti di nutrienti e il riscaldamento superficiale generano una stratificazione termoalina e gradienti di densità che diventano massimi in estate. In autunno il raffreddamento della colonna d'acqua e i venti inducono il mescolamento verticale che porta alla rottura della stratificazione estiva e ridistribuisce in tutta la colonna d'acqua i nutrienti, rimasti segregati negli strati più profondi (Socal *et al.* 2008).

Il contributo più con-

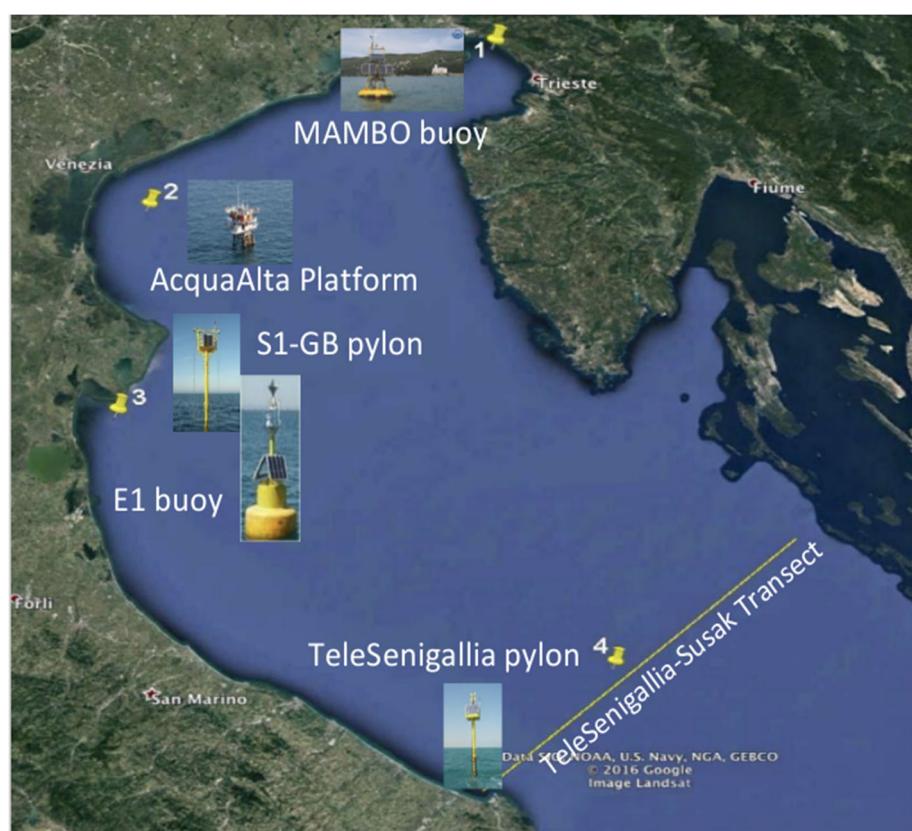


Fig. 1 - Il macrosito Alto Adriatico. Sono evidenziati i sistemi di acquisizione automatica di dati oceanografici

sistente degli apporti di acque dolce proviene dai fiumi Po e Adige nelle aree occidentali e dall'Isonzo in quelle orientali. Gli apporti fluviali, che esercitano un marcato controllo su salinità e concentrazione di nutrienti in tutto il bacino, hanno andamenti alquanto irregolari (Marini *et al.* 2008). Su scala stagionale, si possono comunque individuare nella primavera e nell'autunno le fasi di maggiori apporti dai fiumi, mentre i periodi più secchi sono caratteristici dell'estate e dell'inverno. In generale, si evidenzia una zona di produttività elevata, seppur variabile, nelle acque di fronte al Delta del Po e in quelle maggiormente influenzate dalla diffusione della sua plume, con un risultante gradiente di produzione che, in prevalenza, decresce da ovest verso est e da nord verso sud. Benché l'Alto Adriatico sia in media fortemente fosforo-

limitato, periodi di azoto e fosforo limitazione si possono alternare rapidamente, modulati principalmente dalle interazioni fra gli apporti fluviali d'acqua dolce e il consumo da parte del fitoplancton (Marini *et al.* 2010).

Lo stato trofico dell'Alto Adriatico non dipende solo dai fiumi, ma anche dalle caratteristiche della circolazione delle masse d'acqua. Negli strati più profondi (sotto 10 m di profondità), prevale una circolazione ciclonica, mentre gli strati più superficiali risentono principalmente dei venti dominanti: la Bora, da nord-est, e lo Scirocco, da sud-est. La circolazione delle masse d'acqua superficiali indotta dalla Bora, più frequente in autunno e in inverno, genera un vortice ciclonico, mentre lo scirocco favorisce una circolazione anticiclonica, con conseguenze molto diverse per quanto riguarda la distribuzione delle acque ricche di nutrienti nel bacino.

Acque oligotrofe e a elevata salinità entrano nell'Alto Adriatico al suo confine sud – orientale, provenienti dal bacino meridionale, attraverso la corrente adriatica orientale (Eastern Adriatic Current – EAC), che appare più consistente nei periodi più freddi. Oltre a questa corrente, che percorre il bacino in direzione settentrionale, ce n'è un'altra, molto rilevante, che percorre la costa italiana, verso sud (Western Adriatic Coastal Current – WACC). La concomitanza di periodi particolarmente freddi ed eventi di Bora può innescare la formazione delle cosiddette acque dense nord-adriatiche (Northern Adriatic Dense Water): masse d'acqua che si spostano lungo la costa occidentale dell'Adriatico e che, dopo 2-4 mesi, raggiungono l'Adriatico meridionale, dove sprofondano attraverso eventi a cascata multipli (Poulain e Raicich 2001). L'Alto Adriatico è uno dei tre siti di formazione di acque dense nel Mar Mediterraneo, assieme al Golfo del Leone e al Mare Egeo settentrionale. Le acque dense svolgono un ruolo ecologico molto importante: portano ossigeno alle masse d'acqua profonde, distribuiscono sostanza organica, nutrienti e organismi, influenzando in modo sostanziale la biodiversità delle comunità profonde, i cicli biogeochimici e, più in generale, tutto il funzionamento dell'ecosistema marino profondo (Boldrin *et al.* 2009).

L'Alto Adriatico è soggetto a un elevato e sempre crescente impatto antropico per quanto riguarda, oltre agli apporti di nutrienti dai fiumi, l'urbanizzazione costiera, le attività di pesca e acquacoltura, il turismo, il trasporto e il commercio marittimo. L'intera area ha un valore ecologico, economico e sociale che richiede che le attività di ricerca e monitoraggio siano svolte in modo continuo e avvengano in cooperazione fra istituti di ricerca, istituzioni politiche e società civile.

Le attività di ricerca sull'ecosistema Alto Adriatico sono svolte con regolarità dalla seconda metà del secolo scorso: questo ha fatto sì che l'Alto Adriatico fosse tra i primi "macrositi" entrati a far parte, nel 2006, della Rete LTER italiana, europea e internazionale. Attualmente è uno dei 25 macrositi di LTER-Italia ed è composto da quattro siti di ricerca (Golfo di Trieste, Golfo di Venezia, Delta del Po e costa romagnola, Transetto Senigallia-Susak; Fig. 1), coordinati, rispettivamente, dall'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale-OGS-Trieste, CNR ISMAR-Venezia, CNR ISMAR-Bologna e CNR IRBIM-Ancona. Nel macrosito sono svolte attività di ricerca, su scale temporali da stagionali a decadali, riguardanti principalmente la variabilità delle proprietà meteo-oceanografiche, l'ecologia e la struttura delle comunità planctoniche, l'evoluzione trofica e i cicli biogeochimici. Queste tematiche vengono affrontate sia con campionamenti discreti durante campagne oceanografiche, sia attraverso una rete di sistemi avanzati di acquisizione "automatica" di dati di oceanografia fisica e chimica (Boa MAMBO, Piattaforma Acqua Alta, Boa E1 e Meda S1-GB, Meda TeleSenigallia; Fig. 1).

Le osservazioni a lungo termine hanno permesso di evidenziare le variazioni trofiche cui il bacino è andato incontro, passando da una fase di forte eutrofizzazione (Giani *et al.* 2012), a una successiva di oligotrofizzazione (Mozetic *et al.* 2010), fino a una più recente, caratterizzata da nuovo aumento della concentrazione dei nutrienti (Totti *et al.* 2019).

La posizione dell'Alto Adriatico in un'area di grande valore ecologico ma anche altamente antropizzata, soggetta a pressioni di diversa natura e al centro di molteplici attività economiche legate all'uso delle risorse marine, e la presenza contestuale delle attività LTER, rendono il sito ideale per avviare la costituzione di un osservatorio ecologico marino. È proprio questa la prospettiva verso cui si sta muovendo il macrosito, in accordo anche con quanto viene raccomandato a livello europeo. La

costruzione, lo sviluppo e il mantenimento sul lungo termine degli osservatori ecologici marini sono, infatti, considerati imprescindibili per raggiungere obiettivi nazionali ed europei legati alla conservazione e allo sviluppo sostenibile, per contribuire all'Agenda della Blue Growth e all'Agenda ONU 2030 e ottemperare le richieste che provengono dalle direttive in ambito marino, in particolare la Direttiva Quadro per la Strategia Marina (Benedetti Cecchi *et al.* 2018).

Lo sviluppo del macrosito Alto Adriatico verso un osservatorio ecologico è stato recentemente (2016-17) sostenuto dal progetto bandiera Ritmare, che ha permesso di definire e identificare la struttura e gli obiettivi dell'osservatorio, avviare azioni riguardanti la gestione, organizzazione, integrazione e visibilità dei dataset LTER (Minelli *et al.* 2018) e, infine, realizzare attività dimostrative per l'utilizzo dei dataset, delle informazioni e delle conoscenze.

La costruzione di un osservatorio ecologico Alto Adriatico, che valorizzi le attività LTER, richiede necessariamente una visione che superi i confini nazionali e affronti le principali problematiche socio ecologiche dell'area con un approccio transfrontaliero. A tale scopo, dal 2019 al 2021 è stato finanziato il progetto Interreg Italia-Croazia “ECOSS – ECOlogical observing System in the Adriatic Sea: oceanographic observations for biodiversity”, che ha contribuito sostanzialmente a questo percorso, mettendo a disposizione i dati LTER del macrosito, integrandoli con altre attività osservative presenti in Adriatico e collegando le osservazioni ecologiche marine con le pratiche di conservazione in vigore nei siti Natura 2000 marini presenti nell'area.

Le prospettive di consolidamento del macrosito Alto Adriatico sono fortemente legate al suo ruolo, a livello nazionale ed europeo, nelle infrastrutture di ricerca (IR). L'Alto Adriatico è coinvolto, infatti, in più IR, che sono attualmente in diverse fasi di sviluppo: LifeWatch-ERIC, ICOS-ERIC, EMBRC-ERIC, Danubius-RI, LTER-RI, Jerico Next. In questo ampio contesto le attività e le conoscenze e i dati LTER del macrosito possono trovare sinergie, usi multipli, e integrazioni per sviluppare una strategia a lungo termine coordinata per le osservazioni ecologiche marine, in risposta alle richieste di ricerca, politica e società.

Abstract

The Northern Adriatic Sea is the northernmost basin of the Mediterranean Sea and one of its most productive areas, characterized by a shallow depth and by a dominant cyclonic circulation. The oceanographic and meteorological parameters show a marked seasonal and interannual variability. The major forcings of the system are represented by the significant river inputs along the Italian coast, by the Eastern Adriatic Current-EAC, which brings high salinity and oligotrophic waters from the southern basin, and by the notable sea-level range, relatively to the Mediterranean area. The NAS is subject to multiple anthropogenic impacts, e.g.: nutrient inputs, coastal urbanization, fishing activity, tourism, and maritime trade. The basin has undergone marked eutrophication followed by a phase of oligotrophication and then by a recent increase in nutrient concentrations. The NAS has also been subjected to frequent development of mucilage aggregates until the first decade of the 2000s. The LTER-Italy parent site NAS currently includes four research sites: the Gulf of Trieste, the Gulf of Venice, the Po Delta and Romagna Coast, and the Senigallia-Susak Transect. At each site meteo-oceanographic and biological data, mainly on plankton, are gathered both during oceanographic cruises and at fixed point observatories. Each site is supervised by a research institution that also manages the system of fixed sensors, which record data in near real-time.

Golfo di Venezia

Autori

Mauro Bastianini, Fabrizio Bernardi Aubry, Francesco Acri, Elisa Camatti, Marco Pansera, Stefania Finotto, Amelia De Lazzari, Simona Armeli Minicante, Alessandra Pugnetti

Affiliazione

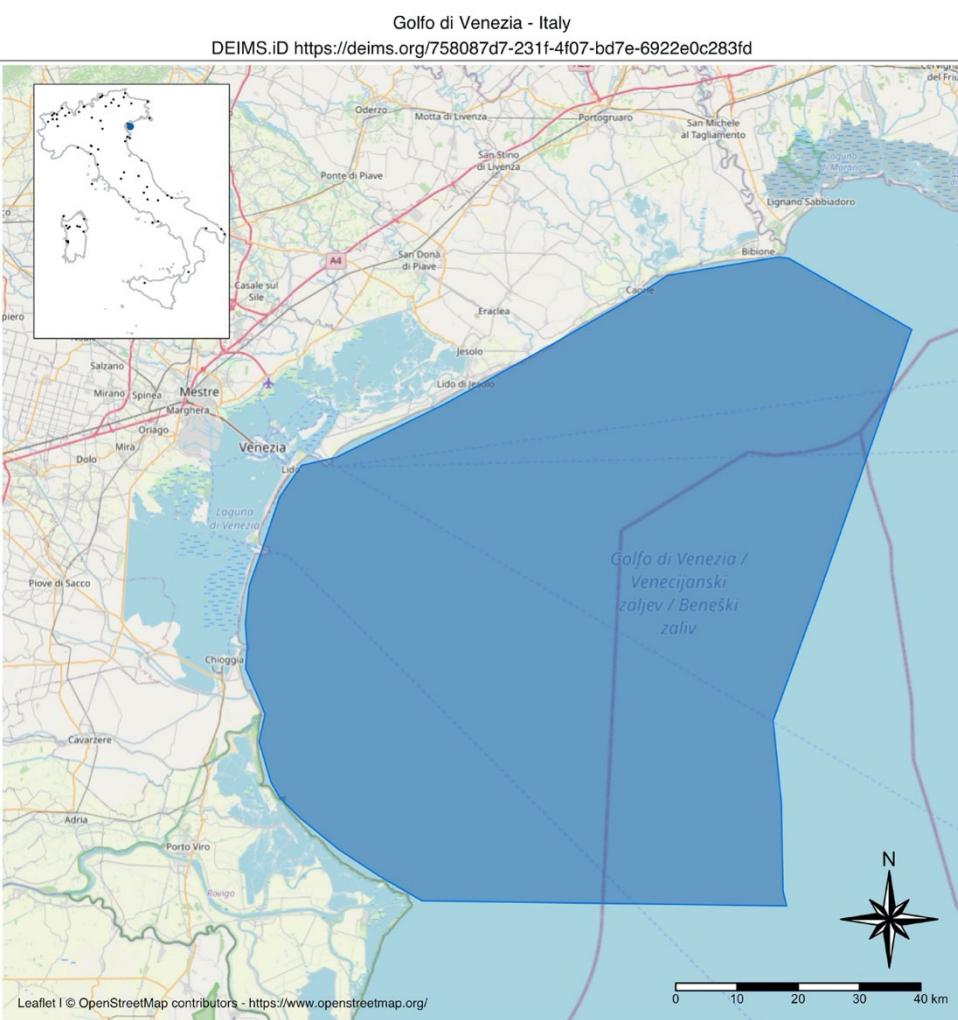
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR) Castello 2737f, Venezia.

Sigla: IT12-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/758087d7-231f-4f07-bd7e-6922e0c283fd>

Responsabile sito: Mauro Bastianini

Parole chiave: Mar Adriatico, plancton, biodiversità, serie a lungo termine, specie aliene



Descrizione del sito e delle sue finalità



Fig. 2 - Piattaforma oceanografica "Acqua Alta"

Il Golfo di Venezia è un'insenatura situata nella parte nord occidentale dell'Alto Adriatico, che va dalla punta di Goro, nel Delta del Po, fino a Capo Promontore (Fig. 1). Il CNR-ISMAR di Venezia raccoglie, dagli anni '50, dati fisici, chimici e biologici nel golfo. Il sito è soggetto a un notevole impatto antropico (apporti di nutrienti, urbanizzazione costiera, pesca, turismo, traffici marittimi, ecc.). In passato ha sofferto di fenomeni di eutrofizzazione e, all'inizio degli anni 2000, è stato soggetto a frequenti ed estesi eventi di mucillagine.

Osservazioni meteo-oceanografiche nel sito vengono svolte dalla fine del 19° secolo, anche se con cadenza irregolare. Dati idrologici, di concentrazione di nutrienti, di materiale particellato, di abbondanza e composizione delle comunità fitoplanctoniche e zooplanktoniche sono stati raccolti in modo discontinuo dalla metà degli anni '60 fino ai primi anni '90 e, in seguito, con periodicità regolare, pressoché mensile.

Nell'ultimo decennio le osservazioni LTER si sono concentrate nei pressi della piattaforma oceanografica infrastruttura unica nel mediterraneo localizzata a 15 km al largo di Venezia, equipaggiata con strumentazione di acquisizione automatica di dati atmosferici, idrologici e oceanografici. Nel tempo, è stato necessario ristrutturare la piattaforma e nel 2017, dopo ben 47 anni dalla prima posa, è stata sostituita in toto la struttura abitativa con un'altra più moderna ed efficiente. Sin dall'inizio, questa infrastruttura non è stata soltanto progettata e attrezzata come un vero laboratorio, ma è stata anche dotata di tutti

gli strumenti necessari a misurare i fenomeni metereologici e marini che possono avere un impatto sul Golfo di Venezia, in particolare, per prevedere anticipatamente le maree che possono colpire Venezia.

La Piattaforma Acqua Alta è una delle strutture scientifiche italiane più apprezzate in ambito accademico internazionale e ogni anno riceve molte richieste di collaborazione da parte di Università e Centri di Ricerca di tutto il mondo.

Risultati

Il Golfo di Venezia è un ecosistema particolarmente sensibile alle variazioni stagionali e pluriannuali del carico di nutrienti provenienti dall'entroterra e regolati dalle portate dei fiumi. In quest'area, le dinamiche spazio-temporali del fitoplancton possono essere sostanzialmente modificate da cambiamenti meteo-climatici a breve scala temporale e da eventi estremi (tempeste, inondazioni, siccità). Tuttavia la ricorrenza degli eventi stagionali principali (fioriture o picchi di specie caratteristiche) e la loro corrispondenza con le variazioni di temperatura, salinità e disponibilità di nutrienti sono chiaramente rilevabili (Fig.3): la regolarità nella comparsa stagionale delle specie fitoplanctoniche principali, rispetto alla grande variabilità ambientale del Golfo di Venezia, suggerisce che i ritmi biologici potrebbero regolare le dinamiche temporali delle comunità fitoplanctoniche e che le forzanti ambientali potrebbero modulare i tempi e le ampiezze delle fasi di crescita. Gli apporti di acqua dolce insieme al modello generale di circolazione del bacino inducono cambiamenti quantitativi delle abbondanze totali e nella loro distribuzione. In generale la serie storica permette di descrivere una prima fioritura alla fine dell'inverno,

seguita da picchi irregolari che si susseguono per tutta l'estate e l'autunno, in relazione agli apporti fluviali e alla estensione della loro distribuzione nel bacino (Fig. 3; Bernardi Aubry *et al.* 2012; Morabito *et al.* 2018). I fattori che regolano le variazioni stagionali del fitoplancton influenzano indirettamente anche il mesozooplanocone, attraverso un meccanismo bottom-up (Bernardi Aubry *et al.* 2012; Morabito *et al.* 2018). L'abbondanza totale del mesozooplanocone nel Golfo di Venezia ha tipicamente un picco estivo, dominato da cladoceri, mentre i copepodi caratterizzano la primavera e l'autunno (Morabito *et al.* 2018).

Da qualche anno il Golfo di Venezia, così come l'intero Mare Adriatico, è interessato da intensi sviluppi dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz A. 1865). La specie, originaria delle coste atlantiche del continente americano, venne osservata solo una volta nel bacino Adriatico nel mese di ottobre 2005, per poi non venir più segnalato per oltre 10 anni. Pur essendo inoffensivo per l'uomo, *M. leidyi* ricopre un

ruolo importante nella rete trofica predando intensamente la componente plantonica, incluse le forme larvali di pesci anche di importanza commerciale come sardine e acciughe.

Un approccio open-science per la gestione e la condivisione dei dati LTER del sito è stato di recente intrapreso nell'ambito delle attività del progetto bandiera Ritmare (Minelli *et al.* 2018). I dati dal 1965 al 2015, relativi alle osservazioni oceanografiche e al plancton, formalmente corretti dal punto di vista strutturale e geografico, sono stati resi accessibili tramite doi

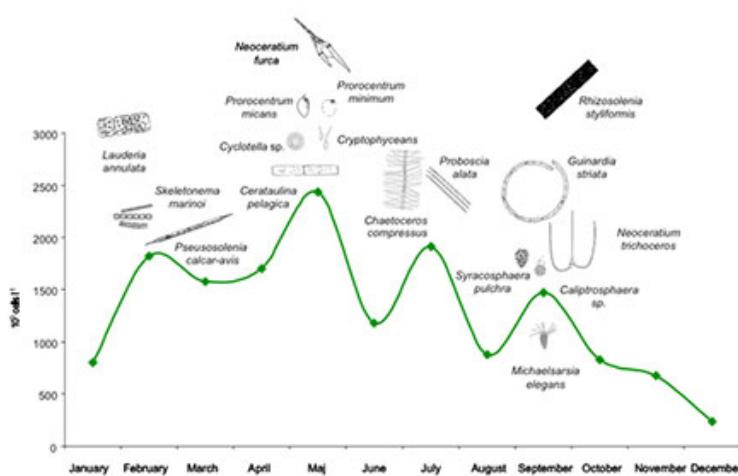


Fig. 3 - Successione stagionale delle specie fitoplanctoniche nel Golfo di Venezia
(da Bernardi Aubry *et al.* 2012)

(<https://doi.org/10.5281/zenodo.3516717>; Acri *et al.* 2019, 2020) e consultabili sulla piattaforma GET-IT (Geoinformation Enabling ToolkIT starterkit®; Oggioni *et al.* 2017).

Nell'ambito delle attività di divulgazione promosse dalla Rete LTER-Italia, nell'estate 2016 è stato organizzato un “Cammino LTER” (Bergami *et al.* 2018) che ha attraversato il macro-sito e ha collegato i siti di ricerca Golfo di Trieste, Golfo di Venezia e Laguna di Venezia, attraversando habitat marini, lagunari e terrestri in un percorso ecologico a basso impatto: a nuoto, in canoa e in bicicletta (Armeli Minicante *et al.* 2018). Il percorso, della durata di otto giorni, ha avuto come obiettivo la sensibilizzazione dei partecipanti sui temi della biodiversità e della complessità degli ecosistemi marini, terrestri e lagunari e della loro delicata gestione. In particolare, in ogni tappa, sono stati organizzati eventi rivolti ai cittadini e agli amministratori locali al fine di mettere in evidenza l'importanza degli studi ecologici a lungo termine per imparare a valutare lo stato degli ecosistemi.

Prospettive future

Si intende continuare il campionamento e le analisi dei parametri fisici, chimici e biologici, introducendo l'analisi delle immagini da telecamera subacquea per la valutazione dei popolamenti ittici presenti presso la piattaforma “Acqua Alta”. Per quanto riguarda le comunità planctoniche, all'analisi tradizionale con il metodo di microscopia si sono affiancate metodologie metagenomiche volte a incrementare le conoscenze della biodiversità del sito e a risolvere l'identificazione di specie criptiche di grande interesse ecologico. La piattaforma “Acqua Alta” è coinvolta in numerosi progetti di condivisione dell'infrastruttura, ospita strumentazioni e sperimentazioni tecniche e scientifiche che permettono di avviare attività interdisciplinari a copertura di uno spettro di conoscenze ecologiche sempre più ampio.

Abstract

The Gulf of Venice is located in the western region of the northern Adriatic sub-basin. The CNR-ISMAR of Venice have collected since the end of years '60s physical, chemical and biological data in different stations. During the last decade sampling is focused on monthly campaign and continuous measures at the "Acqua Alta" oceanographic tower, which represents an excellent observing site to perform ecological studies. Physical parameters, nutrient concentration, phytoplankton and zooplankton abundance and biomass are collected monthly. "Acqua Alta" tower is equipped with meteorological stations and several oceanographic sensors, at water depth of -3m, -6m and -16m, and is located at the western side of the gulf, in a key area to observe near-coastal processes (stratifications, biological productivity).

Golfo di Trieste

Autori

Bruno Cataletto, Paola Del Negro, Marina Cabrini, Marina Monti, Michele Giani, Tamara Cibic, Federica Cerino, Daniela Fornasaro, Cinzia Fabbro, Valentina Tirelli, Alessandra De Olazabal, Alenka Goruppi, Annalisa Franzo, Rocco Auriemma, Federica Nasi, Larissa Ferrante, Mauro Celussi, Cinzia De Vittor, Lidia Urbini, Martina Kralj, Federica Relitti, Marina Lipizer, Alessandra Giorgetti, Menashè Eliezer, Matteo Bazzaro, Alfred Beran.

Affiliazione

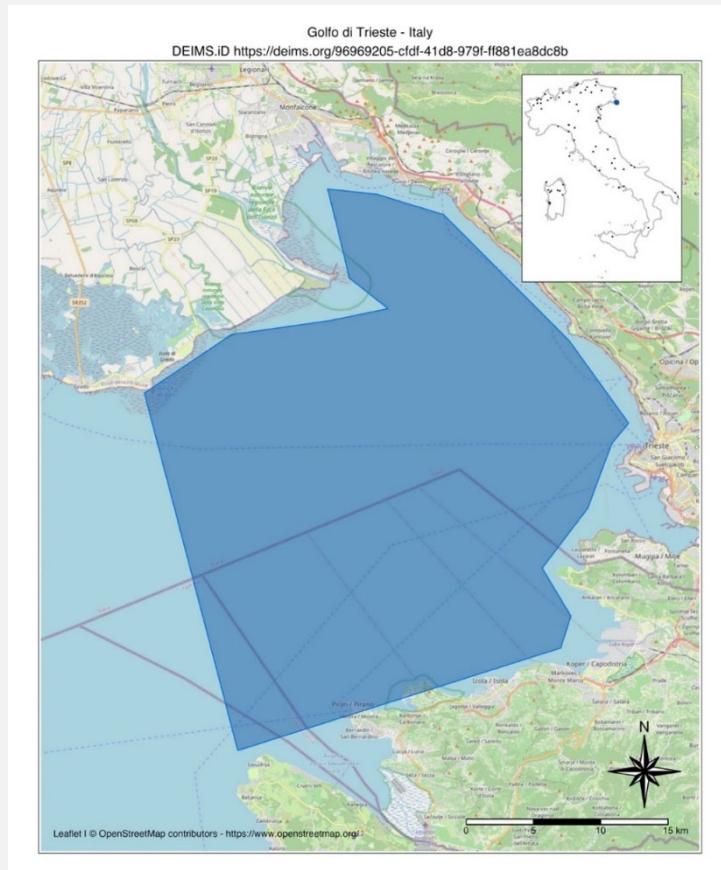
Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS).

Sigla: IT12-002-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/96969205-cfdf-41d8-979f-ff881ea8dc8b>

Responsabile sito: Bruno Cataletto.

Parole chiave: Serie a lungo termine, biodiversità, specie aliene, Mar Adriatico, sistemi osservativi, cicli biogeochimici.



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Golfo di Trieste si trova nella parte più settentrionale del Mare Adriatico ed è un bacino semichiuso con una superficie di circa 600 km² e una profondità massima di 25 metri.

L'area è soggetta a un notevole impatto antropico (apporti di nutrienti, urbanizzazione costiera, pesca, attività di molluscoltura, turismo, traffici marittimi, ecc.) e riceve consistenti apporti di acque dolci soprattutto dal fiume Isonzo. La condizione trofica è passata dall'eutrofia (anni '70-'80 del secolo scorso) con la presenza di diffuse e frequenti maree colorate alla meso-oligotrofia degli ultimi anni. Nel periodo intermedio si sono verificati frequenti ed estesi fenomeni di mucillagine.

L'area è stata oggetto di numerosissime ricerche a carattere ecologico e oceanografico, dalla seconda metà del secolo scorso, condotte da istituzioni nazionali e internazionali.

Le prime osservazioni regolari sulla struttura dei popolamenti planctonici nella stazione denominata



Fig. 4 - Stazione "C1" e boa mambo

"C1" (Fig. 4) risalgono ai primi anni '70, quando iniziarono gli studi sullo zooplancton del Golfo di Trieste. Dal 1986 ebbero inizio campionamenti mensili regolari per lo studio delle caratteristiche idrologiche, chimiche e biologiche (fitoplancton e zooplancton di diverse classi dimensionali).

Tutti i dati acquisiti a partire dal 1986 sono archiviati presso il National Oceanographic Data Center (NODC) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di

Geofisica Sperimentale. Dal 1999, il sito di ricerca ecologica è stato dotato di una boa meteo-oceanografica (MAMBO) al fine di acquisire dati in continuo sulle condizioni meteorologiche in mare e sulle proprietà fisiche e biogeochimiche dell'acqua di mare. Proprio a causa delle elevate dinamiche temporali dei processi ecologici negli ecosistemi costieri, solo l'afflusso in continuo e in tempo reale dei principali dati meteorologici e delle proprietà fisiche e biogeochimiche permette una comprensione ottimale del funzionamento degli ecosistemi marini.

Risultati

La lunga serie temporale di dati ecologici raccolti nel sito LTER ha permesso di documentare e studiare le cause dei diversi cambiamenti delle comunità planctoniche nel Golfo di Trieste (Fig. 5). Ciò sta consentendo di passare dal monitoraggio all'osservazione cercando di comprendere le connessioni tra scale temporali e spaziali diverse. Obiettivo finale è controllare per capire il funzionamento dell'ecosistema, per prevedere e monitorare fenomeni anomali (eventi di piena, mareggiate, fioriture di specie tossiche, sciamature di organismi nocivi, presenza di specie non indigene) di origine naturale o legati all'attività antropica lungo la costa.

Nell'ambito delle attività di divulgazione promosse dalla Rete LTER-Italia, ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE, unitamente al CNR-ISMAR di Venezia, ha organizzato, nell'estate 2016, un “Cammino LTER” (Bergami *et al.* 2018) che ha attraversato il macro-sito e ha collegato i siti di ricerca Golfo di Trieste, Golfo di Venezia e Laguna di Venezia. L'itinerario ha attraversato habitat marini, lagunari e terrestri in un percorso ecologico a basso impatto: a nuoto, in canoa e in bicicletta (Armeli Minicante *et al.* 2018). L'obiettivo principale dell'iniziativa, della durata complessiva di otto giorni, è stato quello di sensibilizzare i partecipanti sui temi della biodiversità e della complessità degli ecosistemi marini, terrestri e lagunari e della loro delicata gestione. In particolare, in ogni tappa, sono stati organizzati eventi pubblici rivolti ai cittadini e agli amministratori locali al fine di mettere in evidenza l'importanza degli studi ecologici a lungo termine per imparare a valutare lo stato degli ecosistemi e a fornire elementi per una migliore gestione degli stessi.

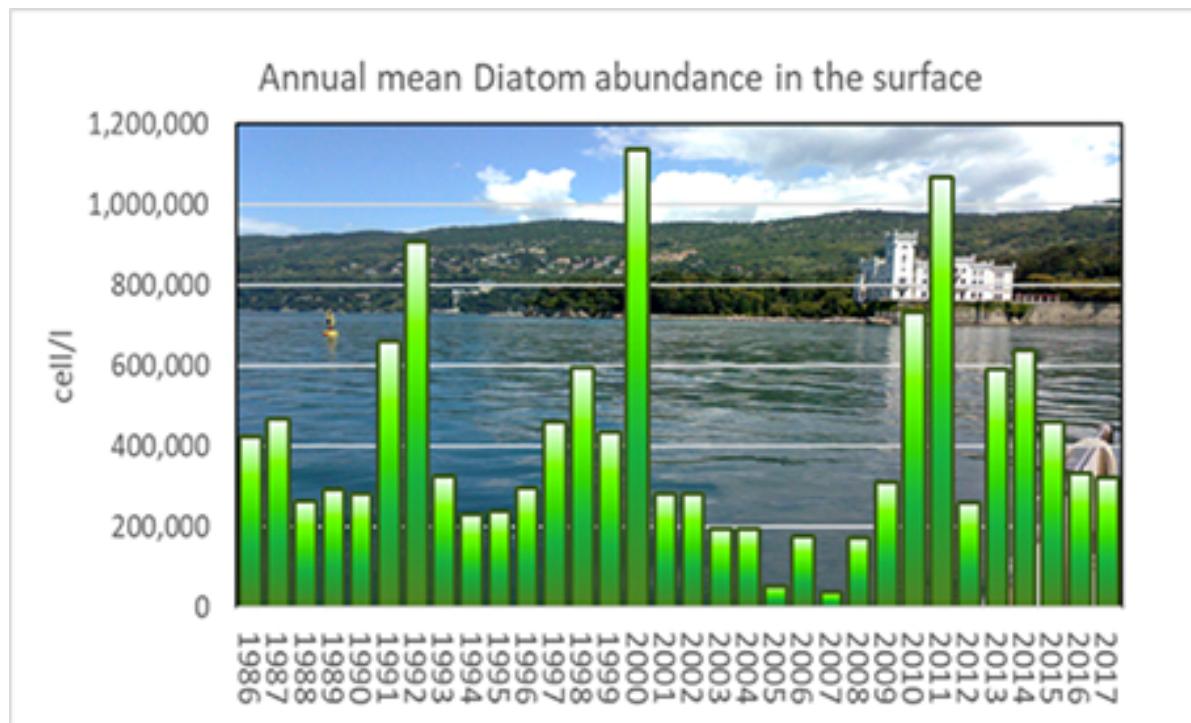


Fig. 5 - Abbondanza media annuale di Diatomee in superficie

Da diversi anni il Golfo di Trieste, come l'intero bacino Adriatico, è interessato dalla presenza sempre più numerosa del cosiddetto “plancton gelatinoso” e in particolare, in tempi recenti, dallo ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz A. 1865). La specie, originaria delle coste atlantiche del continente americano, venne osservata solo una volta nel bacino Adriatico nel mese di ottobre 2005, per poi non venir più segnalato per oltre 10 anni. Il suo ruolo nella rete trofica è estremamente importante, in quanto svolge un'intensa attività di predazione sulla componente planctonica, incluse le forme larvali di pesci anche di importanza commerciale come sardine e acciughe.

Prospettive future

Le attività di ricerca in atto sono dirette, oltre che a proseguire la serie storica di dati idrologici, biologici e biochimici, ad analizzare tematiche specifiche quali: il ciclo degli elementi biogenici, la trasformazione biochimica delle sostanze organiche, la struttura e la funzionalità delle comunità microbiche, gli effetti della CO₂ sui cicli biogeochimici e sulle comunità microbiche, le variazioni trofiche, le variazioni della struttura dei popolamenti planctonici e l'ecologia delle cosiddette specie aliene.

Si intende inserire il sito in una struttura interoperabile per la gestione di un sistema osservativo marino integrato in un'area, come il Golfo di Trieste e l'Adriatico Settentrionale, a consolidato know-how che

presenta un'elevata variabilità di habitat. Esiste infatti un patrimonio di conoscenze pregresse, di studi pilota, di stazioni di monitoraggio e di strumentazioni già funzionanti che possono essere collegati, integrati e valorizzati in un unico quadro infrastrutturale che porti ad una conoscenza piena, aggiornata e qualificata dello stato dell'ambiente marino e della sua evoluzione nel tempo.

Il progetto è stato già presentato con positivo riscontro al Ministero dell'Università e Ricerca, al Distretto Tecnologico Regionale Ditenave e alla Regione FVG per l'inserimento nel piano di attività della Macroregione Adriatico Ionica.

Abstract

The Gulf of Trieste is located in the northernmost part of the Adriatic Sea and is a semi-enclosed basin with an area of about 600 km² and a maximum depth of 25 meters. The first regular observations on the structure of planktonic populations in the station named "C1" (Fig. 1) date back to the early '70s, when they began their studies on the zooplankton of the Gulf of Trieste. Since 1986 regular monthly sampling has begun for the study of the hydrological, chemical and biological characteristics (phytoplankton and zooplankton of different size classes). All data acquired since 1986 are archived at the National Oceanographic Data Center (NODC) of ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE. Since 1999, the ecological research site has been equipped with a weather-oceanographic buoy (MAMBO) in order to acquire continuous data on weather conditions at sea and on the physical and biogeochemical properties of sea water. Precisely because of the high temporal dynamics of ecological processes in coastal ecosystems, only the continuous and real-time influx of the main meteorological data and of the physical and biogeochemical properties allows an optimal understanding of the functioning of marine ecosystems.

Delta del Po e Costa Romagnola

Autori

Mariangela Ravaioli¹, Caterina Bergami¹, Francesco Riminucci¹⁻², Lucilla Capotondi¹, Sonia Albertazzi¹, Alessandro Coluccelli³, Patrizia Giordano¹, Aniello Russo¹⁻³⁻⁴, Giuseppe Stanghellini¹, Leone Tarozzi¹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine (CNR-ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

² Consorzio PROAMBIENTE, Tecnopolo CNR Bologna, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

³ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della vita e dell'Ambiente (DISVA), Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.

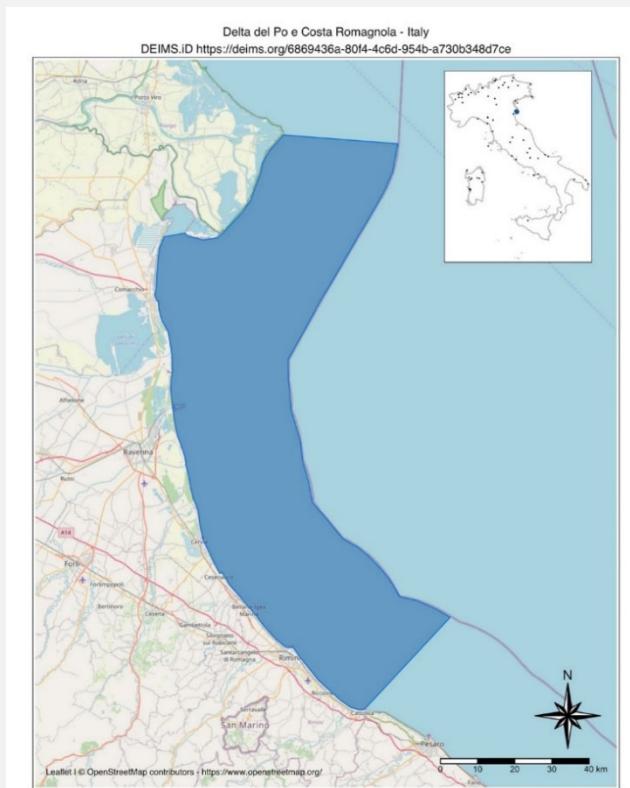
⁴ NATO Science and Technology Organization (STO), Centro per la ricerca e la sperimentazione marittima (CMRE), Viale San Bartolomeo 400, 19126 La Spezia, Italia.

Sigla: IT12-003-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/6869436a-80f4-4c6d-954b-a730b348d7ce>

Responsabile sito: Mariangela Ravaioli e Francesco Riminucci

Parole Chiave: Siti osservativi marini, Studi ecologici di lungo termine, biodiversità, Biogeochimica, ecologia, Paleoecologia, Modellistica.



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Le aree antistanti il Delta del Po e il litorale romagnolo sono fortemente influenzate dalla variabilità degli apporti di nutrienti e sostanza organica da parte del Po e dei suoi affluenti. Parallelamente questo tratto di costa è soggetto a una crescente urbanizzazione e alla presenza del turismo prevalentemente estivo. Spesso in mare si registrano estesi fenomeni di eutrofizzazione, fioriture algali e condizioni di ipossia/anossia.

Per lo studio e il monitoraggio di tali fenomeni a scala decadale, a partire dal 2004, sono stati installati nell'area due sistemi meteo-marini autonomi (Fig.6), grazie alle risorse finanziarie di numerosi Progetti Nazionali e Internazionali a carattere interdisciplinare (Prisma, Sinapsi, Adricosm, Anocsia, Interreg Requisite, Cipe, Emma Life+, Vector, Life+ EnvEurope, Progetto Bandiera Ritmare, FP7 Jerico, H2020 Jerico-Next, Marine Strategy Framework Directive, POR-FESR Informare, ecc.). I sistemi sono stati posizionati in due siti chiave per l'area: E1 al largo della città di Rimini e S1 a sud del delta del Po.

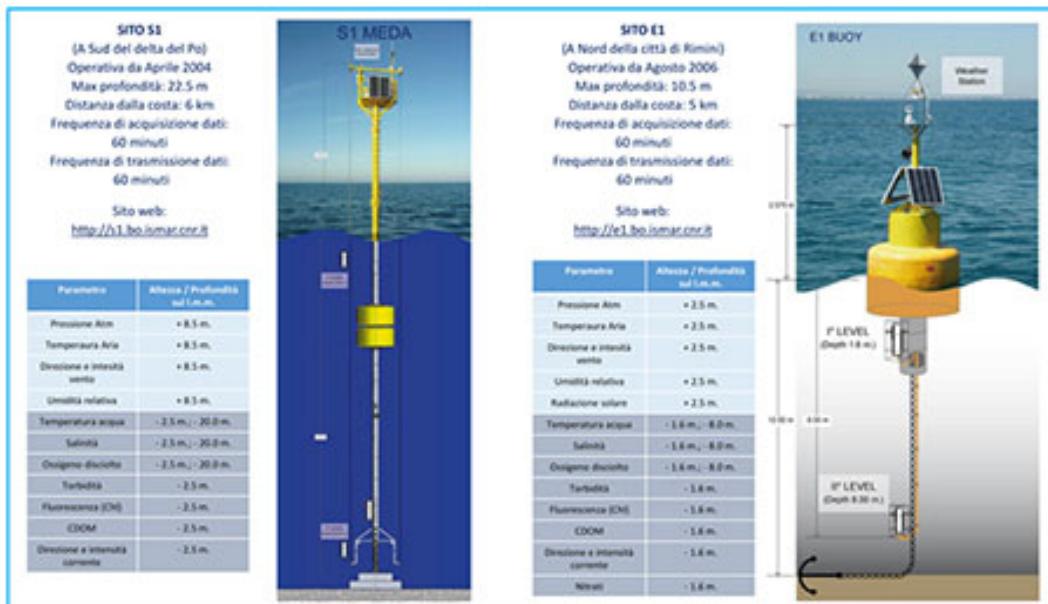


Fig. 6 - Configurazione dei sistemi Meda S1-GB e Boa E1 a novembre 2018

Nel sito S1 (Lat 44,74° N; Lon. 12,45° E), localizzato a S-E del delta del Po di Goro, è stata installata per la prima volta una boa meteo-oceanografica nel 2003 (operativa in maniera continuativa da marzo 2004) per monitorare il flusso principale del fiume Po e le sue interazioni con la circolazione del Mar Adriatico (Bortoluzzi *et al.* 2006). In quest'area sono stati studiati parametri sia biotici sia abiotici nel sedimento e lungo la colonna d'acqua. Nell'agosto 2015 la "Boa S1" è stata sostituita con un sistema a meda elastica strumentata e rinominata "Meda S1-GB" (Bastianini *et al.* 2017a, 2017b).

La boa meteo-oceanografica E1 è stata posizionata nell'agosto 2006 a nord di Rimini (Lat. 44,14° N; Lon. 12,57° E), con la finalità di comprendere i processi di anossia nei fondali dell'Emilia-Romagna, ottenere dati per validare modelli di previsione oceanografica (Russo *et al.* 2009) e implementare i database utilizzati dai Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS).

Le due stazioni, nate per acquisire principalmente parametri meteorologici (temperatura dell'aria, pressione atmosferica, direzione e intensità del vento, umidità relativa, radiazione solare) e oceanografici (temperatura del mare, salinità, direzione e intensità delle correnti, contenuto di ossigeno disciolto nell'acqua), sono state implementate nel tempo con strumentazione ottica per l'acquisizione di parametri ambientali e biologici (turbidità, clorofilla in fluorescenza, Colored Dissolved Organic Matter – CDOM – nitrati). Tale implementazione ha permesso di avviare collaborazioni con il gruppo di oceanografia

satellitare di ISMAR e con il Consorzio Proambiente (Böhm *et al.* 2015), ampliando le ricerche anche ad altre tematiche quali l'osservazione del colore del mare da telerilevamento da satellite.

I dati acquisiti dalle stazioni E1 ed S1-GB vengono trasmessi ogni ora al centro di calcolo del CNR-ISMAR di Bologna e collezionati nelle banche dati dedicate e disponibili sul web in tempo quasi reale (pagine: s1.bo.ismar.cnr.it, e1.bo.ismar.cnr.it). L'installazione dei due sistemi S1 (poi S1-GB) ed E1 ha permesso di acquisire dati meteorologici, fisici, chimici e biologici in continuo (cadenza media di acquisizione 60 minuti) dal 2004/2006 ad oggi.

L'integrazione dei dati misurati dai due sistemi con quelli relativi ai processi biogeochimici derivati da campagne di misurazione in tutto l'Adriatico, ha contribuito ad aumentare la conoscenza sui cambiamenti climatici dell'area adriatica centro-settentrionale.

Dal 2016 in entrambi i siti si conducono ricerche sulla distribuzione della fauna a foraminiferi bentonici nel sedimento, quale indicatore dello stato di salute dell'ambiente marino costiero.

Risultati

L'attività di ricerca nei siti E1 e S1 (poi S1-GB) è iniziata nei primi anni '90 su progettualità specifiche di ISMAR-CNR, sede di Bologna, per lo studio dei flussi biogeochimici e per il monitoraggio delle proprietà oceanografiche dell'area a sud del Po. L'installazione nei siti dei due sistemi autonomi E1 e S1 ha permesso di migliorare la qualità e la risoluzione temporale dei dati raccolti. Dalla costituzione del sito "Delta del Po e Costa Romagnola" e dal suo inserimento nelle reti LTER internazionale, Europea e italiana si sono sviluppate collaborazioni con i gruppi di ricerca attivi nella rete e nel macrosito (in particolare: ISMAR-CNR sede di Venezia, IRBIM-CNR – Sede Ancona, ISTITUTO NAZIONALE DI OCEANOGRAFIA E DI GEOFISICA SPERIMENTALE) sviluppando nell'area attività connesse agli studi ecologici a lungo termine (Es. Catalano *et al.* 2014).

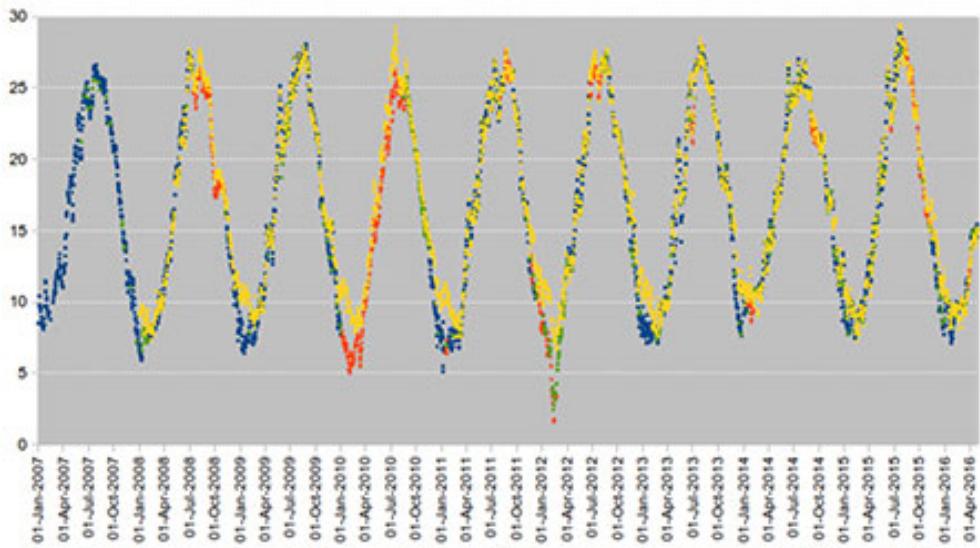


Fig. 7 - Medie giornaliere di SST nel sito E1 – anni 2007-2016 (In blu la media giornaliera da dati provenienti dai sensori posizionati sulla Boa E1; in rosso media giornaliera da dati del modello ROMS; in giallo dati da satellite ed in verde media giornaliera che integra dati orari da modello ROMS e da sensori su Boa E1)

Dal 2006 i siti E1 e S1 sono oggetto di campagne multidisciplinari congiunte per la raccolta di dati biotici e abiotici sulla colonna d'acqua e sul sedimento. Questi dati hanno permesso di affinare la modellistica biogeochimica ROMS, nata nel progetto EMMA Life+, validandola con dati raccolti nell'area "Delta del Po e Costa Romagnola" (Fig. 7). L'attività di validazione di modelli con dati raccolti nei siti E1 e S1 è stata estesa nel tempo alla previsione oceanografica (Russo *et al.* 2009; Guarneri *et al.* 2013) e atmosferica (Davolio *et al.* 2015). Dal 2012 è iniziata un'attività di validazione di metodi e algoritmi satellitari con misure bio-ottiche raccolte in-situ, in particolare per il parametro di clorofilla *a*, mediante

comparazione tra dati satellitari, misure da sensore ottico superficiale e analisi di laboratorio su campionamenti d'acqua (Böhm *et al.* 2015; Braga *et al.* 2017). Quest'attività sta proseguendo per i parametri CDOM, turbidità e nitrati nel sito E1. I sistemi E1 e S1-GB vengono visitati con cadenza bimestrale per effettuare le operazioni ordinarie di manutenzione e verifica dei sistemi. Nel corso di questa attività sono programmati i campionamenti sistematici sulla colonna d'acqua per la determinazione in laboratorio del contenuto di Total Suspended Matter (TSM), CDOM, nutrienti e clorofilla *a*. Dal 2016 si è aggiunto, a queste operazioni, il campionamento sistematico del fondo per studi sulla distribuzione della fauna a foraminiferi bentonici nel sedimento (Bastianini *et al.* 2017). Questa attività ha il duplice scopo di: i) utilizzare i foraminiferi come indicatori ambientali dello stato di salute dell'area e ii) studiare la variazione stagionale delle popolazioni.

Nel corso degli anni sono state promosse numerose iniziative di divulgazione scientifica, descrittive degli studi ecologici a lungo termine nell'area “Delta del Po e Costa Romagnola”, sia nelle scuole sia in diversi ambiti sociali attraverso conferenze, seminari, mostre e articoli in alcune testate giornalistiche nazionali e locali. Le varie azioni hanno avuto lo scopo principale di sensibilizzare e promuovere la tutela e la salvaguardia dell'ecosistema marino-costiero. I siti E1 ed S1-GB sono inseriti nella progettualità di ricerca industriale INFORMARE (POR-FESR 2014-2020, www.informare-er.it) il cui obiettivo è la creazione di un sistema informativo meteo-marino per il litorale dell'Emilia-Romagna. I dati delle stazioni E1 ed S1-GB e del modello ROMS sono utilizzati nelle applicazioni sviluppate nel progetto (Es. Informare Mobile) per informare i turisti della riviera Emiliano-romagnola sulle condizioni meteo-marine e creare servizi innovativi per le attività ricettive presenti sul territorio.

I dati ottenuti e le osservazioni effettuate dai due sistemi S1-GB ed E1 hanno contribuito e contribuiscono a numerosi progetti e reti sia nazionali che internazionali, tra questi:

- RITMARE – IFON (Rete Italiana di siti fissi per l'osservazione del mare, Ravaoli *et al.* 2016, 2017);
- JERICO-Next (Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatory – Novel European eXpertise for coastal observaTories, <http://www.jerico-ri.eu/>);
- Network INFORMARE (Network osservativo del sistema INFORMATivo integrato per il litorale Emiliano-Romagnolo, www.informare-er.it);
- COPERNICUS – Marine environment monitoring service (<http://marine.copernicus.eu/>);
- SeaDataNet – Pan-European infrastructure for ocean & marine data management (<https://www.seadatanet.org/>);
- EMODNet Chemistry (European Marine Observation and Data Network for Chemistry, <http://www.emodnet-chemistry.eu>);
- RMM – CNR-ISMAR (Rete Meteo Marina CNR-ISMAR, Menegon *et al.* 2016)
- GNOO (Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa).

Le principali collaborazioni comprendono: UNIVPM-DISVA (Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente), Proambiente S.c.r.l. – Tecnopolo Bologna CNR, HCMR (Institute of Oceanography Hellenic Centre for Marine Research), ISMAR-CNR – Sedi di Venezia, Trieste, Roma (Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche), IRBIM-CNR – Sede Ancona (Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche), ISAC-CNR (Istituto di scienze dell'atmosfera e del clima – Consiglio Nazionale delle Ricerche), INGV (Istituto nazionale di Geofisica e Vulcanologia), CMCC (Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici), ARPAE (Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna), Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, ASTER S. Cons. p. A. (Società consortile dell'Emilia-Romagna per l'innovazione e il trasferimento tecnologico), V.S.M (Volontari Soccorso in Mare – Rimini).

Abstract

The areas in front of the Po river delta and the Romagna coast are affected by wide eutrophication and mucilaginous phenomena by decades so they are considered favorable environments for the development of ipo-anoxic events. For these reason two fixed buoys (E1 and S1) has been installed with the aim to monitor and study these phenomena.

The site is equipped with two fixed stations: a meteo-oceanographic buoy (E1 buoy) off the coast of Rimini and an elastic beacon at the Po river delta equipped with meteo-oceanographic sensors (S1-GB beacon).

The fixed stations were deployed in the framework of multidisciplinary research projects that uses automated stations to study the marine environment, in cooperation between the Institute of Marine Science (ISMAR) in Bologna (CNR) and other public and governmental Research Institutes. The S1 buoy was installed in 2004 and then implemented being now an elastic beacon. The E1 buoy measures in near real-time meteo and physico-chemical oceanographic parameters at different depths in the water column every 5-10-15-30 minutes (atmospheric pressure, air temperature, relative humidity, wind speed, wind gust, wind direction, net solar radiation, water temperature, salinity, dissolved oxygen, fluorescence, turbidity, CDOM, nitrate, current speed and direction).

The data are transmitted via 3G and downloaded (on average every 60 minutes) at the Data Center of the Institute of Marine Science in Bologna. Data are daily validated and analysed, in order to be used for different studies.

The main purposes of the site are:

- Implementation of forecasting oceanographic model to detect and monitor ipo-anoxic events (modelling and forecasting of O₂ concentrations);
- climatologic study of the variability of the oceanographic properties of the Northern Adriatic sea;
- study of the Po River impact on the continental Adriatic Sea platform;
- study on the role of the seabed in the dystrophic processes of the Northern Adriatic sea;
- validate of ocean colour satellite observation;
- study of the recent benthic foraminiferal assemblages and their relationship to environmental variables.

Trassetto Senigallia-Susak

Autori

Federica Grilli¹, Mauro Marini¹, Tiziana Romagnoli², Mattia Betti¹, Giuseppe Caccamo¹, Alessandra Campanelli¹, Emanuela Frapiccini¹, Pierluigi Penna¹, Elio Paschini¹, Stefano Accoroni², Sonia Giulietti², Alessandro Coluccelli², Cecilia Totti²

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (CNR-IRBIM), Largo Fiera della Pesca 2, 60125 Ancona, Italia.

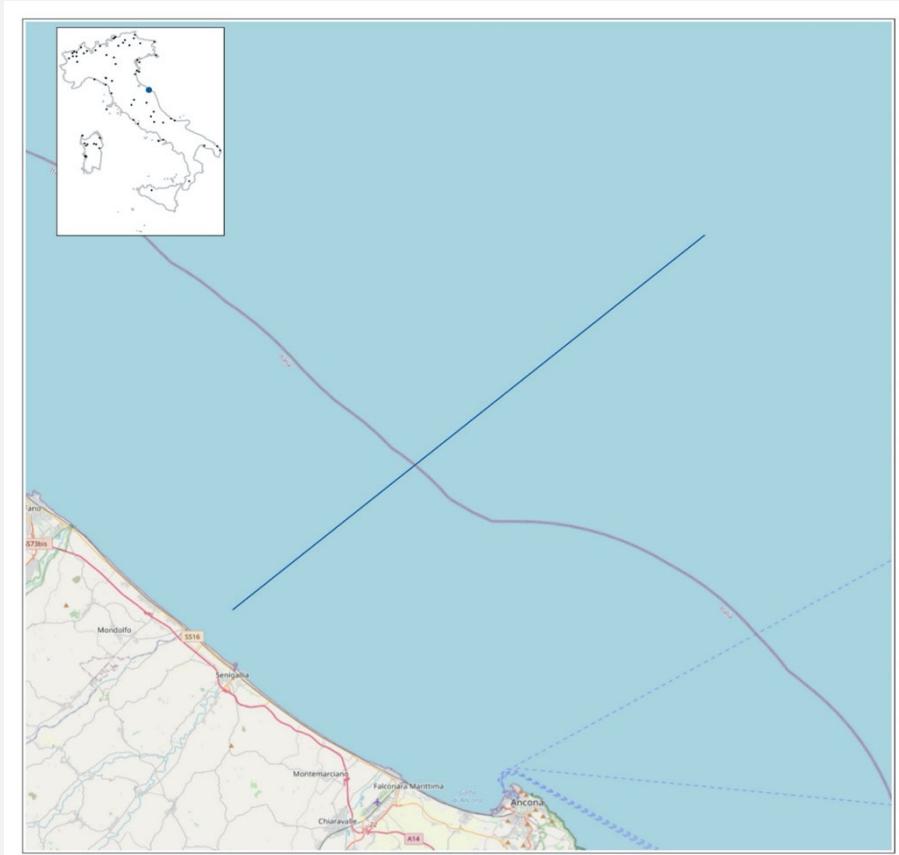
² Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della vita e dell'Ambiente (DISVA), Via Brecce Bianche, 60131, Ancona, Italia.

Sigla: IT12-004-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/be8971c2-c708-4d6e-a4c7-f49fcf1623c1>

Responsabile sito: Federica Grilli.

Parole Chiave: Mare Adriatico, Siti osservativi marini, Serie a lungo termine, Fitoplancton, Biodiversità, Biogeochimica.



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il transetto Senigallia-Susak (SS) è situato nel basso Adriatico settentrionale e si estende dalla zona costiera occidentale posta di fronte la città di Senigallia fino all'area costiera orientale prospiciente l'isola di Susak (Fig. 8). Il transetto è costituito da 14 stazioni dalla costa italiana alla costa croata. Il CNR-IRBIM (ex ISMAR) di Ancona e il DiSVA (Università Politecnica delle Marche) raccolgono dal 1988 ad oggi dati idrologici, chimici e biologici (temperatura, salinità, densità, torbidità, fluorescenza, ossigeno dissolto, nutrienti e fitoplancton) dal 1988 al 1998 su metà transetto (ovvero in 7 stazioni, dalla costa italiana alla mid-line a circa 30 miglia nautiche) e dal 1999 al 2002 sull'intero transetto. Il campionamento sta proseguendo con cadenza pressoché bimestrale su metà transetto dal 2002 fino ad oggi.

La stazione costiera occidentale (SG1, 1.2 nM, fondo 12 m) è quella campionata più di frequente e i dati sono raccolti con cadenza pressoché mensile. In tale stazione è posizionata dal 1988 la meda meteomarina teleSenigallia che misura e registra autonomamente parametri meteo-oceanografici (dati acquisiti ogni 10 minuti) che sono trasmessi sul web in real time (Ravaioli *et al.* 2016). I dati meteo registrati consistono in velocità, raffica, temperatura, umidità e pressione dell'aria mentre i dati registrati dai sensori oceanografici posti alla profondità di 2m, 5m e 12m consistono in temperatura, salinità, clorofilla, torbidità, CDOM (Colored Dissolved Organic Matter), corrente di fondo e livello del mare. Tali dati sono stati resi disponibili per la rete LTER dal 2018.

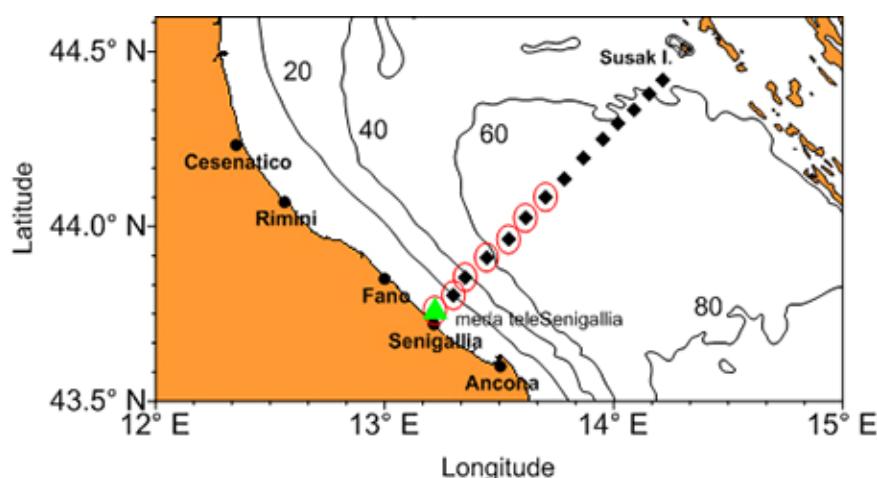


Fig. 8 - Transetto di Senigallia-Susak (cerchiati in rosso le stazioni attualmente monitorate) e posizione della meda teleSenigallia (triangolo verde)

eccellente sito di osservazione per le acque che transitano dentro e fuori l'Alto Adriatico. In particolare, la parte più costiera del transetto (fino a ca 6 nM) è attraversata dalla Western Adriatic Coastal Current (WACC) che, fluendo verso sud lungo la costa italiana, trasporta le acque continentali provenienti dai grandi fiumi del nord, in particolare dal Po (Grilli *et al.* 2005). Tali acque continentali influenzano profondamente le dinamiche fisiche e chimiche e i processi biologici condizionando la circolazione e l'apporto di nutrienti (Degobbis & Gilmartin 1990; Marini *et al.* 2002, 2008; Campanelli *et al.* 2011). Le stazioni da 6 a 30 nM permettono di caratterizzare i parametri idrobiologici delle acque del largo, caratterizzate da una marcata oligotrofia.

Risultati

L'analisi dei dati oceanografici storici, che ricade quindi nel campo delle indagini climatologiche, è utile per investigare le possibili anomalie nelle caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche e per poter fare delle valutazioni sulle tendenze evolutive dell'ecosistema marino nell'intero bacino adriatico.

Lungo il transetto si osserva il passaggio dell'acqua densa che si forma nel Nord Adriatico nei mesi invernali (NAdDW-Nord Adriatic Dense Water). La presenza della NAdDW, legata al raffreddamento superficiale del nord Adriatico in inverno a causa della bora, è stata osservata in modo evidente lungo il transetto negli anni 1999, 2000, 2002, 2004, 2012 e 2017 con valori di densità sul fondo superiori a 29.2 kg m⁻³. Questo raffreddamento causa un forte aumento di densità che provoca l'affondamento della massa d'acqua che poi scorre sul fondo del lato occidentale del Mar Adriatico intercettando il transetto

SS. La Fig. 9 illustra l'evoluzione temporale dei valori di densità rilevati sul fondo delle sette stazioni monitorate durante gli anni 1998-2017.

Sul lato occidentale del transetto è ben visibile anche il segnale di acqua dolce (Campanelli *et al.* 2011) proveniente dai fiumi dell'Italia settentrionale, il fiume Po in particolare, che si amplifica negli anni in cui

si verificano portate eccezionali come a ottobre-novembre del 2000.

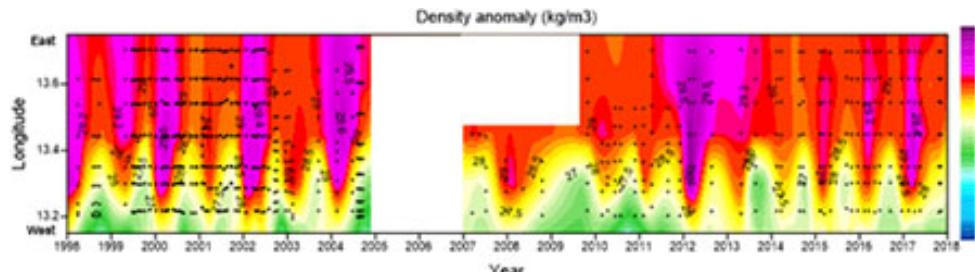


Fig. 9 - Tranetto Senigallia-Susak: evoluzione pluriennale dei valori di densità (kg m^{-3} ; strato di fondo) nelle prime sette stazioni

lungo il transetto. La Fig. 10 mostra ad esempio l'andamento temporale della temperatura alla profondità di 5m registrata negli anni 2013-2017. Si può evidenziare un andamento piuttosto regolare negli anni con un valore minimo registrato nell'inverno 2016 e un valore massimo registrato nell'estate 2017.

L'analisi di serie storiche di fitoplancton e dei parametri chimici, fisici e meteorologici nella stazione costiera occidentale ha messo in evidenza alcuni eventi significativi: nel periodo 1988-2002 caratterizzato da lunghi periodi di alta pressione a inizio inverno (Totti *et al.* 2002), il ciclo annuale medio del fitoplancton era caratterizzato da una intensa fioritura a diatomee a inizio inverno (gennaio) che rappresentava l'evento più significativo dell'anno, cui seguivano una fioritura primaverile e una autunnale le cui intensità erano fortemente influenzate dal regime delle piogge; il periodo estivo era caratterizzato dalla comparsa di estesi aggregati mucillaginosi in tutto in nord Adriatico e la comunità fitoplanctonica

presentava i valori minimi: le dinoflagellate raggiungevano il loro massimo annuale, ma la comunità era dominata da fitoflagellate e diatomee

che erano presenti con specie di grossa taglia tipiche degli aggregati mucillaginosi (Totti *et al.* 2005). Nel periodo 2002-2007 a causa di una prolungata siccità il regime delle portate del Po è drasticamente diminuito riflettendosi in un forte calo delle biomasse fitoplanctoniche. Nell'ultima decade importanti cambiamenti si sono verificati nella struttura di comunità e nel ciclo stagionale del fitoplancton, come conseguenza dell'aumento di eventi meteorologici eccezionali. Le concentrazioni di nutrienti inorganici e le abbondanze fitoplanctoniche sono aumentate significativamente rispetto al periodo 1988-2002 e il ciclo annuale del fitoplancton ha mostrato che fioriture improvvise ed eccezionali si verificavano nel corso dell'anno con irregolarità, come conseguenza degli eventi meteorologici intensi (Totti *et al.* 2019). Mentre l'abbondanza delle diatomee aumentava in modo significativo nell'ultima decade, quella dei cocolitofori diminiva, in particolare nel periodo invernale. L'analisi dei taxa indicatori delle diverse stagioni ha messo in evidenza profonde modificazioni nelle specie più significative di ciascuna stagione.



Fig. 10 - Andamento temporale della temperatura ($^{\circ}\text{C}$) dell'acqua a circa 5 m dalla superficie registrata nella meda meteo-marina teleSenigallia

Prospettive future

Si intende continuare il campionamento e le analisi dei parametri fisici chimici e biologici introducendo l'analisi del fosforo organico e del fosforo totale utile per comprendere la dinamica del fitoplancton in condizioni di forte limitazione da P inorganico. Per quanto riguarda le comunità fitoplanctoniche, all'analisi tradizionale con il metodo di microscopia si sono affiancate metodologie molecolari volte a risolvere l'identificazione di specie criptiche di grande interesse ecologico quali ad esempio quelle del genere *Pseudo-nitzschia*.

I dati ottenuti e le osservazioni effettuate hanno contribuito e contribuiscono a numerosi progetti e reti sia nazionali che internazionali:

- RITMARE – IFON (Rete Italiana di siti fissi per l'osservazione del mare, Ravaioli *et al.* 2016);
- JERICO (Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatory – Novel European eXpertise for coastal observaTories, <http://www.jerico-ri.eu/>);
- SeaDataNet – Pan-European infrastructure for ocean & marine data management (<https://www.seadatanet.org/>);
- EMODNet Chemistry (European Marine Observation and Data Network for Chemistry, <http://www.emodnet-chemistry.eu>);
- RMM – CNR-ISMAR (Rete Meteo Marina CNR-ISMAR, Menegon *et al.* 2016)
- GNOO (Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa).

Le principali collaborazioni comprendono: UNIVPM-DISVA (Università Politecnica delle Marche – Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente), ISMAR-CNR – Sedi di Venezia, Trieste, Bologna (Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche), IRBIM-CNR – Sede Lesina (Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche), Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Consorzio Proambiente S.c.r.l. (Bologna).

Abstract

The Senigallia-Susak (SS) transect is located in the lower part of the northern Adriatic sub-basin. The CNR-IRBIM (ex ISMAR) of Ancona and the DiSVA (Università Politecnica delle Marche) have collected since the end of years '80s physical, chemical and biological data along the transect. The SS transect is an excellent observing site to analyse the characteristics of water masses entering and leaving the North Adriatic Sea and their possible modifications. Physical parameters, nutrient concentration and phytoplankton abundance and biomass were collected monthly from 1988 to 2002 and bimonthly thereafter until today. The teleSenigallia pylon is equipped with a meteorological station and several oceanographic sensors at water depth of 5m, and is located at the western station of the SS transect in a key area to observe near-coastal processes (upwelling, stratifications, biological productivity) and the water masses transiting from or towards the northern Adriatic.

Bibliografia citata nel testo

- Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Camatti E., Bergami C., Boldrin A., De Lazzari A., Finotto S., Minelli A., Oggioni A., Pansera M., Sarretta A., Socal G. and Pugnetti A. (2019). LTER Northern Adriatic Sea (Italy) marine data from 1965 to 2015 [Data set], Zenodo, <https://doi.org/10.5281/zenodo.3266246>.
- Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Camatti E., Boldrin A., Bergami C., Cassin D., De Lazzeri A., Finotto S., Minelli A., Oggioni A., Pansera M., Sarretta A., Socal G. and Pugnetti A. (2020). A long term (1965-2015) ecological marine database from the LTER-Italy site Northern Adriatic Sea: plankton and oceanographic observations, Earth System Science Data, 12(1), 215-230. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-12-215-2020>.
- Armeli Minicante S., Bastianini M., Sassetto G., Cataletto B., Del Negro P. (2018). Terramare – Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna. In: Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6. DOI: 10.32018/978888080304-1.
- Bastianini M., Riminucci F., Capondi L., Barra E., Pasqual S., Casotti R., Trano A.C., Van Dijk M., Mauro C., Fabbro C. (2017a). Rapporto sulle attività oceanografiche, biologiche, geologiche e di manutenzione della stazione meda S1-GB svolte durante la campagna oceanografica LTER-ANOC16 (26-30 aprile 2016) con N/O Dallaporta nel Mare Adriatico settentrionale. Rapporto Tecnico CNR-ISMAR, N° 145, pp. 1-27, DOI: 10.13140/RG.2.2.22197.68326.
- Bastianini M., Riminucci F., Pansera M., Coluccelli A., Casotti R., Dal Passo E., Datto L., Van Dijk M., Russo E., Titocci J., Pazzaglia J., Virgili S. (2017b). Rapporto sulle attività biologiche, oceanografiche, geologiche e di manutenzione della stazione Boa E1 svolte durante la campagna INTERNOS17 (14-21 marzo 2017) con N/O Minerva Uno nel Mare Adriatico centro-settentrionale. Rapporto Tecnico CNR-ISMAR N° 146, 2017, pp. 1-37. DOI: 10.13140/RG.2.2.24714.26569.
- Benedetti-Cecchi L., Crowe T., Boehme L., Boero F., Christensen A., Grémare A., Hernandez F., Kromkamp J.C., Nogueira García E., Petihakis G., Robidart J., Sousa Pinto I. & Zingone A. (2018). Strengthening Europe's Capability in Biological Ocean Observations. Muñiz Piniella, Á., Kellett, P., Larkin, K., Heymans, J.J. Eds. Future Science Brief 3 of the European Marine Board, Ostend, Belgium. 76 pp. ISBN: 9789492043559, ISSN: 2593-5232.
- Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6. DOI: 10.32018/978888080304-1.
- Bernardi Aubry F., Cossarini G., Acri F., Bastianini M., Bianchi F., Camatti E., De Lazzari A., Pugnetti A., Solidoro C., Socal G. (2012). Plankton communities in the northern Adriatic Sea: Patterns and changes over the last 30 years. Estuar Coast Shelf Sci 115:125-137.
- Böhm E., Riminucci F., Bortoluzzi G., Colella S., Acri F., Santoleri R., Ravaioli M. (2015). Operational use of continuous surface fluorescence measurements off shore Rimini to validate satellite-derived chlorophyll observations. Journal of Operational Oceanography, 9 (S1), 167-175. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1117763.
- Boldrin A., Carniel S., Giani M., Marini M., Bernardi Aubry F., Campanelli A., Grilli F., Russo A. (2009). Effects of bora wind on physical and biogeochemical properties of stratified waters in the northern Adriatic. Journal of Geophysical Research, VOL. 114, C08S92. DOI: 10.1029/2008JC004837.
- Bortoluzzi G., Frascari F., Giordano P., Ravaioli M., Stanghellini G., Coluccelli A., Biasini G. and Giordano A. (2006). The S1 Buoy station, Po River Delta: data handling and presentation. Acta Adriatica, 47(Suppl):113-131.
- Braga F., Zaggia L., Bellafiore D., Bresciani M., Giardino C., Lorenzetti G., Maicu F., Manzo C., Riminucci F., Ravaioli M., Brando V.E. (2017). Mapping turbidity patterns in the Po river prodelta

-
- using multi temporal Landsat 8 imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2016.11.003>.
- Campanelli A., Grilli F., Paschini E., Marini M. (2011). The influence of an exceptional Po River flood on the physical and chemical oceanographic properties of the Adriatic Sea. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, 52: 284-297.
- Catalano G., Azzaro M., Bastianini M., Bellucci L.G., Bernardi Aubry F., Bianchi F., Burca M., Cantoni C., Caruso G., Casotti R., Cozzi S., Del Negro P., Fonda Umani S., Giani M., Giuliani S., Kovacevic V., La Ferla R., Langone L., Luchetta A., Monticelli L.S., Piacentino S., Pugnetti A., Ravaioli M., Socal G., Spagnoli F., Ursella L. (2014). The carbon budget in the northern adriatic sea, a winter case study. *J Geophys Res G Biogeosciences* 119:1399-1417.
- Davolio S., Stocchi P., Benetazzo A., Böhm E., Riminucci F., Ravaioli M., Li X.-M., Carniel S. (2015). Exceptional Bora outbreak in winter 2012: Validation and analysis of high-resolution atmospheric model simulations in the northern Adriatic area, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, pp. 1-20, DOI: information: 10.1016/j.dynatmoce.2015.05.002.
- Degobbis D., Gilmartin M. (1990). Nitrogen, phosphorus and biogenic silicon budgets for the Northern Adriatic Sea. *Oceanologica Acta*, 13: 31-45.
- Giani M., Djakovac T., Degobbis D., Cozzi S., Solidoro C. and Fonda Umani S. (2012). Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 115, 1-13, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.08.023>.
- Grilli F., Paschini E., Precali R., Russo A., Supic N. (2005). Circulation and horizontal fluxes in the northern Adriatic Sea in the period June 1999July 2002 Part I: Geostrophic circulation and current measurement. *Science of the Total Environment*, 353: 115-25.
- Guarnieri A., Pinardi N., Oddo P., Bortoluzzi G. and Ravaioli M. (2013). Impact of tides in a baroclinic circulation model of the Adriatic Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 166-183. DOI: 10.1029/2012JC007921.
- Marini M., Fornasiero P. & Artegiani A. (2002). Variations of hydrochemical features in the coastal waters of Monte Conero: 1982-1990. *Mar. Ecol.*, 23(1): 258-271.
- Marini M., Jones B.H., Campanelli A., Grilli F., Lee C.M. (2008). Seasonal variability and Po River plume influence on biochemical properties along western Adriatic coast. *Journal of Geophysical Research*, 113, C05S90. DOI: 10.1029/2007JC004370.
- Marini M., Grilli F., Guarnieri A., Jones B. H., Klajic Z., Pinardi N., Sanxhaku M. (2010). Is the southeastern Adriatic Sea coastal strip an eutrophic area? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, Vol. 88, Issue 3, 395-406. DOI: 10.1016/j.ecss.2010.04.020.
- Menegon S., Penna P., Bastianini M., Stanghellini G., Riminucci F., Minuzzo T., Sarretta A. (2016). CNR-ISMAR in situ observations network: new approaches for an interactive, high performance, interoperable system, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 57(Supplement), (2016), 104-105, ISSN: 0006-6729.
- Minelli A., Oggioni A., Pugnetti A., Sarretta A., Bastianini M., Bergami C., Bernardi Aubry F., Camatti E., Scovacricchi T., Socal G. (2018). The project EcoNAOS: vision and practice towards an open approach in the Northern Adriatic Sea ecological observatory. *Research Ideas and Outcomes* 4: e24224. <https://doi.org/10.3897/rio.4.e24224>.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the

-
- freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of the Total Environment*, 627: 373-387.
- Mozetic P., Solidoro C., Cossarini G., Socal G., Precali R., Francé J., Bianchi F., De Vittor C., Smoldlaka N. and Umani S.F. (2010). Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series, *Estuaries and Coasts*, 33, 362-375, <https://doi.org/10.1007/s12237-009-9191-7>.
- Oggioni A., Tagliolato P., Fugazza C., Pepe M., Menegon S., Pavesi F., Carrara P. (2017). Interoperability in Marine Sensor Networks through SWE Services: The RITMARE Experience. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0700-0.ch009>.
- Poulain P.M., Raicich F. (2001). Forcings. In: Cushman-Roisin B., Gačić M., Poulain PM., Artegiani A. (eds) *Physical Oceanography of the Adriatic Sea*. Springer, Dordrecht DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-015-9819-4_2.
- Ravaiali M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., Di Sarra A., Aracri S., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D'Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Misericocchi S., Paschini E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2016). The RITMARE Italian Fixed-point Observatory Network (IFON) for marine environmental monitoring: a case study. *Journal of Operational Oceanography*, 9 (S1), 201-214. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1114806.
- Russo A., Coluccelli A., Iermano I., Falcieri F., Ravaiali M., Bortoluzzi G., Focaccia P., Stanghellini G., Ferrari C.R., Chiggiato J., Deserti M. (2009). An operational system for forecasting hypoxic events in the northern Adriatic Sea. *Geofizika*. 26(2):191-212.
- Socal G., Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bianchi F., Cassin D., Coppola J., De Lazzari A., Bandelj V., Cossarini G. & Solidoro C. (2008). Hydrological and Biogeochemical Features of the Northern Adriatic Sea in the Period 2003-2006. *Marine Ecology* 29:449-68.
- Solidoro S., Bastianini M., Bandelj V., Codermatz R., Cossarini G., Melaku Canu D., Ravagnan E., Salon S. & Trevisani S. (2009). Current State, Scales of Variability and Decadal Trends of Biogeochemical Properties in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research* 114.
- Totti C., Marzocchi M., Cucchiari E.M., Romagnoli T., Barletta D., Artegiani A., Solazzi A. (2002). The winter diatom bloom of the northern Adriatic Sea: long-term recurrence (1979-2001) and possible relationships with climate, in: 2nd National Conference SINAPSI, Climate Variability and Effects on the Mediterranean Marine Ecosystems. Portonovo (Ancona) 13-15 May 2002.
- Totti C., Cangini M., Ferrari C., Kraus R., Pompei M., Pugnetti A., Romagnoli T., Vanucci S., Socal G. (2005). Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea. *Science of the Total Environment*, 353: 204-217.
- Totti C., Romagnoli T., Accoroni S., Coluccelli A., Pellegrini M., Campanelli A., Grilli F., Marini M. (2019). Phytoplankton communities of the northern Adriatic Sea: interdecadal variability over a 30 years period (1988-2016) and possible relationships with meteoclimatic drivers. *Journal of Marine Systems*, 193, 137-153. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.01.007>.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Bibliografia Golfo di Venezia

Lavori ISI

- Appiotti F., Krželj M., Russo A., Ferretti M., Bastianini M., Marincioni F. (2014). A multidisciplinary study on the effects of climate change in the northern Adriatic Sea and the Marche region (central Italy). *Reg Environ Chang* 14:2007-2024.

-
- Armeli Minicante S., Piredda R., Quero G.M., Finotto S., Bernardi Aubry F., Bastianini M., Pugnetti A., Zingone A. (2019). Habitat heterogeneity and connectivity: effects on the planktonic protist community structure at two adjacent coastal sites (the Lagoon and the Gulf of Venice, Northern Adriatic Sea, Italy) revealed by metabarcoding. *Front. Microbiol.* 10:2736. doi: 10.3389/fmicb.2019.02736.
- Bastianini M., Cavaleri L., La Rocca T. (2012). An extreme meteorological event at the ISMAR oceanographic tower. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 12:281-285.
- Bastianini M., Totti C., Penna A., De Lazzari A., Montresor M. (2016). Dinoflagellate cyst production in the north-western Adriatic Sea. *Mediterr Mar Sci* 17.
- Bearzi G., Azzellino A., Politi E., Costa M. & Bastianini M. (2008). Influence of Seasonal Forcing on Habitat Use by Bottlenose Dolphins *Tursiops Truncatus* in the Northern Adriatic Sea. *Ocean Science Journal* 43:175-82.
- Bernardi Aubry F., Berton A., Bastianini M., Bertaggia R., Baroni A. and Socal G. (2000). Dinophysis seasonal dynamics in the coastal waters of the NW Adriatic Sea (1990-1996). *Botanica Marina*, 43: 423-430.
- Bernardi Aubry F., Berton A., Bastianini M., Socal G. and Acri F. (2004). Phytoplankton succession in a coastal area of the NW Adriatic over a 10-year sampling period (1990-1999). *Cont. Shelf Res.*, 24: 97-115.
- Bernardi Aubry F., Acri F., Bastianini M., Bianchi F., Cassin D., Pugnetti A. & Socal G. (2006). Seasonal and Interannual Variations of Phytoplankton in the Gulf of Venice (Northern Adriatic Sea). *Chemistry and Ecology* 22:71-91.
- Bernardi Aubry F., Cossarini G., Acri F., Bastianini M., Bianchi F., Camatti E., De Lazzari A., Pugnetti A., Solidoro C., Socal G. (2012). Plankton communities in the northern Adriatic Sea: Patterns and changes over the last 30 years. *Estuar Coast Shelf Sci* 115:125-137.
- Bernardi Aubry F., Falcieri F.M., Chiggiato J., Boldrin A., Luna G.M., Finotto S., Camatti E., Acri F., Sclavo M., Carniel S., Bongiorni L. (2018). Massive shelf dense water flow influences plankton community structure and particle transport over long distance. *Sci Rep*:1-13.
- Boldrin A., Carniel S., Giani M., Marini M., Bernardi Aubry F., Campanelli A., Grilli F., Russo A. (2009). Effects of bora wind on physical and biogeochemical properties of stratified waters in the northern Adriatic. *Journal of Geophysical Research*, VOL. 114, C08S92. DOI: 10.1029/2008JC004837.
- Camatti E., Comaschi A., de Olazabal A., Fonda Umani S. (2008). Annual dynamics of the mesozoo plankton communities in a highly variable eco system (North Adriatic Sea, Italy). *Mar Ecol*, 29: 387-398.
- Catalano G., Azzaro M., Bastianini M., Bellucci L.G., Aubry F.B., Bianchi F., Burca M., Cantoni C., Caruso G., Casotti R., Cozzi S., Negro P.D., Umani S.F., Giani M., Giuliani S., Kovacevic V., La Ferla R., Langone L., Luchetta A., Monticelli L.S., Piacentino S., Pugnetti A., Ravaoli M., Socal G., Spagnoli F., Ursella L. (2014). The carbon budget in the northern adriatic sea, a winter case study. *J Geophys Res G Biogeosciences* 119:1399-1417.
- Celussi M., Paoli A., Bernardi Aubry F., Bastianini M., Del Negro P. (2008). Diel microbial variations at a coastal Northern Adriatic station affected by Po River outflows. *Estuar Coast Shelf Sci* 76:36-44.
- Celussi M., Fabbro C., Bastianini M., Urbani R., Del Negro P. (2015). Polysaccharide degradation and utilisation during a spring phytoplankton bloom in the northwestern Adriatic Sea. *Hydrobiologia* 757:209-222.
- Del Negro P., M. Celussi E. Crevatin A. Paoli F. Bernardi Aubry F. & Pugnetti A. (2008). Spatial and Temporal Prokaryotic Variability in the Northern Adriatic Sea. *Marine Ecology* 29:375-86.
- Depellegrin D., Bastianini M. Fadini A., Menegon S. (2020). The effects of COVID-19 induced lockdown measures on maritime settings of a coastal region *Science of the Total Environment*,740, 140123. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140123.

-
- Djakovac T., Supi N., Bernardi Aubry F., Degobbis D., Giani M. (2014). Mechanisms of hypoxia frequency changes in the northern Adriatic Sea during the period 1972 – 2012. *J Mar Syst*:1-11.
- Fedele F., Gallego G., Yezzi A., Benetazzo A., Cavaleri L., Sclavo M., Bastianini M. (2011). Euler characteristics of oceanic sea states. *Math Comput Simul*.
- Ianora A., Bastianini M., Carotenuto Y., Casotti R., Roncalli V., Miraldo A., Romano G., Gerecht A., Fontana A., Turner J.T. (2015). Non-volatile oxylipins can render some diatom blooms more toxic for copepod reproduction. *Harmful Algae* 44:1-7.
- Lauritano C., Romano G., Roncalli V., Amoresano A., Fontanarosa C., Bastianini M., Braga F., Carotenuto Y., Ianora A. (2016). New oxylipins produced at the end of a diatom bloom and their effects on copepod reproductive success and gene expression levels. *Harmful Algae* 55.
- Magaletti E., Garaventa F., David M., Castriota L., Kraus R., Luna G.M., Silvestri C., Forte C., Bastianini M., Falautano M., Maggio T., Rak G., Gollasch S. (2018). Developing and testing an Early Warning System for Non Indigenous Species and Ballast Water Management. *J Sea Res* 133:100-111.
- Marini S., Cognati L., Mantovani C., Bastianini M., Ottaviani E., Fanelli E., Aguzzi J., Griffa A., Poulain P.-M. (2018). Automated estimate of fish abundance through the autonomous imaging device GUARD1. *Meas J Int Meas Confed* 126:72-75.
- Minelli A., Sarretta A., Oggioni A., Bergami C., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Camatti E. and Pugnetti, A. (2021). Opening Marine Long-Term Ecological Science: Lesson Learned From the LTER-Italy Site Northern Adriatic Sea. *Front. Mar. Sci.* 8:659522. doi: 10.3389/fmars.2021.659522.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallai M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Sci Total Environ* 627:373-387.
- Mozetič P., Solidoro C., Cossarini G., Socal G., Precali R., Francé J., Bianchi F., Smolaka N., De Vittor C., Fonda Umani S. (2009). Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series. *Estuar Coast*. 33, 362-375.
- Mozetič P., Cangini M., Francé J., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bužančić M., Cabrini M., Cerino F., Čalić M., D'Adamo R., Drakulović D., Finotto S., Fornasaro D., Grilli F., Kraus R., Kužat N., Marić Pfannkuchen D., Ninčević Gladan Ž., Pompei M., Rotter A., Servadei I., Skejić S. (2017). Phytoplankton diversity in Adriatic ports: Lessons from the port baseline survey for the management of harmful algal species. *Mar Pollut Bull*.
- Norici A., Bazzoni A.M., Pugnetti A., Raven J.A. & Giordano M. (2011). Impact of Irradiance on the C Allocation in the Coastal Marine Diatom Skeletonema Marinoi Sarno and Zingone. *Plant, Cell & Environment* 34:1666-77.
- Oggioni A., Tagliolato P., Fugazza C., Pepe M., Menegon S., Pavesi F., Carrara P. (2017). Interoperability in Marine Sensor Networks through SWE Services: The RITMARE Experience, <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0700-0.ch009>.
- Penna A., Casabianca S., Perini F., Bastianini M., Riccardi E., Pigozzi S., Scardi M. (2012). Toxic Pseudo-nitzschia spp. in the northwestern Adriatic Sea: characterization of species composition by genetic and molecular quantitative analyses. *J Plankton Res* 0:1-15.
- Piazzola J., Mihalopoulos N., Canepa E., Tedeschi G., Prati P., Zarmpas P., Bastianini M., Missamou T., Cavaleri L. (2016). Characterization of aerosols above the Northern Adriatic Sea: Case studies of offshore and onshore wind conditions. *Atmos Environ* 132:153-162.

-
- Pugnetti A., Acri F., Alberighi L., Barletta D., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Berton A., Bianchi F., Socal G., Totti C. (2004). Phytoplankton Photosynthetic activity and growth rates: observations in the NW Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 20 (6): 399-409.
- Pugnetti A., Bazzoni A., Beran A., Bernardi Aubry F., Camatti E., Celussi M., Coppola J., Crevatin E., Del Negro P., Paoli A. (2008). Changes in biomass structure and trophic status of the plankton communities in a highly dynamic ecosystem (Gulf of Venice, Northern Adriatic Sea). *Mar Ecol* 29:367-374.
- Pugnetti A., Armeni M., Camatti E., Crevatin E., Dell'Anno A., Del Negro P., Milandri A., Socal G., Fonda Umani S. and Danovaro R. (2005). Unbalance between phytoplankton production and bacterial carbon demand in relation with mucilage formation in the Northern Adriatic Sea. *Sci. Total Environ*, 353 162-77.
- Pugnetti A., Camatti E., Mangoni O., Morabito G., Oggioni G. & Saggiomo V. (2006). Phytoplankton Production in Italian Freshwater and Marine Ecosystems: State of the Art and Perspectives. *Chemistry and Ecology* 22:s49-s69.
- Pugnetti A., Bazzoni A., Beran A., Bernardi Aubry F., Camatti E., Celussi M., Coppola J., Crevatin E., Del Negro P., Paoli A. (2008). Changes in biomass structure and trophic status of the plankton communities in a highly dynamic ecosystem (Gulf of Venice, Northern adriatic Sea), *Marine Ecology* 29: 367-374.
- Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., Di Sarra A., Aracri S., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D'Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Misericocchi S., Paschini E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2016). The RITMARE Italian Fixed-Point Observatory Network (IFON) for marine environmental monitoring: a case study. *J Oper Oceanogr* 9:s202–s214
- Ribalet F., Bastianini M., Vidoudez C., Acri F., Berges J., Ianora A., Miraldo A., Pohnert G., Romano G., Wichard T. others (2014). Phytoplankton cell lysis associated with polyunsaturated aldehyde release in the Northern Adriatic Sea. *PLoS One* 9:e85947.
- Russo A., Rabitti S., Bastianini M. (2002). Decadal climatic anomalies in the Northern Adriatic Sea inferred from a new oceanographic data set. *P.S.Z.N.: Mar. Ecol.*, 23 Suppl. 1: 340-351.
- Quero G.M., Perini L., Pesole G., Manzari C., Lionetti C., Bastianini M., Marini M., Luna G.M. (2017). Seasonal rather than spatial variability drives planktonic and benthic bacterial diversity in a microtidal lagoon and the adjacent open sea. *Mol Ecol* 26:5961-5973
- Socal G., Pugnetti A., Alberighi L. (2002). Observations on phytoplankton productivity in relation to hydrography in NW Adriatic. *Chemistry and Ecology*, 18: 61-73.
- Socal G., Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bianchi F., Cassin D., Coppola J., De Lazzari A., Bandelj V., Cossarini G. & Solidoro C. (2008). Hydrological and Biogeochemical Features of the Northern Adriatic Sea in the Period 2003-2006. *Marine Ecology* 29:449-68.
- Socal G., Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bianchi F., Camatti E., Conversi A., De Lazzari A., Pugnetti A. (2011). The Study and the Impact of Plankton communities Over the Northern Adriatic pelagic Ecosystem. In: Brugnoli *et al.* (Eds) *Marine Research at CNR*: 141-152.
- Solidoro C., Bandelj V., Barbieri P., Cossarini G., Fonda Umani S. (2007). Understanding dynamic of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea by using self-organizing maps and k-means clustering. *J Geophys Res*, 112, 1-12.
- Solidoro S., Bastianini M., Bandelj V., Codermatz R., Cossarini G., Melaku Canu D., Ravagnan E., Salon S., & Trevisani S. (2009). Current State, Scales of Variability and Decadal Trends of Biogeochemical Properties in the Northern Adriatic Sea. *Journal of Geophysical Research* 114.
- Totti C., Cangini M., Ferrari C., Kraus R., Milic D., Pompei M., Pugnetti A., Romagnoli T., Vannucci S. and Socal G. (2005). Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea. *Sci Total Environ* 353:204-217

-
- Trincardi F., Barbanti A., Bastianini M., Benetazzo A., Cavalieri L., Chiggiato J., Papa A., Pomaro A., Sclavo M., Tosi L., Umgieser G. (2016). The 1966 flooding of Venice: What time taught us for the future. *Oceanography* 29.
- Vidoudez C., Casotti R., Bastianini M., Pohnert G. (2011). Quantification of dissolved and particulate polyunsaturated aldehydes in the Adriatic sea. *Mar Drugs* 9:500-513.
- Zilioli M., Bergami C., Carrara P., Fugazza C., Oggioni A., Pugnetti A., Tagliolato P. (2021) Enabling the reuse of long-term marine biological observations in Essential Variables frameworks through a practical approach. *Front. Mar. Sci.* 8:645997. DOI: 10.3389/fmars.2021.645997.

Lavori non ISI

Minelli A., Oggioni A., Pugnetti A., Sarretta A., Bastianini M., Bergami C., Bernardi Aubry F., Camatti E., Scovacricchi T., Socal G. (2018). The project EcoNAOS: vision and practice towards an open approach in the Northern Adriatic Sea ecological observatory. *Research Ideas and Outcomes* 4: e24224. <https://doi.org/10.3897/rio.4.e24224>.

Capitoli di libro

Armeli Minicante S., Bastianini M., Sassetto G., Cataletto B., Del Negro P. (2018). Terramare – Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna. In: C. Bergami, A. L'Astorina, A. Pugnetti (a cura di). (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6. DOI: 10.32018/978888080304-1.

Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1.

Pugnetti A., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Camatti E., Conversi A., Socal G., Ravaioli M. (2011). Long Term Ecological Research (LTER) in the marine coastal environment: basic concepts and keystones from the plankton communities. In: Brugnoli *et al.* (Eds) *Marine Research at CNR*: 903-914.

Bibliografia Golfo di Trieste

Lavori ISI

Baldighi E., Dovgal I., Zeppilli D., Abibulaeva A., Michelet C., Michaud E., Franzo A., Grassi E., Cesaroni L., Guidi L., Balsamo M., Sandulli R., Semprucci F., 2020. The Cost for Biodiversity: Records of Ciliate-Nematode Epibiosis with the Description of Three New Suctorian Species. *Diversity* 2020, 12, 224; doi:10.3390/d12060224.

Cabrini M., Fornasaro D., Cossarini G., Lipizer M., Virgilio D. (2012). Phytoplankton temporal changes in a coastal Northern Adriatic site during the last 25 years. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113-124, 10.1016/j.ecss.2012.07.007.

Camatti E., Comaschi A., de Olazabal A., Fonda Umani S. (2008). Spatial variability of mesozooplankton communities in the northern Adriatic Sea. *Marine Ecology* 29 (3): 387-398.

Celussi M., Cataletto B. (2007). Annual dynamics of bacterioplankton assemblages in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Gene* 406: 113-123.

Celussi M., Del Negro P. (2012). Microbial degradation at a shallow coastal site: Long-term spectra and rates of exoenzymatic activities in the NE Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 75-86, DOI: 10.1016/j.ecss.2012.02.002.

Cerino F., Fornasaro D., Kralj M., Cabrini M. (2019). Seasonal and interannual variability of phytoplankton at a coastal station in the northern Adriatic Sea (Mediterranean Sea). *Nature Conservation*, 34: 343-372.

-
- Cerino F., Malinverno E., Fornasaro D., Kralj M., Cabrini M. (2017). Coccolithophore diversity and dynamics at a coastal site in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 196: 331-345.
- Cibic T., Acquavita A., Aleffi F., Bettoso N., Blasutto O., De Vittor C., Falconi C., Falomo J., Faresi L., Predonzani S., Tamberlich F., Fonda Umani S. (2008). Integrated approach to sediment pollution in the Gulf of Trieste. *Marine Pollution Bulletin* 56: 1650-1667.
- Cibic T., Blasutto O., Burba N., Fonda Umani S. (2008). Microphytobenthic primary production as ^{14}C uptake in sublittoral sediments of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea): methodological aspects and data analyses. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75: 50-62.
- Cibic T., Blasutto O., Falconi C., Fonda Umani S. (2007). Microphytobenthic biomass, species composition and nutrient availability in sublittoral sediments of the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75: 50-62.
- Cibic T., Blasutto O., Fonda Umani S. (2007). Biodiversity of settled material in a sediment trap in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Hydrobiologia* 580: 57-75.
- Cibic T., Cerino F., Karuza A., Fornasaro D., Comici C., Cabrini M. (2018). Structural and functional response of phytoplankton to reduced river inputs and anomalous physical-chemical conditions in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Science of The Total Environment* 636, 838-853.
- Cibic T., Comici C., Bussani A., Del Negro P. (2012). Benthic diatom response to changing environmental conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 158-169. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.03.033.
- Cibic T., Comici C., Falconi C., Fornasaro D., Karuza A., Lipizer M. (2018). Phytoplankton community and physical-chemical data measured in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) over the period March 2006-February 2007. *Data in Brief* 19: 586-593, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.054>.
- Cibic T., Virgilio D. (2010). Different fixative and HCl concentrations in microphytobenthic primary production estimates using radiolabeled carbon. Their use and misuse. *Limnol Oceanogr-Meth* 8:453-461.
- Conversi A., Fonda Umani S., Peluso T., Molinero J.C., Santojanni A., Edwards M. (2010). The Mediterranean Sea Regime Shift at the End of the 1980s, and Intriguing Parallelisms with Other European Basins. *PLoS ONE* 5(5): e10633. DOI: 10.1371/journal.pone.0010633.
- Conversi A., Peluso T., Fonda Umani S. (2009). The Gulf of Trieste: a changing ecosystem. *J Geophys Res, Oceans* 114 C03S90. DOI: 10.1029/2008JC004763.
- Corriero G., Pierri C., Accoroni S., Alabiso G., Bavestrello G., Barbone E., Bastianini M., Bazzoni A.M., Bernardi Aubry F., Boero F., Buia M.C., Cabrini M., Camatti E., Cardone F., Cataletto B., Cattaneo Vietti R., Cecere E., Cibic T., Colangelo P., De Olazabal A., D'Onghia G., Finotto S., Fiore N., Fornasaro D., Fraschetti S., Gambi M.C., Giangrande A., Gravili C., Guglielmo R., Longo C., Lorenti M., Lugliè A., Maiorano P., Mazzocchi M.G., Mercurio M., Mastrototaro F., Mistri M., Monti M., Munari C., Musco L., Nonnis-Marzano C., Padella B.M., Patti F.P., Petrocelli A., Piraino S., Portacci G., Pugnetti A., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Schiapparelli S., Scipione B., Sion L., Terlizzi A., Tirelli V., Totti C., Tursi A., Ungaro N., Zingone A., Zupo V., Basset A. (2016). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: a case study on marine habitats along the Italian coast. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 26: 392-409.
- Cossarini G., Solidoro C. (2008). Global sensitivity analysis of a trophodynamic model of the Gulf of Trieste. *Ecological Modelling*, 212 (1-2). DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2007.10.009.
- Cossarini G., Solidoro C., Umani S.F. (2012). Dynamics of biogeochemical properties in temperate coastal areas of freshwater influence: Lessons from the Northern Adriatic Sea (Gulf of Trieste), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 63-74. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.02.006.
- Cozzi S., Cabrini M., Kralj M., De Vittor C., Celio M., Giani M. (2020). Climatic and Anthropogenic Impacts on Environmental Conditions and Phytoplankton Community in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Water* 2020, 12, 2652; doi:10.3390/w12092652.

-
- De Pooter D., Appeltans W., Bailly N., Bristol S., Deneudt K., Eliezer M., Fujioka E., Giorgetti A., Goldstein P., Lewis M., Lipizer M., Mackay K., Marin M., Moncoiffé G., Nikolopoulou S., Provoost P., Rauch S., Roubicek A., Torres C., van de Putte A., Vandepitte L., Vanhoorne B., Vinci M., Wambiji N., Watts D., Salas E.K., Hernandez F. (2017). Toward a new data standard for combined marine biological and environmental datasets – expanding OBIS beyond species occurrences. *Biodiversity Data Journal* 5, 1-37, e10989, <https://doi.org/10.3897/BDJ.5.e10989>.
- De Vittor C., Larato C., Fonda Umani S. (2009). The application of a plug-flow reactor to measure the biodegradable dissolved organic carbon (BDOC) in seawater. *Bioresource Technology* 100: 5721-5728.
- De Vittor C., Paoli A., Fonda Umani S. (2008). Carbon variabilità in a shallow coastal marine system (Gulf of Trieste, northern Adriatic Sea). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 78 (2): 280-290.
- Fabbro C., Cataletto B., Del Negro P. (2010). Detection of pathogenic *Vibrio parahaemolyticus* through biochemical and molecular-based methodologies in coastal waters of the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). *FEMS Microbiology Letters* 307: 158-164.
- Fonda Umani S., Del Negro P., Larato C., De Vittor C., Cabrini M., Celio M., Falconi C., Tamberlich F., Azam F. (2007). Major interannual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea) and their ecosystems implications. *Aquatic Microbial Ecology* 46: 163-175.
- Fonda Umani S., Malfatti F., Del Negro P., (2012). Carbon fluxes in the pelagic ecosystem of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 170-185, DOI: 10.1016/j.ecss.2012.04.006.
- Franzo A., Celussi M., Bazzaro M., Relitti F., Del Negro P. (2019). Microbial re-working of sedimentary organic matter at a shallow LTER site of the northern Adriatic Sea: a 8-year case study. *Nature Conservation*, 34: 397-415.
- Franzo A., Cibic T., Del Negro P. (2016). Integrated approach for the assessment of the benthic ecosystem functioning at a coastal site in the northern Adriatic Sea. *Continental Shelf Research*, 121: 35-47 <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2015.12.005>.
- Franzo A., Guilini K., Cibic T., Del Negro P. (2018). Interactions between free-living nematodes and benthic diatoms: insights from the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea). *Mediterranean Marine Science*, <http://dx.doi.org/10.12681/mms.15549>.
- Giani M., Djakovac T., Degobbis D., Cozzi S., Solidoro C., Fonda Umani S. (2012). Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1-13, DOI: 10.1016/j.ecss.2012.08.023.
- Ingrosso G., Giani M., Comici C., Kralj M., Piacentino S., De Vittor C., Del Negro P. (2016). Drivers of the carbonate system seasonal variations in a Mediterranean gulf. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 168: 58-70. DOI: 10.1016/j.ecss.2015.11.001.
- Kamburska L., Fonda Umani S. (2009). Seasonal and inter-annual variability of mesozooplankton biomass in the Northern Adriatic Sea (Gulf of Trieste). *J Mar Syst* 78: 490-504, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2008.12.
- Karuza A., Del Negro P., Crevatin E., Fonda Umani S. (2010). Viral production in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea): preliminary results using different methodological approaches. *J Exp Mar Biol Ecol* 383:96-104.
- Karuza A., Fonda Umani S., Del Negro P. (2012). The (un)coupling between viruses and prokaryotes in the Gulf of Trieste. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87-97, doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.030.
- Kopf A., Bicak M., Kottmann R., Schnetzer J., Kostadinov I., Lehmann K., Fernandez-Guerra A., Jeanthon C., Rahav E., Ullrich M., Wichels A., Gerdts G., Polymenakou P., Kotoulas G., Siam R., Abdallah R.Z., Sonnenschein E.C., Cariou T., O'Gara F., Jackson S., Orlic S., Steinke M., Busch J., Duarte B., Caçador I., Canning-Clode J., Bobrova O., Marteinsson V., Reynisson E., Loureiro E.M., Luna G.M., Quero G.M., Löscher C.R., Kremp A., Delorenzo M.E., Øvreås L., Tolman J., LaRoche J., Penna A., Frischer M., Davis T., Katherine B., Meyer C.P., Ramos S., Magalhães C., Jude-Lemeilleur F., Aguirre-Macedo M.L., Wang S., Poulton N., Jones S., Collin R., Fuhrman J.A., Conan P., Alonso

- C., Stambler N., Goodwin K., Yakimov M.M., Baltar F., Bodrossy L., Van De Kamp J., Frampton D.M., Ostrowski M., Van Ruth P., Malthouse P., Claus S., Deneudt K., Mortelmans J., Pitois S., Wallom D., Salter I., Costa R., Schroeder D.C., Kandil M.M., Amaral V., Biancalana F., Santana R., Pedrotti M.L., Yoshida T., Ogata H., Ingleton T., Munnik K., Rodriguez-Ezpeleta N., Berteaux-Lecellier V., Wecker P., Cancio I., Vaulot D., Bienhold C., Ghazal H., Chaouni B., Essayeh S., Ettamimi S., Zaid El H., Boukhatem N., Bouali A., Chahboune R., Barrijal S., Timinouni M., El Otmani F., Bennani M., Mea M., Todorova N., Karamfilov V., Ten Hoopen P., Cochrane G., L'Haridon S., Bizsel K.C., Vezzi A., Lauro F.M., Martin P., Jensen R.M., Hinks J., Gebbels S., Rosselli R., De Pascale F., Schiavon R., dos Santos A., Villar E., Pesant S., Cataletto B., Malfatti F., Edirisinghe R., Silveira J.A., Barbier M., Turk V., Tinta T., Fuller W.J., Salihoglu I., Serakinci N., Ergoren M.C., Bresnan E., Iribarri J., Nyhus P.A., Bente E., Karlsen H.E., Golyshin P.N., Gasol J.M., Moncheva S., Dzhembekova N., Johnson Z., Sinigalliano C.D., Gidley M.L., Zingone A., Danovaro R., Tsiamis G., Clark M.S., Costa A.C., El Bour M., Martins A.M., Collins R.E., Ducluzeau A.L., Martinez J., Costello M.J., Amaral-Zettler L.A., Gilbert J.A., Davies N., Field D., Glöckner F.O. (2015). *GigaScience* 4(1): 27.
- Larato C., Celussi M., Virgilio D., Karuza A., Falconi C., De Vittor C., Del Negro P., Fonda Umani S. (2010). Production and utilization of organic matter in different P-availability conditions: A mesocosm experiment in the Northern Adriatic Sea. *J Exp Mar Biol Ecol* 391: 131-142.
- Libralato S., Coli M., Tempesta M., Santojanni A., Spoto M., Palomera I., Arneri E., Solidoro C. (2010). Food-web traits of protected and exploited areas of the Adriatic Sea. *Biol Conserv* 143: 218-194.
- Lipizer M., Cossarini G., Falconi C., Solidoro C., Fonda Umani S. (2011). Impact of different forcing factors on N:P balance in a semi-enclosed bay: the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). *Cont Shelf Res*, 31 (16), 1651-1662.
- Lipizer M., De Vittor C., Falconi C., Comici C., Tamberlich F., Giani M. (2012). Effects of intense physical and biological forcing factors on CNP pools in coastal waters (Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea). (2012), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 40-50. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.03.024.
- Malej A., Tirelli V., Lučić D., Paliaga P., Vodopivec M., Goruppi A., Ancona S., Benzi M., Bettoso N., Camatti E., Ercolessi M., Ferrari C. R., Shiganova T. (2017). *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: here to stay? *Journal of Sea Research*, 124: 10-16.
- Malone, T.C., Malej, A. and Faganeli, J. (Eds) 2021. *Coastal Ecosystems in Transition: A Comparative Analysis of the Northern Adriatic and Chesapeake Bay*, Geophysical Monograph 256. John Wiley & Sons, Inc. DOI: 10.1002/9781119543626.ch4.
- Manna V., De Vittor C., Giani M., Del Negro P., Celussi M. (2021). Long-term patterns and drivers of microbial organic matter utilization in the northernmost basin of the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research*, 164 105245.
- Monti M., Minocci M., Milani L., Fonda Umani S. (2012). Seasonal and interannual dynamics of microzooplankton abundances in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149-157. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.03.032.
- Monti-Birkenmeier M., Diociauti T., Fonda Umani S. (2019). Long-term changes in abundance and diversity of tintinnids in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). *Nature Conservation*, 34: 373-395.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of the Total Environment*, 627: 373-387.

-
- Mozetič P., Solidoro C., Cossarini G., Socal G., Precali R., Francé J., Bianchi F., Smoldlaka N., De Vittor C., Fonda Umani S. (2009). Recent trends towards oligotrophication of the northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series. *Estuaries and Coasts*. DOI: 10.1007/s12237-009-9191-7.
- Paoli A., Celussi M., Del Negro P., Fonda Umani S., Talarico L. (2008). Ecological advantages from light adaptation and heterotrophic-like behavior in *Synechococcus* harvested from the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *FEMS Microbiol Ecol* 64 (2): 219-229.
- Piontkovski S.A., Fonda Umani S., Stefanova K., Kamburska L., de Olazabal A. (2011). An impact of atmospheric anomalies on zooplankton communities in the Northern Adriatic and Black Seas. *Int J Oceans Oceanogr.* ISSN 0973-2667 Vol. 5(1): 53-71.
- Piontkovski S.A., Fonda-Umani S., De Olazabal A., Gubanova A.D. (2012). *Penilia avirostris*: Regional and Global Patterns of Seasonal Cycles. *Int J Oceans Oceanogr.*, 6 (1), 9-25.
- Querin S., Crise A., Deponte D., Solidoro C. (2007). Numerical study of the role of wind forcing and freshwater buoyancy input on the circulation in a shallow embayment (Gulf of Trieste, Northern Adriatic Sea). *J Geophys Res*, 112 (C3), 1-19.
- Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., Di Sarra A., Araci S., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D'Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Misericocchi S., Paschini E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2016). The RITMARE Italian Fixed-point Observatory Network (IFON) for marine environmental monitoring: a case study. *Journal of Operational Oceanography*, 9 (S1), 201-214. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1114806.
- Rogelja M., Cibic T., Rubino F., Belmonte M., Del Negro P. (2018). Active and resting microbenthos in differently contaminated marine coastal areas: insights from the Gulf of Trieste (northern Adriatic, Mediterranean Sea). *Hydrobiologia* 806 (1): 283-301.
- Solidoro C., Bandelj V., Barbieri P., Cossarini G. Fonda Umani S. (2007). Understanding of dynamic of biogeochemical properties in the northern Adriatic Sea by using self-organizing maps and k-means clustering. *J Geophys Res*, 112: 1-12.
- Suarez-Morales E., Goruppi A., de Olazabal A., Tirelli V. (2017). Monstrilloids (Crustacea. Copepoda) from the Mediterranean Sea (Northern Adriatic Sea), with a description of six species. *Journal of Natural History*, 51: 31-32, 1795-1834, DOI: 10.1080/00222933.2017.1359698.
- Turk Dermastia T., Cerino F., Stankovic D., Francé J., Ramšak A., Tušek Žnidarič M., Beran A., Natali V., Cabrini M., Mozetič P. (2020). Ecological time series and integrative taxonomy unveil seasonality and diversity of the toxic diatom *Pseudo-nitzschia* H. Peragallo in the northern Adriatic Sea. *Harmful Algae*, 93 101773.

Lavori non ISI

- Cabrini M. (2010). Phytoplankton and Microphytobenthos. *Biol. Mar. Medit.* 17 (Suppl. 1): 685 e 698-753.
- Cabrini M., de Olazabal A., Fornasaro D., Lipizer M., Minocci M., Monti M., Tirelli V. (2012). Calcifying planktonic organisms in the LTER-Gulf of Trieste site (North Adriatic). *Biol. Mar. Medit.*, 19: 228-229.
- Cerino F., Virgilio D., Cabrini M. (2008). Dinoflagellate cysts in recent sediments at a coastal station in the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea). *Biol Mar Medit* 15 (1): 378-379.
- Cibic T., Facca C. (2010). Microphytobenthos. In: Checklist della flora e della fauna dei mari italiani. Parte II. *Biol Mar Medit* 17 (suppl. 1): 754-800.
- Guardiani B., Bussani A., Cabrini M. (2008). Analisi dei rapporti autotrofi/eterotrofi nel nanoplancton del Golfo di Trieste. *Biol Mar Medit* 15(1): 388-389.

Lipizer M., Gerin R., Spoto M., Mosetti R. (2007). Optical properties and light penetration in the waters of the Gulf of Trieste (North Adriatic Sea). *Boll Geofis Teor Appl.* 48(1): 65-78.

Partescano E., Brosich A., Giorgetti A., Lipizer M., Cardin V. (2016). (Near) real-time data publication for coastal and deep-sea observing system using OGC Sensor Web Enablement (SWE) standards (2016) *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 57, n.Suppl. 1, pp. 34-36. ISSN: 0006-6729.

Libri o capitoli di libri

Armeli Minicante S., Bastianini M., Sassetto G., Cataletto B., Del Negro P. (2018). *Terramare – Il racconto del cambiamento tra terra, mare e laguna*. In: C. Bergami, A. L'Astorina, A. Pugnetti (a cura di). (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6. DOI: 10.32018/978888080304-1.

Bastianini M., Ravaioli M., Cataletto B., Marini M., Raicich F. (2012). *Alto Adriatico*. In: *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)*. Aracne Editrice: 177-188.

Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). *I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino*. Roma: CNR Edizioni. ISBN (online) 978888080304-1, ISBN (cartaceo) 978888080312-6, DOI: 10.32018/978888080304-1.

Cibic T., Blasutto O. (2011). Living marine benthic diatoms as indicators of nutrient enrichment: a case study in the Gulf of Trieste. In: J.C. Compton (Ed), *Diatoms: Classification, Ecology and Life Cycle*, Nova Science Publishers, Inc. ISBN 978-1-61761-979-3, pp. 169-184.

Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Araci S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D'Adamo R., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Misericocchi M., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., di Sarra A.G., Sarretta A., Schroeder K., Stanghellini G., Vetrano A. (2017). *La rete scientifica italiana di siti fissi per l'osservazione del mare – IFON*. A cura di: Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F. Roma, CNR Pubblicazioni 2017. pp. 50, ISBN: 978-88-80802-44-0 (online).

Report

Bode A., Bang H.W., Boersma M., Bresnan E., Cook K., Goffart A., Isensee K. et al. (2017). North Atlantic Ocean. In *What are Marine Ecological Time Series telling us about the ocean? A status report*, pp. 5582. Ed. by O'Brien T.D., Lorenzoni L., Isensee K. and Valdés L.. IOC-UNESCO, IOC Technical Series, No. 129, pp. 297.

Piontkovski S.A., Fonda Umani S., Olita A., de Olazabal A., Stemmann L., Rubio C.G., Gasparini S., Mazzocchi M.G., Siokou-Frangou I., Zervoudaki S., Gubanova A., Altukhov D. (2010). The 2003 heat wave and marine plankton communities. ICES Cooperative Research Report No. 300: 57-60.

Tirelli V., de Olazabal A., Fonda Umani S. (2013). Gulf of Trieste (Site 60) in ICES Zooplankton Status Report 2010/2011, ICES Cooperative Research report No.318, pp. 174-177, O'Brien T.D., Wiebe P.H. and Falkenhaug T. (Eds).

Bibliografia Delta Po e Costa Romagnola

Lavori ISI

Barra E., Riminucci F., Dinelli E., Albertazzi S., Giordano P., Ravaioli M., Capotondi L. (2020). Natural Versus Anthropic Influence on North Adriatic Coast Detected by Geochemical Analyses. *Applied Science*, 10(18), 6595, DOI: 10.3390/app10186595.

Böhm E., Riminucci F., Bortoluzzi G., Colella S., Acri F., Santoleri R., Ravaioli M. (2015). Operational use of continuous surface fluorescence measurements off shore Rimini to validate satellite-derived

-
- chlorophyll observations. *Journal of Operational Oceanography*, 9 (S1), 167-175, DOI: 10.1080/1755876X.2015.1117763.
- Bortoluzzi G., Frascari F., Giordano P., Ravaioli M., Stanghellini G., Coluccelli A., Biasini G. and Giordano A. (2006). The S1 Buoy station, Po River Delta: data handling and presentation. *Acta Adriatica*, 47(Suppl):113-131.
- Braga F., Zaggia L., Bellafiore D., Bresciani M., Giardino C., Lorenzetti G., Maicu F., Manzo C., Riminucci F., Ravioli M., Brando V.E. (2016). Mapping turbidity patterns in the Po river prodelta using multi-temporal Landsat 8 imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 198, pp. 555-567. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2016.11.003>.
- Capotondi L., Bergami C., Orsini G., Ravaioli M., Colantoni P., Galeotti S. (2015). Benthic foraminifera for environmental monitoring: a case study in the central Adriatic continental shelf. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 6034-6049, DOI: 10.1007/s11356-014-3778-7. 0944-1344. IF 2.741.
- Capotondi L., Mancin N., Cesari V., Dinelli E., Ravaioli M., Riminucci F. (2019). Recent agglutinated foraminifera from the North Adriatic Sea: What the agglutinated tests can tell. *marine Micropaleontology*, 147, pp. 25-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.01.006>.
- Catalano G., Azzaro M., Bastianini M., Bellucci L., Aubry F.B., Bianchi F., Burca M., Cantoni C., Caruso G., Casotti R., Cozzi S., Del Negro P., Fonda Umani S., Giani M., Giuliani S., Kovacevic V., La Ferla R., Langone L., Luchetta A., Monticelli L.S., Piacentino S., Pugnetti A., Ravaioli M., Socal G., Spagnoli F. (2014). The carbon budget in the northern Adriatic Sea, a winter case study, Ursella, L, *Journal Of Geophysical Research-Biogeosciences*, 119 (7):1399-1417.
- Davolio S., Stocchi P., Benetazzo A., Böhm E., Riminucci F., Ravaioli M., Li X.-M., Carniel S. (2015). Exceptional Bora outbreak in winter 2012: Validation and analysis of high-resolution atmospheric model simulations in the northern Adriatic area, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, pp. 1-20. DOI information: 10.1016/j.dynatmoce.2015.05.002.
- Grati F., Fabi G., Scarcella G., Guicciardi S., Penna P., Scanu M., Leoni S., Riminucci F., Frittelloni C., Gagliardini L., Bolognini L. (2018). Artificial spawning substrates and participatory research to foster cuttlefish stock recovery: A pilot study in the Adriatic Sea. *PLoS ONE* 13(10):e0205877. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0205877>.
- Guarnieri, A., N. Pinardi, P. Oddo, G. Bortoluzzi, and M. Ravaioli (2013). Impact of tides in a baroclinic circulation model of the Adriatic Sea, *J. Geophys. Res. Oceans*, 118, 166-183, DOI: 10.1029/2012JC007921.
- Menegon S., Penna P., Bastianini M., Stanghellini G., Riminucci F., Minuzzo T., Sarretta A. (2016). CNR-ISMAR in situ observations network: new approaches for an interactive, high performance, interoperable system, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, Vol. 57(Supplement), (2016), 104-105. ISSN: 0006-6729.
- Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., di Sarra A., Aracri S., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D'Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Misericocchi S., Paschini E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2016). The RITMARE Italian Fixed-Point Observatory Network (IFON) for marine environmental monitoring: a case study. *Journal of Operational Oceanography*, 9, 202-214. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1114806 May 2016.
- Russo A., Coluccelli A., Iermano I., Falcieri F., Ravaioli M., Bortoluzzi G., Focaccia P., Stanghellini G., Ferrari C.R., Chiggiato J., Deserti M. (2009). An operational system for forecasting hypoxic events in the northern Adriatic Sea. *Geofizika*. 26(2):191-212.

Lavori NON ISI

Bastianini M., Bernardi Aubry F., Acri F., Bortoluzzi G., Camatti E., Campanelli A., Cantoni C., Cataletto B., Finotto S., Focaccia P., Lipizer M., Marini M., Pugnetti A., Raicich F., Ravaioli M., Riminucci F., Romagnoli T., Russo N., Totti C. (2013). La rete di stazioni adriatiche: un sistema osservativo al servizio della ricerca ecologica a lungo termine (LTER). AIOL – XXI Congresso dell’Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia: Limnologia e Oceanografia nel Terzo Millennio: nuove frontiere o assenza di frontiere? (Lignano Sabbiadoro (UD), 23-26 settembre 2013). Abstract, pp. 67. Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 2013.

Claudia B., Coluccelli A., Valentini A., Benetazzo A., Bonaldo D., Bortoluzzi G., Carniel S., Falcieri F., Paccagnella T., Ravaioli M., Riminucci F., Sclavo M., Russo A. (2014). Performance analysis of coupled and uncoupled hydrodynamic and wave models in the northern Adriatic Sea. Geophysical Research. Abstracts. Vol. 16, EGU2014-14411-1, 2014, Vienna, EGU General Assembly 2014.

Coluccelli A., Riminucci F., Stanghellini G., Capotondi L., Bergami C., Giordano P., Russo A., Ravaioli M. (2018). Simulazione del funzionamento dell’ecosistema marino Adriatico attraverso un sistema operativo di previsione a breve termine. Abstract in: Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018, pp. 214.

Davolio S., Stocchi P., Carniel S., Benetazzo A., Böhm E., Ravaioli M., Riminucci F. and Li X.-M (2014). High-resolution simulation of an intense cold Bora outbreak: Importance of SST initialization. EMS Annual Meeting Abstracts Vol. 11, EMS2014-555-2, 2014, 14th EMS / 10th ECAC.

Grilli F., Bernardi Aubry F., Bastainini M., Bergami C., Cabrini M., Camatti E., Campanelli A., Cataletto B., Cozzi S., Del Negro P., Giani M., Guicciardi S., Marini M., Penna A., Penna P., Pugnetti A., Ravaioli M., Riminucci F., Rinaldi A., Ricci F., Totti C., Viaroli P. (2018). Seasonal and interannual trends of trophic status in northern Adriatic Sea in relation to nutrient loadings. Abstract in: 49° Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Cesenatico (FC), 4-8 giugno 2018, pp. 41-42.

Oggioni A., Bertani I., Tortora C., Adamescu M., Campanaro A., Colangelo P., Coci M., Bernardi Aubry F., Bastianini M., Berthoni R., Bravo M.A., Cabrini M., Camatti E., Cataletto B., Cazacu C., Cindolo C., Díaz-Delgado R., Focaccia P., Georgieva Y., Grandin U., Hiebaum G., Karamfilov V., Lipizer M., Lugliè A., Margiotta F., Morabito G., Padedda B.M., Palffy K., Palomäki A., Pettersson K., Pugnetti A., Ravaioli M., Riminucci F., Rogora M., Rönnback P., Rossetti G., Tolonen K., Vörös L., Yang Y., Zingone A. (2013). Analysis phenological trends based on the aquatic environments of the European Long Term Ecosystem Network (LTER). AIOL – XXI Congresso dell’Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia: Limnologia e Oceanografia nel Terzo Millennio: nuove frontiere o assenza di frontiere? (Lignano Sabbiadoro (UD), 23-26 settembre 2013). Abstract, pp. 69-70. Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 2013.

Penna P., Bergami C., Riminucci F., Araci S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Brunetti F., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D’Adamo R., Di Sarra A., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Miserocchi S., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Sarretta A., Schroeder K., Scirocco T., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Ravaioli M. (2018). A contribute to mediterranean marine environmental monitoring: the italian fixed-point observatory network (IFON). Abstract in: Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018, pp. 179.

Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Araci S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Brunetti F., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D’Adamo R., Di Sarra A.G., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Miserocchi S., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Sarretta A., Schroeder K., Scirocco T., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A. (2018). The Italian Fixed-point Observatory Network for marine environmental monitoring-IFON State of the art and upgrades during the Italian flagship project RITMARE (2012-2016). Abstract in: Proceeding of IMEKO TC19 Workshop on Metrology for the

Sea (MetroSea 2017) – Naples, Italy 11-13 October 2017. Curran Associates Inc., ISBN: 978-1-5108-5211-2, pp. 22-27, 2017.

Riminucci F., Davolio S., Coluccelli A., Ferrarin C., Ravaioli M., Carrara G., Marucci F., Stanghellini G., Landi T.C., Malguzzi P., Bonasoni P. (2018). INFORMARE: an integrated information system for weather-marine observations and forecasts for the Emilia-Romagna. Abstract in: Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018, pp. 100.

Libri o Capitoli di libro

Ravaioli M., Bortoluzzi G., Focaccia P., Stanghellini G., Russo A., Riminucci F., Giordano P. (2012). Delta del Po e costa romagnola. In: *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Situazione e prospettive dopo un quinquennio di attività (2006-2011)*. Aracne ed. pp. 182-183. Roberto Bertoni (ed.), via Raffaele garofalo 133/A-B 00173 – Roma: Aracne, 2012.

Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci I.A., Cesarini C. (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l'esempio della rete LTER-Italia". In *Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve*. A cura di Sveva Avveduto, Maria Luigia Paciello, Tatiana Arrigoni, Cristina Mangia, Lucia Martinelli (2015). Roma: CNR-IRPPS e-Publishing., pp. 91-103. DOI: 10.14600/978-88-98822-08-9-13 ISBN: 978-88-98822-08-9 (online) 2015.

Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Aracri S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D'Adamo R., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Misericocchi M., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., di Sarra, A.G. Sarretta A., Schroeder K., Stanghellini G., Vetrano A. (2017). La rete scientifica italiana di siti fissi per l'osservazione del mare – IFON. A cura di: Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F. Roma, CNR Pubblicazioni 2017. pp. 50, ISBN: 978-88-80802-44-0. Online http://www.ismar.cnr.it/file/divulgazione/libri/Ravaioli_et_al_IFON_CNR.pdf.

Proceedings – Comunicazioni orali – Poster

Bastianini M., Acri F., Albertazzi S., Bergami C., Bernardi Aubry F., Camatti E., Capotondi L., Cataletto B., Coluccelli A., Del Negro P., Giordano P., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Minelli A., Oggioni A., Pansera M., Penna P., Ravaioli M., Riminucci F., Sarretta A., Stanghellini G., Totti C., Socal G., Pugnetti A. (2017). The nothern Adriatic sea: a long term ecological site and an ecological observatory – structure and perspectives. IMEKO International Conference on Metrology for The Sea Naples, Italy, October 11-13. Comunicazione orale.

Bracaglia M., Brando V.E., Volpe G., Colella S., Dionisi D., Falcini F., Bohm E., Riminucci F., Ravaioli M., Braga F., Santoleri R. (2018). Using overlapping VIIRS scenes to observe short term variations in dissolved and particulate matter in the North Adriatic Sea. MED 2018 conference, 11-12 December 2018, ESA-ESRIN Frascati (Rome), Italy. Poster.

Braga F., Brando V.E., Giardino C., Bresciani M., Bellafiore D., Maicu F., Riminucci F., Lorenzetti G., Ravaioli M., Zaggia L. (2015). Mapping total suspended sediments in the Po River prodelta with multi-temporal Landsat-8 OLI data. ECSA 55 – 55th Conference of Estuarine Coastal Sciences Association, London, Wednesday, 9th of September 2015, Poster session 3.

Campanaro A., Colangelo P., Acosta A.T.R., Boggero A., Carranza M.L., Cindolo C., Cocciufa C., Cutini M., Cecere E., Focaccia P., Lami A., Lugliè A., Malavasi M., Manca M., Mason F., Matteucci G., Morabito G., Musazzi S., Oggioni A., Petrocelli A., Pompei E., Pugnetti A., Ravaioli M., Riminucci F., Rossetti G., Sani D., Sarno D., Santoro R., Satta C.T., Tartari G.A., Zingone A. (2011). Lter-Italy network: examples and opportunities for biogeographic research. XXXVIII Congresso Nazionale della Società Italiana di Biogeografia. (Rome 15-17 December 2011). Poster.

-
- Coluccelli A., Riminucci F., Stanghellini G., Capotondi L., Bergami C., Giordano P., Russo A., Ravaioli M. (2018). Simulazione del funzionamento dell'ecosistema marino Adriatico attraverso un sistema operativo di previsione a breve termine. Abstract in: Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018. Poster.
- Coluccelli A., Riminucci F., Stanghellini G., Russo A., Capotondi L., Bergami C., Ravaioli M. (2018). Previsione operativa a breve termine per la biogeochimica del Mar Adriatico settentrionale. XII Assemblea Nazionale Rete LTER-Italia, Convegno scientifico "La Rete LTER – Italia verso una infrastruttura aperta e sostenibile", 29 Maggio 2018, Bolzano. Comunicazione Orale.
- Grilli F., Bernardi Aubry F., Bastainini M., Bergami C., Cabrini M., Camatti E., Campanelli A., Cataletto B., Cozzi S., Del Negro P., Giani M., Guicciardi S., Marini M., Penna A., Penna P., Pugnetti A., Ravaioli M., Riminucci F., Rinaldi A., Ricci F., Totti C., Viaroli P. (2018). Seasonal and interannual trends of trophic status in northern Adriatic Sea in relation to nutrient loadings. 49° Congresso della Società Italiana di Biologia Marina, Cesenatico (FC), 4-8 giugno 2018. Poster.
- Manzo C., Braga F., Zaggia L., Brando V., Giardino C., Bresciani M., Bellafiore D., Riminucci F., Ravaioli M. (2016). Multi-temporal analysis of suspended sediments in the Po River prodelta by means of Landsat-8 OLI data. Prague, Conference: ESA Living Planet Symposium 2016, DOI: 10.13140/RG.2.2.30763.44324. Poster.
- Marucci F., Carrara G., Riminucci F., Nuccetelli M., Bonasoni P. (2019). Il Progetto INFORMARE: un esempio di applicazione per la gestione di dati geografici meteorologici e marini in ambito Open Source. Convegno Foss4g-it 2019, Padova, 20-24 Febbraio 2019. Poster – sezione POSITIONING.
- Penna P., Bergami C., Riminucci F., Araci S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Brunetti F., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D'Adamo R., Di Sarra A.G., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Miserocchi S., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Sarretta A., Schroeder K., Scirocco T., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Ravaioli M. (2018). A contribute to mediterranean marine enviromental monitoring: the italian fixed-point observatory network (IFON). Abstract in: Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018. Poster.
- Penna P., Menegon S., Bastianini M., Cantoni C., Colucci R.R., Marconi M., Riminucci F., Sarretta A., Stanghellini G. (2017). The new CNR-ISMAR Adriatic in-situ Meteo Marine NETWORK. EUROCEAN – Conference on Ocean Observation Systems, Island of Capri, Italy, 24 October 2017. Poster / Comunicazione orale.
- Pugnetti A., Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bergami C., Camatti E., Cataletto B., Del Negro P., Finotto S., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Pansera M., Ravaioli M., Riminucci F. (2017). The northern Adriatic Sea: a long term ecological research site (LTER-Italy), structure and perspectives. EUROCEAN – Conference on Ocean Observation Systems, Island of Capri, Italy, 24 October 2017. Poster / Comunicazione orale.
- Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Araci S., Aliani S., Bastianini M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bozzano R., Cantoni C., Caterini E., Cardin V., Cesarini C., Colucci R.R., Crisafi E., Crise A., D'Adamo R., Fanara C., Giorgetti A., Grilli F., Langone L., Lipizer M., Marini M., Menegon S., Minuzzo T., Miserocchi S., Partescano E., Paschini E., Pavesi F., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., di Sarra A.G., Sarretta A., Schroeder K., Stanghellini G., Vetrano A. (2017). The RITMARE Italian Fixed-Point Observatory Network (IFON). EUROCEAN – Conference on Ocean Observation Systems, Island of Capri, Italy, 24 October 2017. Poster / Comunicazione orale.
- Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., Di Sarra A., Araci A., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D'Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Miserocchi S., Paschini E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2015). The RITMARE Italian Fixed-point Observatory Network (IFON)

-
- for marine environmental monitoring: a case study. La geologia marina in Italia – Primo convegno dei geologi marini italiani, 18-19 febbraio 2016, CNR, Roma. Poster.
- Ravaioli M., Bortoluzzi G., Riminucci F., Miserocchi S. (2012). E1 and S1 meteo-oceanographic buoys (North Adriatic Sea) – Technical details, data, open problems and “Best practices”. JERICO Project, Best Practice Workshop, 4-5 October 2012, Heraklion, Creta. Comunicazione orale.
- Ravaioli M., Bortoluzzi G., Riminucci F., Russo A., Focaccia P. (2012). Segnali dell'evento di febbraio 2012 nelle Boe S1 ed E1 (Area Emilia Romagna). Workshop sul raffreddamento delle acque nel nord Adriatico del febbraio 2012, 20 Aprile 2012, OGS, Trieste. Comunicazione orale.
- Ravaioli M., Riminucci F., Capotondi L., Bergami C., Albertazzi S., Giordano P., Stanghellini G., Tarozzi L., Coluccelli A., Russo A. (2016). Indagini e tecnologie nel sito LTER Delta del Po e costa Romagnola, nell'ambito dell'osservatorio Ecologico Alto Adriatico. Convegno nazionale LTER -10 anni ... e li dimostra: Risultati e prospettive della Rete LTER-Italia, Mantova, 16 Novembre 2016. Poster.
- Ravaioli M., Russo A., Bortoluzzi G., Coluccelli A., Falcieri F., Focaccia P., Riminucci F., Stanghellini G. (2009). Misure pluriennali in continuo da due boe meteo-oceanografiche al largo della costa romagnola. XIX Congresso dell'Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, Venezia, 22-25 Settembre 2009. Comunicazione orale.
- Riminucci F., Böhm E., Bortoluzzi G., Santoleri R., Colella S., Ravaioli M., Acri F. (2013). Estimating chlorophyll from continuous fluorescence measurements offshore Rimini (E1 buoy, Emilia-Romagna coast) to validate satellite remotely-sensed observations. III convegno del Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa – GNOO, Oristano, 3-5 giugno 2013. Comunicazione orale.
- Riminucci F., Davolio S., Coluccelli A., Ferrarin C., Ravaioli M., Carrara G., Marucci F., Stanghellini G., Landi T.C., Malguzzi P., Bonasoni P. (2018). INFORMARE: an integrated information system for weather-marine observations and forecasts for the Emilia-Romagna. Primo Congresso Nazionale AISAM, Bologna, 10-13 settembre 2018. Comunicazione Orale.
- Riminucci F., Ravaioli M., Bortoluzzi G., Bergami C. (2015). E1 and S1 coastal observatories in the JERICO Project (Northern Adriatic sea, Italy). JERICO Project, Final meeting, 27-30 April 2015, Ifremer Brittany Center, Brest, France. Poster.
- ## Rapporti Tecnici e deliverable di progetto
- Bastianini M., Ravaioli M., Bernardy Aubry F., Braga F., Camatti E., Finotto S., Socal G., Chiarini F., Dal Passo E., Del Bianco F., Focaccia P., Giglio F., Lipparini E., Riminucci F., Caccamo G., Campanelli A., Frapiccini E., Del Negro P., Fabbro C., Ianora A., Lauritano C., Roncalli V., Colluccelli A., Carone E., Santangeli S., Miccoli A. (2011). Report on the oceanographical, bio-geochemical, geophysical and geological activities during Cruise ENVADRI2011with R/V Urania: Adriatic Sea (2011-04-07-2011-04-20). Projects ENVEUROPE and LTER. CNR – ISMAR Bologna Cruise Report, http://ricerca.ismar.cnr.it/CRUISE_REPORTS/SRC/ISMAR-VE/2011/ENVADRI2011/ENVADRI2011_ENG REP/.
- Bastianini M., Riminucci F., Bernardi Aubry F., Casotti R., Coluccelli A., Trano A.C., Epinoux A., Donnarumma V. (2019). Rapporto sulle attività biologiche, oceanografiche, geologiche svolte durante la campagna INTERNOS19 (20-28 Febbraio 2019) con N/O Dallaporta nel mare Adriatico centro-settentrionale. Rapporto Tecnico CNR-ISMAR N° 2, 2019, pp. 1-35. <http://www.ismar.cnr.it/file/prodotti/rapporti-tecnici/REPORT%20INTERNOS2019.pdf>.
- Bastianini M., Riminucci F., Capondi L., Barra E., Pasqual S., Casotti R., Trano A.C., Van Dijk M., Mauro C., Fabbro C. (2017). Rapporto sulle attività oceanografiche, biologiche, geologiche e di manutenzione della stazione meda S1-GB svolte durante la campagna oceanografica LTER-ANOC16 (26-30 aprile 2016) con N/O Dallaporta nel Mare Adriatico settentrionale. Rapporto Tecnico CNR-ISMAR, N° 145, pp. 1-27, DOI: 10.13140/RG.2.2.22197.68326.
- Bastianini M., Riminucci F., Pansera M., Coluccelli A., Casotti R., Dal Passo E., Datto L., Van Dijk M., Russo E., Titocci J., Pazzaglia J., Virgili S. (2017). Rapporto sulle attività biologiche, oceanografiche,

geologiche e di manutenzione della stazione Boa E1 svolte durante la campagna INTERNOS17 (14-21 marzo 2017) con N/O Minerva Uno nel Mare Adriatico centro-settentrionale. Rapporto Tecnico CNR-ISMAR N° 146, 2017, pp. 1-37. DOI: 10.13140/RG.2.2.24714.26569.

Bortoluzzi G., Chiarini F., Riminucci F., Falcieri F., Katia K. (2010). Rapporto sulle attivita' oceanografiche, manutenzione boe e campionamento fondo durante la Crociera LTES1-10 02 (R/V Mariagrazia: Nord Adriatico, 2010-11-22 – 2010-11-30). ISMAR Bologna Cruise Report, Novembre 2010, <http://www.ismar.cnr.it/prodotti/reports-campagne/2010-2019>.

Bortoluzzi G., Del Bianco F., Giglio F., Riminucci F., Coluccelli A., Falcieri F., Bastari A., Giordano G., Pacitti D., Giordano A., Keller N. (2009). Rapporto sulle operazioni di manutenzione boe ed esecuzione di transetti oceanografici in Mare Adriatico (R/V Urania, 24 Febbraio – 2 Marzo 2009). (Progetto FISR – VECTOR), CNR – ISMAR Bologna Cruise Report, Marzo 2009, http://projects.bo.ismar.cnr.it/CRUISE_REPORTS/2009/VELTUR09_REP/.

Ravaioli M., Bergami C. et al. (2013). Progetto Bandiera RITMARE, Deliverable SP5_WP3_AZ1_UOO1_D01 “Stato dell’arte e parziale upgrade delle stazioni fisse: mede Paloma e TeleSenigallia, Boe E1 ed S1”, pp. 15PROT. CNR N. 0025706 del 18/04/2016.

Ravaioli M., Bergami C. et al. (2013). Progetto Bandiera RITMARE, Deliverable SP5_WP3_AZ1_UOO1_D02 “Relazione dello stato dell’arte della rete di siti osservativi”, pp. 39, PROT. CNR N. 0025707 del 18/04/2016.

Ravaioli M., Bergami C. et al. (2014). Progetto Bandiera RITMARE, Deliverable P5_WP3_AZ1_UOO1_D03 “Relazione sulle varie progettualità nazionali ed europee sulle reti di siti fissi per il mare”, pp. 21 PROT. CNR N. 0025708 del 18/04/2016.

Riminucci F., Bergami C., Ravaioli M. (2015). Installazione di stazione a Meda Elastica nel sito S1GB (Delta del Po). ISMAR, CNR, Sede di Geologia Marina di Bologna. ISMAR CNR Bologna Technical Report n. 137, pp. 24.

Bibliografia Transetto Senigallia Susak

Lavori ISI

Campanelli A., Grilli F., Paschini E., Marini M. (2011). The influence of an exceptional Po River flood on the physical and chemical oceanographic properties of the Adriatic Sea. *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, 52: 284-297.

Degobbis D., Gilmartin M. (1990). Nitrogen, phosphorus and biogenic silicon budgets for the Northern Adriatic Sea. *Oceanologica Acta*, 13: 31-45.

Grilli F., Accoroni S., Acri F., Bernardi Aubry F., Bergami C., Cabrini M., Campanelli A., Giani M., Guicciardi S., Marini M., Neri F., Penna A., Penna P., Pugnetti A., Ravaioli M., Riminucci F., Ricci F., Totti C., Viaroli P. and Cozzi S. (2020). Seasonal and Interannual Trends of Oceanographic Parameters over 40 Years in the Northern Adriatic Sea in Relation to Nutrient Loadings Using the EMODnet Chemistry Data Portal. *Water* 12: 2280 doi:10.3390/w12082280.

Grilli F., Paschini E., Precali R., Russo A., Supic N. (2005). Circulation and horizontal fluxes in the northern Adriatic Sea in the period June 1999July 2002 Part I: Geostrophic circulation and current measurement. *Science of the Total Environment*, 353: 115-25.

Marini M., Fornasiero P. & Artegiani A. (2002). Variations of hydrochemical features in the coastal waters of Monte Conero: 1982-1990. *Mar. Ecol.*, 23(1): 258-271.

Marini M., Jones B.H., Campanelli A., Grilli F., Lee C.M. (2008). Seasonal variability and Po River plume influence on biochemical properties along western Adriatic coast. *Journal of Geophysical Research*, 113, C05S90: DOI: 10.1029/2007JC004370.

Ravaioli M., Bergami C., Riminucci F., Langone L., Cardin V., Di Sarra A., Aracri S., Bastianini M., Bensi M., Bergamasco A., Bommarito C., Borghini M., Bortoluzzi G., Bozzano R., Cantoni C., Chiggiato J., Crisafi E., D’Adamo R., Durante S., Fanara C., Grilli F., Lipizer M., Marini M., Misericocchi S., Paschini

-
- E., Penna P., Pensieri S., Pugnetti A., Raicich F., Schroeder K., Siena G., Specchiulli A., Stanghellini G., Vetrano A., Crise A. (2016). The RITMARE Italian Fixed-Point Observatory Network (IFON) for marine environmental monitoring: a case study. *Journal of Operational Oceanography*, 9 (S1), s202-s214, <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2015.1114806>.
- Totti C., Cangini M., Ferrari C., Kraus R., Pompei M., Pugnetti A., Romagnoli T., Vanucci S., Socal G. (2005). Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea. *Science of the Total Environment*, 353: 204-217.
- Totti C., Romagnoli T., Accoroni S., Coluccelli A., Pellegrini M., Campanelli A., Grilli F., Marini M. (2019). Phytoplankton communities of the northern Adriatic Sea: interdecadal variability over a 30 years period (1988-2016) and possible relationships with meteoclimatic drivers. *Journal of Marine Systems*, 193, 137-153. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2019.01.007>.

Comunicazioni orali – Poster

Totti C., Marzocchi M., Cucchiari E.M., Romagnoli T., Barletta D., Artegiani A., Solazzi A. (2002). The winter diatom bloom of the northern Adriatic Sea: long-term recurrence (1979-2001) and possible relationships with climate, in: 2nd National Conference SINAPSI, Climate Variability and Effects on the Mediterranean Marine Ecosystems. Portonovo (Ancona) 13-15 May 2002.

Autori

Adriana Zingone, Maria Cristina Buia, Cecilia Balestra, Marco Cannavacciolo, Raffaella Casotti, Fabio Conversano, Domenico D'Alelio, Iole Di Capua, Bruno Iacono, Daniele Iudicone, Lorenzo Longobardi, Maurizio Lorenti, Francesca Margiotta, Maria Grazia Mazzocchi, Marina Montresor, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Lucia Porzio, Vincenzo Rando, Maurizio Ribera d'Alcalà, Maria Saggiomo, Vincenzo Saggiomo, Diana Sarno, Ferdinando Tramontano, Gianluca Zazo, Valerio Zupo

Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli – Villa Comunale 80121, Napoli, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/0f59e22d-1db8-481e-a8b7-f2810fcfc178>

Referente Macrosito: Adriana Zingone.



Fig. 1- Posizione geografica del macrosito Golfo di Napoli (Mar Tirreno) (sinistra) e posizione dei due siti di campionamento del plancton (LTER-MC) e del benthos (LTER-LA) all'interno del Golfo (destra)

Siti di ricerca:

LTER-MareChiara (LTER-MC), IT13-001-M
LTER-Lacco Ameno (LTER-LA), IT13-002-M

Tipologia di ecosistema: ecosistema marino costiero

Citare questo capitolo come segue: Zingone A., Buia M.C., Balestra C. *et al.* (2021). IT13-M Golfo di Napoli, p. 439-467. DOI: 10.5281/zenodo.5584753. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il Golfo di Napoli (Mar Tirreno Centrale, Mediterraneo Occidentale) si estende tra 40°50'-40°32'N e 13°52'-14°28'E, con un'area di 870 km² e una profondità media di 170 m. Lungo le sue coste, già abitate in epoca pre-romana, vivono circa 4 milioni di abitanti. L'attività delle grandi industrie è estremamente ridotta, mentre è significativa l'attività delle piccole aziende. Nel Golfo coesistono zone inquinate, fra cui Siti di Interesse Nazionale (SIN) quali Bagnoli-Coroglio e Napoli orientale, e zone ad alto grado di naturalità, quali le Aree Marine Protette di Punta Campanella e del Regno di Nettuno.

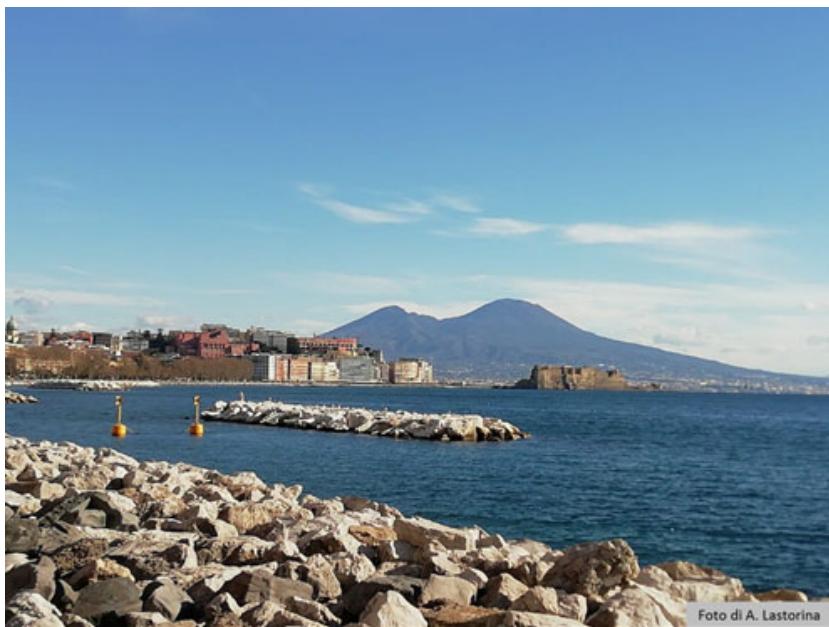


Foto di A. Lastorina

Fig. 2 - Veduta della zona costiera del Golfo di Napoli dalla Baia di Mergellina, con il Castel dell'Oro e il Vesuvio sullo sfondo

CO₂ sul fondale marino, che consente di studiare gli adattamenti di organismi e sistemi bentonici all'acidificazione del mare, rappresentando una peculiare finestra su condizioni previste in un futuro ormai non lontano.

A supporto delle attività osservative svolte nel Golfo di Napoli, dal 2016 sono state installate due boe oceanografiche MEDA elastiche a breve distanza dalla costa, una di fronte alla Stazione Zoologica Anton Dohrn e una di fronte a Bagnoli. Tali boe sono attrezzate con sensori meteorologici, sonde profilanti multiparametriche e correntometri ADCP. I dati meteo-marini ad alta frequenza vengono trasmessi a terra in tempo reale attraverso un ponte Wi-Fi a larga banda ed anche tramite la rete GSM.

Abstract

The Gulf of Naples (Central Tyrrhenian Sea, Western Mediterranean Sea) extends between 40°50'-40°32'N and 13°52'-14°28'E, with an area of 870 km² and an average depth of 170 m. About 4 million people live along the coasts, which have been inhabited since the pre-Roman age. The Gulf is characterized by the contrast between highly polluted areas (Bagnoli-Coroglio, Eastern-Naples) and pristine sites identified as Marine Protected Areas (Punta Campanella, Regno di Nettuno). The macrosite includes two sampling stations, one for the study of plankton and one for the study of benthos. The plankton sampling area is located off the city of Naples, at the border between the eutrophic littoral area and the oligotrophic open waters. The benthic sampling site is occupied by the highly valuable *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadows which extend over a wide bathymetric range along the Ischia Island coasts. A further peculiarity of this island stemming from its volcanic nature is represented by the CO₂ emissions from the seabed which allow to study the adaptations of organisms

Il macrosito comprende due stazioni di campionamento, una per lo studio del plancton ed una per lo studio del benthos. La zona di campionamento del plancton si trova al largo della città di Napoli, in un'area soggetta all'impatto della costa ma anche delle acque oligotrofiche del Tirreno. La zona di campionamento del benthos si trova sull'Isola di Ischia, nell'habitat ad alta valenza ecologica costituito dalle praterie di *Posidonia oceanica* (L.) Delile che sono distribuite lungo un'ampia fascia batimetrica in varie zone dell'isola. Un'ulteriore particolarità di quest'area, derivante dalle sue caratteristiche vulcaniche, è la presenza di emissioni gassose di

and benthic ecosystems to acidification. In support to the observational activities, two MEDA-elastic buoys were installed in 2016 at a short distance from the coast, one off the Stazione Zoologica Anton Dohrn and the other off Bagnoli. The buoys are equipped with meteorological sensors, multi-parametric profiling probes and ADCP current-meters. High-frequency data are transmitted in real time via a broadband Wi-Fi bridge and also via the GSM network.

LTER-Marechiara

Autori

Adriana Zingone, Cecilia Balestra, Marco Cannavacciolo, Raffaella Casotti, Fabio Conversano, Domenico D'Alelio, Iole Di Capua, Daniele Iudicone, Lorenzo Longobardi, Francesca Margiotta, Maria Grazia Mazzocchi, Marina Montresor, Augusto Passarelli, Isabella Percopo, Maurizio Ribera d'Alcalà, Maria Saggiomo, Vincenzo Saggiomo, Diana Sarno, Ferdinando Tramontano, Gianluca Zazo

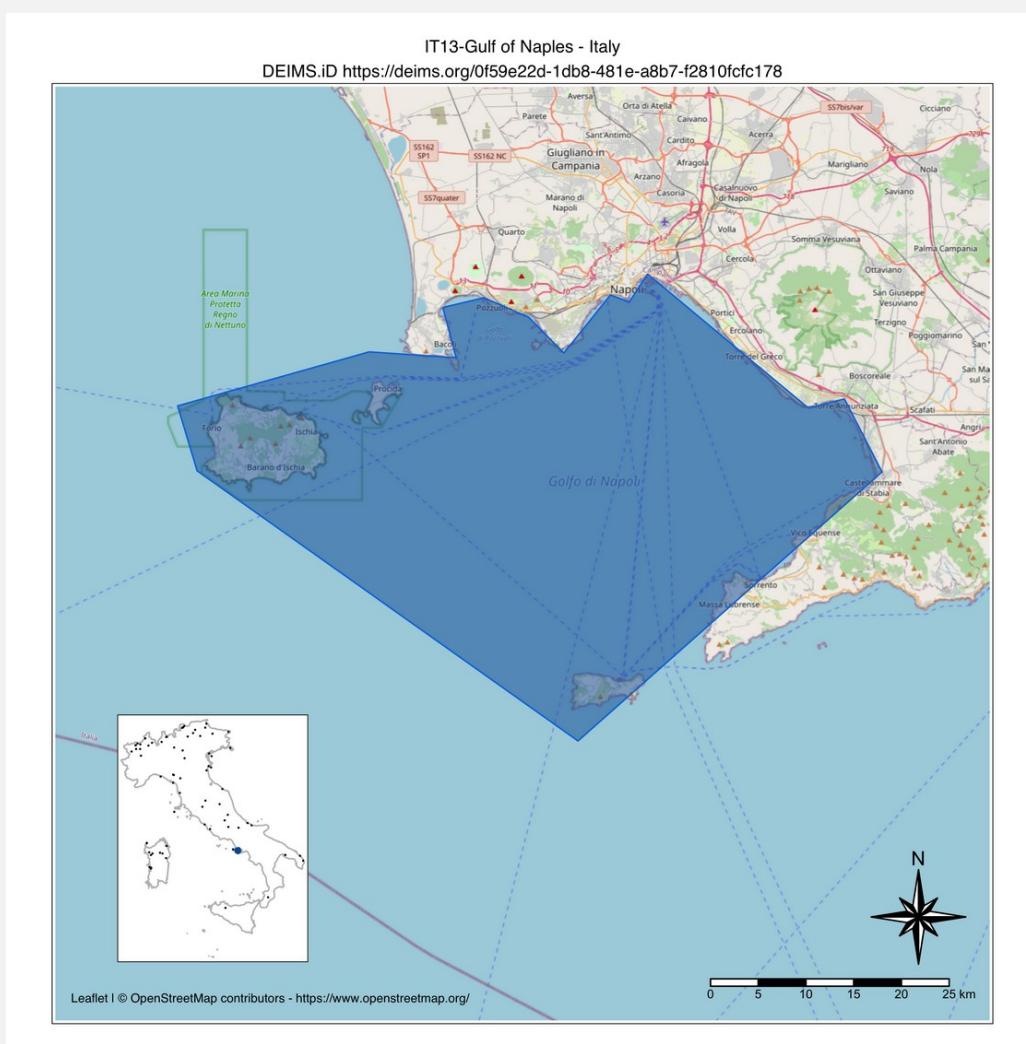
Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli, Villa Comunale, 80121 Napoli, Italia.

Sigla: IT13-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/0b87459a-da3c-45af-a3e1-cb1508519411>

Responsabile sito: Adriana Zingone.



Descrizione del Sito e delle sue finalità

I primi studi su specie animali e vegetali del Golfo di Napoli risalgono al secolo XIX e si sviluppano successivamente con la fondazione della Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN) nel 1872 (Issel 1934; Indelli 1944; De Angelis 1958; Hure & Scotto di Carlo 1968). L'ecologia delle comunità fito- e zooplanctoniche diventa tuttavia oggetto di studio continuativo negli anni '70 del secolo scorso (p.es., Carrada *et al.* 1982), e in particolare con l'inizio delle ricerche a lungo termine condotte alla stazione

LTER-MC dal 1984 (Scotto di Carlo *et al.* 1985; Ribera d'Alcalà *et al.* 2004).



Fig. 3 - Campionamento di zooplankton al sito LTER-MC

quindicinale, diverse stazioni dell'area più costiera dell'intera Regione Campania (<http://www.sidimar.tutelamare.it>).

Fanno parte della serie LTER-MC analisi delle seguenti variabili:

- fisiche: temperatura, irradianza;
- chimiche: salinità, ossigeno dissolto, nutrienti inorganici ed organici, carbonio e azoto particellato, carbonio organico dissolto;
- biologiche: fluorescenza, clorofilla, pigmenti fotosintetici, picoplancton e batteri eterotrofi, fitoplancton, mesozooplankton.

Le attività più recenti comprendono:

- analisi della struttura e dinamica della rete trofica con approcci modellistici dal 2014;
- raccolta di dati in continuo da boe oceanografiche dal 2016;
- visualizzazione dei dati idrografici, fito e zooplancton <http://szn.macisteweb.com> dal 2014;
- variabilità spaziale del plancton nella baia di Napoli con termosalinografo/fluorimetro dal 2016;
- microturbolenza lungo la colonna d'acqua dal 2016;
- distribuzione del picoplancton e fitoplancton con citofluorimetria (CytoSense/CytoSub) dal 2016;
- partecipazione al campionamento sincrono mondiale dell'Ocean Sampling Day (OSD);
- monitoraggio di macroplancton gelatinoso (dal 2019).
- Alcune attività e analisi di dati relativi al sito LTER-MC sono state limitate a determinati periodi di tempo:
- microzooplankton (ciliati) (1997-2009);
- tassi riproduttivi del copepode *Centropages typicus* (1995-2017)

-
- calcolo dei tassi di mortalità naturale non dovuta a predazione nelle popolazioni di copepodi (2013);
 - diversità dei protisti con tecniche di High Throughput Sequencing-metabarcoding di sequenze diagnostiche di DNA (2011-2014);
 - diversità batterica con tecniche di High Throughput Sequencing-metabarcoding di sequenze diagnostiche di DNA (2014-2015);
 - abbondanze di virus marini liberi (2014);
 - biomassa media di singole specie del mesozooplanocton (2015);
 - studio di una fioritura estiva di plancton in mesocosmi in presenza di microplastiche (estate 2016);
 - analisi quali-quantitativa di sostanze di origine lipidica nel fitoplancton (2016-2018);
 - biologia riproduttiva e risposta genica allo stress nel copepode *Temora stylifera* (2016-2018).

Oltre che per la raccolta dell'importante serie di dati, unica nel Mediterraneo per risoluzione tassonomica, il sito LTER-MC è utilizzato come 'laboratorio naturale' nel quale vengono condotte, per periodi limitati, ricerche mirate a testare ipotesi nate dalle osservazioni a lungo termine e rispondere a domande fondamentali, ancora aperte, che riguardano la biodiversità e l'ecologia del plancton. Le attività di campionamento e analisi e gli studi condotti sulla base dei dati o di campionamenti mirati vengono effettuate da ricercatori, tecnologi e tecnici della SZN, con la partecipazione di studenti di laurea e dottorato avvicendatisi negli anni. Alcune attività si giovano di collaborazioni esterne nazionali o internazionali.

Risultati

La ricerca ecologica alla stazione LTER-MC si è rivelata negli anni una risorsa preziosa per la comprensione del sistema planctonico del Golfo di Napoli, dando spunto e fornendo materiale e dati ad oltre 140 studi che hanno affrontato numerosi temi riguardanti il plancton marino, recentemente sintetizzati in una rassegna (Zingone *et al.* 2019). Fra i temi affrontati, in particolare negli ultimi anni, vanno evidenziati: i) la biodiversità studiata con approcci tassonomici, sia morfologici che molecolari, riguardante specie selezionate, gruppi di specie o l'intera comunità planctonica; ii) i cicli stagionali, la variabilità interannuale e le tendenze a scala decadale; iii) le interazioni interspecifiche realizzate attraverso relazioni trofiche. I risultati di questi studi nel loro complesso dimostrano il grande valore delle serie temporali, le quali, oltre a registrare fluttuazioni e tendenze del sistema, svolgono un ruolo primario nello sviluppo della conoscenza scientifica del plancton, con ricadute molto al di là della scala e dell'interesse locale.

La stazione LTER-MC è uno dei pochi siti di ricerca a lungo termine in cui la diversità del plancton marino è regolarmente monitorata a livello di specie, con studi tassonomici dettagliati basati su microscopia e, particolarmente per il fitoplancton, su analisi molecolari. Questi studi hanno portato, negli anni, alla descrizione di più di 20 specie nuove e all'identificazione di circa 750 taxa microalgalici e di 212 taxa mesozooplanoctonici. Questi numeri sono tuttavia certamente sottostimati perché molti gruppi (soprattutto fra i protisti, ma anche fra i metazoi) necessitano ancora di indagini tassonomiche approfondite a livello morfologico e molecolare. L'alta diversità specifica di fito – e zooplancton al sito LTER-MC è probabilmente dovuta alle caratteristiche sub-tropicali del Mediterraneo, in contrasto con la posizione geografica del bacino, e all'influenza nel Golfo di Napoli di acque sia costiere che di largo. Le accurate osservazioni tassonomiche condotte nel sito LTER-MC hanno anche portato ad una conoscenza approfondita delle specie algali tossiche presenti nel Golfo e della loro stagionalità, e hanno permesso di rilevare la presenza di un certo numero di specie aliene potenzialmente invasive. Fra le specie responsabili di fioriture nocive è stata recentemente descritta la nuova specie tossica *Azadinium dexteroporum* (Percopo *et al.* 2013). La ricerca sulla diversità del plancton a LTER-MC si è negli anni ampliata a considerare diversi aspetti relativi all'identità delle specie, come la filogenesi, i cicli vitali, le caratteristiche biochimiche, fisiologiche e metabolomiche, le strategie di alimentazione, il

comportamento, nonché aspetti ecologici come la fenologia delle specie e la loro diversità durante le fioriture.

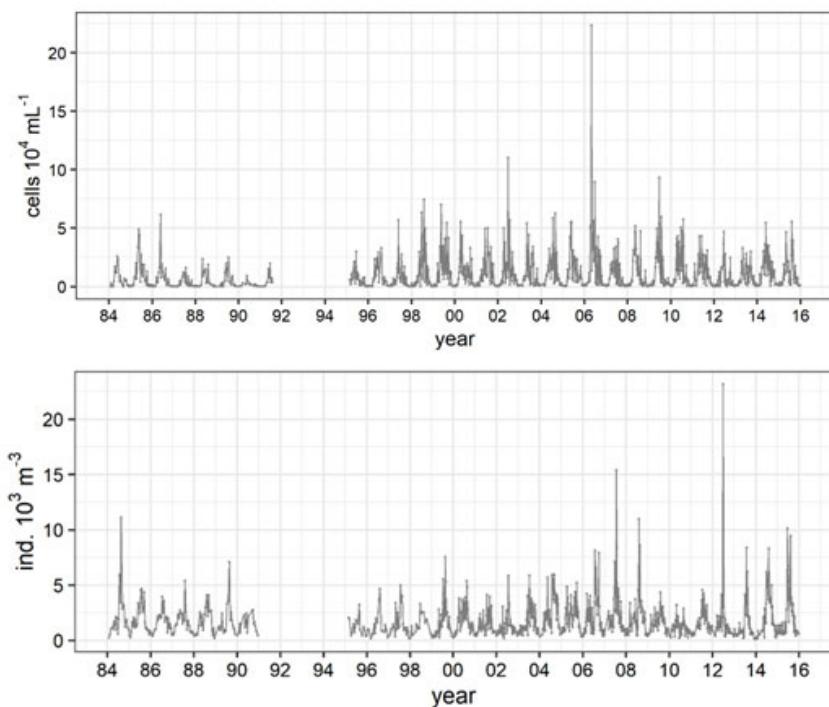


Fig. 4 - Variabilità interannuale delle abbondanze totali fitoplanctoniche (pannello superiore) e mesozooplanctoniche (pannello inferiore) alla stazione LTER-MC negli anni 1984-2015 (dati non pubblicati)

Dall'analisi dell'andamento temporale del plancton della stazione LTER-MC alle scale stagionali e decadali è stata evidenziata una notevole variabilità interannuale (Fig. 4), con pochi trend significativi nelle prime due decadi della serie (Ribera d'Alcalà *et al.* 2004; Mazzocchi *et al.* 2011). Fra questi, sono stati evidenziati un aumento della temperatura estiva dell'acqua superficiale, una diminuzione della biomassa fitoplanctonica (come clorofilla *a*) e una diminuzione delle dimensioni cellulari del fitoplancton, principalmente a causa di un aumento percentuale delle diatomee di piccola taglia, un trend che si è invertito negli ultimi anni (Sarno & Zingone, dati non pubblicati, in Morabito *et al.* 2018).

Fra i copepodi, che rappresentano il gruppo più numeroso del mesozooplankton, due fra le specie più abbondanti, *Acartia clausi* e *Centropages typicus*, hanno mostrato cambiamenti nella fenologia, con un significativo anticipo del loro ciclo stagionale in relazione ad anomalie positive di temperatura, una risposta osservata anche in altre specie zooplanktoniche a diverse latitudini in relazione ai cambiamenti climatici (Mackas *et al.* 2012). La scomparsa di alcune specie di copepodi tipici di aree confinate e l'aumento del contributo di altre specie caratteristiche invece di acque aperte (Mazzocchi *et al.* 2012) suggeriscono inoltre che la stazione LTER-MC abbia acquisito, almeno negli anni fino al 2006, un carattere meno costiero, confermando il segnale già evidenziato dalla diminuzione della biomassa vegetale.

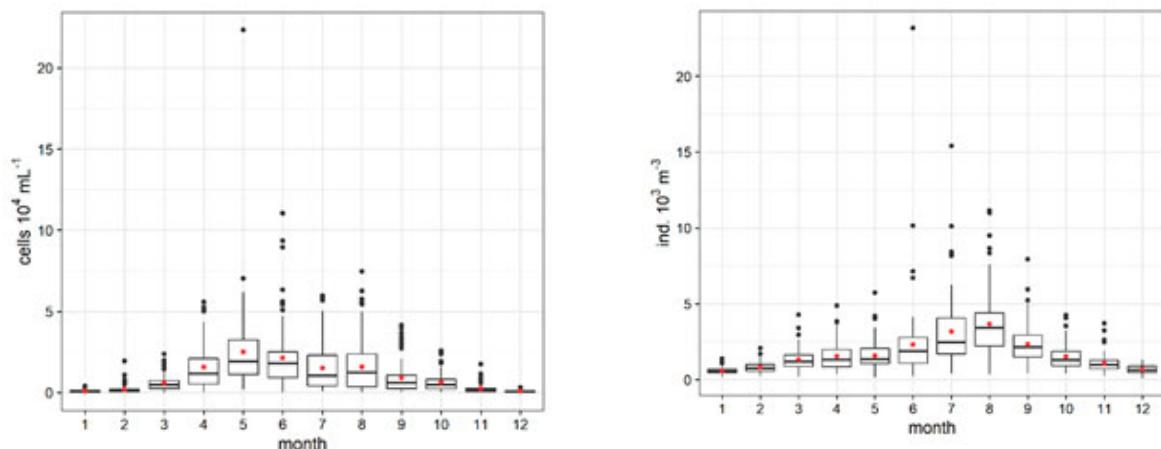


Fig. 5 - Ciclo medio annuale delle abbondanze totali fitoplanctoniche (sinistra) e mesozooplanctoniche (destra) alla stazione LTER-MC nel periodo 1984-2015 (dati non pubblicati)

Dal complesso dei risultati emerge che il principale forzante del sistema pelagico locale è la stagionalità, che ne influenza profondamente le componenti abiotiche e biotiche (fito-, micro- e mesozooplanocton) (Fig. 5). Nonostante l'elevata variabilità interannuale osservata nelle caratteristiche ambientali, le diverse fasi del ciclo annuale si ripetono negli anni sia per le comunità planctoniche nel loro insieme che per le specie più comuni. Si osservano infatti successioni stagionali regolari sia, nei copepodi, tra le specie più abbondanti di calanoidi (Mazzocchi *et al.* 2012) e tra le specie congeneriche di *Clausocalanus* e *Oithona* (Mazzocchi & Ribera d'Alcalà 1995), sia, nel fitoplancton, tra i dinoflagellati del genere *Triplos*, le diatomee del genere *Pseudo-nitzschia* e le diverse specie di criptoficee (Tunin-Ley *et al.* 2009; Ruggiero *et al.* 2015; Cerino & Zingone 2006). Questi risultati evidenziano un'insospettata resilienza delle comunità costiere e suggeriscono che la successione stagionale è principalmente regolata da fattori biologici, quali i cicli vitali, i tratti fisiologici specie-specifici e le interazioni fra specie.

Fra queste ultime, le interazioni trofiche all'interno del comparto planctonico sono state analizzate a livello specifico utilizzando LTER-MC come sistema modello (D'Alelio *et al.* 2015, 2016a, b). Da questo studio è emerso che la rete trofica cambia in funzione delle diverse caratteristiche della colonna d'acqua: dominano i legami fra fito – e mesozooplanocton quando il sito è in condizioni eutrofiche a causa dell'influenza di acque costiere, mentre dominano i legami del microbial loop quando il sito è occupato dalle acque oligotrofiche di largo. Inoltre, la stessa comunità, grazie alla sua diversità biologica, può rispondere in modo adattativo alle oscillazioni tra condizioni trofiche diverse, essendo i vari consumatori in grado di cambiare le preferenze alimentari in base alle risorse disponibili.

Di particolare interesse, fra gli studi affrontati negli ultimi anni, si sono rivelati i risultati di indagini molecolari condotte su DNA ambientale (metabarcoding) ottenuto da campioni d'acqua prelevati a LTER-MC. Nel caso del fitoplancton, questo approccio permette di stimare con maggiore obiettività, omogeneità e risoluzione la diversità di questi microorganismi, molti dei quali sono difficilmente identificabili in microscopia ottica e a volte persino in microscopia elettronica. I primi studi, condotti con la tecnica del clonaggio, hanno permesso di tracciare la stagionalità di flagellati unicellulari planctonici e di diatomee tossiche del genere *Pseudo-nitzschia*, che include moltissime specie pressocché indistinguibili se non con approcci molecolari (McDonald *et al.* 2007a, b; Ruggiero *et al.* 2015). Più recentemente, l'introduzione delle tecnologie di High Throughput Sequencing (HTS) ha permesso di ottenere una panoramica completa dell'intera comunità a protisti, evidenziandone molti aspetti di diversità finora non conosciuti (Piredda *et al.* 2017a, b, 2018). I risultati ottenuti dimostrano fra l'altro l'opportunità di condurre questo tipo di studi in siti di ricerca a lungo termine, dove le informazioni sulla biodiversità genetica possono essere inquadrate in un contesto ecologico, permettendo, ad esempio, inferenze sulla relazione fra biodiversità e fattori ambientali e previsioni a lungo termine sui cambiamenti di biodiversità e sui suoi impatti sull'ecosistema marino.

Numerose sono state negli anni le tesi di laurea, master e dottorato di ricerca che hanno affrontato e sviluppato tematiche collegate al programma LTER-MC, in alcuni casi per studi ecologici basati su elaborazioni statistiche e modellistiche del dataset, in altri per attività complementari riguardanti particolari aspetti dell'ecologia del plancton.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Le attività alla stazione LTER-MC sono state sempre finanziate da fondi FOE della SZN e, nel corso degli anni, sono state supportate anche da vari programmi nazionali, quali i progetti MIUR-SINAPSI, VECTOR e RITMARE e internazionali quali LIFE+ ENVEUROPE e EU-BioMarKs, nonché da Infrastrutture di Ricerca Europee (ESFRI) quali EMBRC e LifeWatch. LTER-MC è inoltre parte di networks internazionali che, pur non prevedendo fondi per la ricerca, costituiscono un'opportunità per collaborazioni. Fra questi: la rete internazionale dei Genomic Observatories (GOs), i gruppi di lavoro SCOR (Scientific Committee on Ocean Research), l'IOC-IGMETS (International Group for Marine Ecological Time Series), l'ICES-WGZE (Working Group of Zooplankton Ecology), l'ICES-WGIMT (Working Group of Integrated Morphological and Molecular Taxonomy) e l'IOC-

TrendsPO (Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans).

Attività di divulgazione

Il sito LTER-MC è stato protagonista di alcuni degli eventi di divulgazione realizzati in occasione dell'iniziativa *Cammini LTER* (Bergami *et al.* 2018). Nel luglio 2015 è stato organizzato il Cammino in bicicletta *Mesothalassia*, dal sito LTER di Marina di Petacciato a quelli del Golfo di Napoli, il cui tema portante era l'importanza delle acque e degli esseri viventi ad essa associati nella produzione delle risorse primarie. Un nutrito gruppo di ricercatori della Stazione Zoologica ha dato il proprio contributo in occasione degli eventi di divulgazione tenutisi a Vietri sul Mare (Salerno) sul tema delle risorse ittiche e le loro relazione con il plancton, a Ischia (Napoli) sul tema la vita sul fondo del mare e l'acidificazione degli oceani e, a Napoli, sul ruolo degli ecosistemi pelagici e nel funzionamento del Pianeta Terra. In particolare, alla sede di Napoli della Stazione Zoologica, in occasione di *Mesothalassia* si è tenuto un evento ‘porte aperte’ con osservazioni di campioni di plancton al microscopio. Nell’ottobre 2017, i ricercatori che collaborano al programma LTER-MC hanno contribuito all’organizzazione del Cammino in bicicletta *Antropica*, da Napoli a Taranto, il cui tema principale è stato il rapporto tra salute degli ecosistemi e attività umane, in particolare quelle industriali. Il macrosito Golfo di Napoli è stato presentato in un articolo divulgativo focalizzato sui cambiamenti degli ecosistemi per la rivista *Sapere*; inoltre, le ricerche LTER condotte nel Golfo di Napoli sono state illustrate in diversi articoli pubblicati sulla rivista *La nuova ecologia*. Una menzione particolare merita il libro *Uno scienziato a pedali* (D’Alelio & Rigatti 2017) in cui si racconta l’esperienza di *Mesothalassia* arricchendola di contenuti scientifico-divulgativi inerenti al plancton, con riferimento agli studi condotti a LTER-MC, agli ecosistemi marini in generale e ai principi fondamentali dell’Ecologia. Inoltre, in questo libro viene anche raccontata sinteticamente la storia della nascita della serie temporale LTER-MC.

La serie LTER-MC è stata oggetto di comunicazioni orali e poster presentati in numerosi eventi di divulgazione tenutisi a Napoli, fra cui: l’evento per *Tara Oceans* (ottobre 2014), *FuturoRemoto* (ottobre 2015), la *Naples Shipping Week* (giugno 2016) il *Convegno sulla Baia di Napoli* (ottobre 2016) e sugli *Stati Generali del Mare in Campania* (ottobre 2017). Nel 2018 le attività di ricerca di lungo termine condotte nel Golfo di Napoli sono state divulgate sotto forma di conferenze-spettacolo ideate da D. D’Alelio nell’ambito di diversi festival culturali, come l’*European Researchers’ Night* (tappa di Napoli, 28 settembre), il *Festival della Scienza* (Genova, 1° novembre), *FuturoRemoto* (Napoli, 10 novembre) e *BookSophia* (Massa Lubrense, Napoli, 5 dicembre). Infine, le ricerche sul plancton condotte alla stazione LTER-MC sono state presentate in diverse scuole della Campania tra il 2017 e il 2019, nel corso di incontri con gli alunni e il personale docente che si sono svolti con attività teoriche e pratiche, come iniziative ludico-scientifiche.

Prospettive future

Diverse sfide si prospettano per le attività osservative condotte al sito LTER-MC e, più in generale, nel Golfo di Napoli, che concernono essenzialmente aspetti organizzativi e gestionali, socio-politici e scientifici.

Dal punto di vista gestionale, negli ultimi anni sono state investite molte energie per favorire l’evoluzione del progetto di ricerca a lungo termine sull’ecologia del plancton verso un vero e proprio Osservatorio, con l’ambizione di costituire una risorsa per una platea più ampia di portatori di interesse, inclusi ricercatori di altri istituti, studenti, e autorità preposte alla salvaguardia dell’ambiente e alla salute dei cittadini. Questa svolta, facilitata anche dalla partecipazione ai progetti LIFE + ENVEUROPE e MIUR-RITMARE, ha comportato già alcuni cambiamenti verso una migliore gestione dei dati, concretizzatisi nella messa a punto di procedure di controllo di qualità e nella partecipazione ad iniziative di condivisione di dati e metadati (DEIMS). Nel breve termine, l’obiettivo è la pubblicazione dei dati raccolti, che saranno finalmente disponibili per utenti esterni e interoperabili, in piena sintonia

con le idee e la strategia dell'Open Science e i principi FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable, Wilkinson *et al.* 2016).

Per quanto riguarda gli aspetti scientifici, oltre trent'anni di studi hanno dimostrato la rilevanza e la potenzialità di LTER-MC sia nell'evidenziare gli andamenti del plancton a diverse scale temporali, sia nello stimolare ricerche complementari che hanno ampliato notevolmente la nostra conoscenza degli organismi e del sistema planctonico nel loro complesso (Zingone *et al.* 2019). In prospettiva, si prevede di analizzare ulteriormente il ricco dataset raccolto con un ampio spettro di strumenti numerici, per studiare le tendenze evidenziate per temperatura, clorofilla e dimensione del fitoplancton, e le significative variazioni nell'abbondanza e nella fenologia di alcune specie, che potrebbero avere un ruolo di 'sentinelle' di cambiamenti ambientali. Particolare attenzione verrà data alle analisi volte ad estrarre, dalla complessità dei dati, elementi sintetici che possano dare risposte a domande di tipo socio-economico, ad esempio indicatori della qualità ambientale e dello stato delle risorse marine, aspetti fondamentali per la tutela degli ecosistemi con ricadute anche sulla salute umana, le attività turistiche e la pesca.

Il sito LTER-MC ha da sempre accolto e testato nuove tecnologie ed approcci osservativi, utilizzando, ad esempio, citofluorimetri, profilatori di turbolenza e termosalinografi in continuo che hanno prodotto una ricchezza di dati ancora tutta da esplorare. Sono oggi in fase di acquisizione sistemi automatici di rilevamento della diversità del plancton attraverso immagini in continuo corredate da procedure di identificazione automatizzata. Gli approcci molecolari e il metabarcoding, sperimentati con successo a LTER-MC fin dai loro primi sviluppi, hanno dimostrato il vantaggio del loro utilizzo nei siti di ricerca a lungo termine, dove le solide conoscenze di base consentono di disegnare in modo ottimale gli esperimenti e di interpretarne correttamente i risultati aumentandone la fruibilità. In questa direzione, è stato di recente dato il via ad un *Osservatorio Marino Aumentato* che integra approcci tradizionali e -omici con registrazioni tramite boe con sensori ottici e acustici e campionatori biomolecolari. L'Osservatorio Aumentato mira a una dettagliata caratterizzazione delle comunità di plancton (meta-barcode e meta-genomica) e delle loro funzioni (meta-trascrittomica), includendo anche indagini su taxa planctonici finora trascurati (ad esempio, macroplancton gelatinoso e ittioplancton) ma fondamentali nello studio delle reti trofiche pelagiche.

L'ampliamento delle ricerche e della disponibilità dei dati che si prospetta a breve termine costituiranno importanti elementi di attrazione anche per collaboratori esterni, sfruttando la partecipazione di LTER-MC a reti e infrastrutture di ricerca. Inoltre, un rapporto più diretto con la società e le sue esigenze richiederà azioni adeguate di divulgazione, formazione e collaborazione con altri enti ed istituzioni attivi sul territorio. L'ambizione è consolidare il sito LTER-MC come un'infrastruttura di ricerca utilizzabile per una gestione informata dell'ambiente pelagico marino a scala regionale e disponibile per la ricerca scientifica nazionale e internazionale.

Abstract

The long-term time series LTER-MC for the study of plankton and water column characteristics was established in January 1984 in the inner Gulf of Naples. The LTER-MC sampling site is located in front of the city of Naples, about 2 miles off Castel dell'Ovo, on the 75 m isobath ($40^{\circ} 48.5'N$, $14^{\circ} 15'E$), at the border between the eutrophic coastal waters and the oligotrophic open waters of the Tyrrhenian Sea. Sampling was carried out at fortnight frequency until 1991 and at weekly frequency since 1995 when the series has been resumed after a 4-years interruption (1991-1994). The following environmental variables are regularly monitored: temperature, irradiance, salinity, dissolved oxygen, inorganic and organic nutrients, carbon and particulate nitrogen, dissolved organic carbon; the biological variables include: fluorescence, chlorophyll and other photosynthetic pigments, picoplankton and heterotrophic bacteria, phytoplankton, mesozooplankton. In addition to the collection of these important datasets, the station is used as a 'natural laboratory' for targeted researches and experiments to test hypotheses arising from the long-term observations and to address still unanswered questions

concerning plankton ecology. Sampling and analyses are carried out by researchers, technologists and technicians of the Stazione Zoologica Anton Dohrn, with the participation, over the years, of numerous undergraduate and PhD students. Some activities benefit from national or international collaborations.

LTER-Lacco Ameno

Autori

Maria Cristina Buia, Bruno Iacono, Maurizio Lorenti, Lucia Porzio, Vincenzo Rando, Valerio Zupo

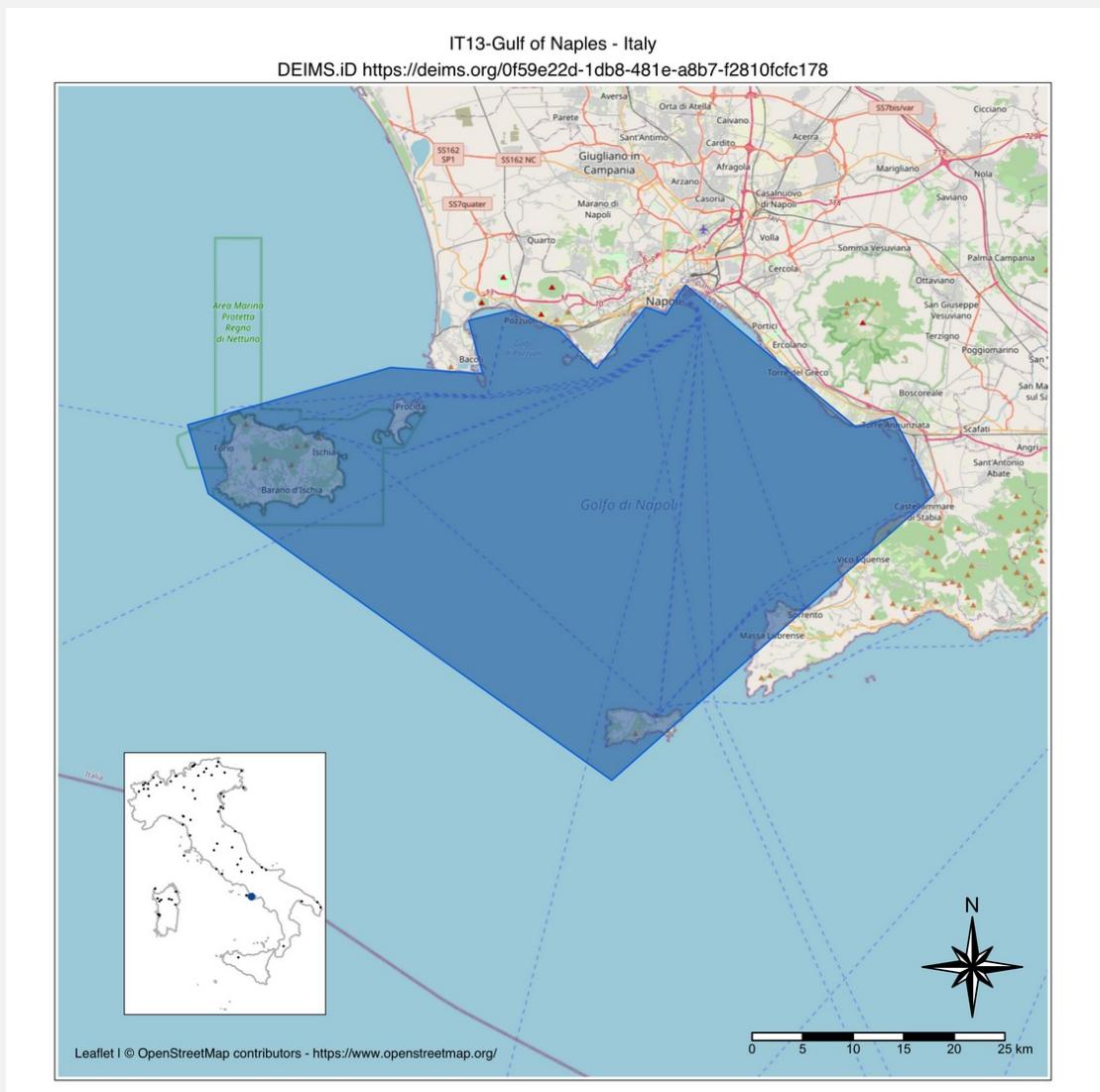
Affiliazione

Stazione Zoologica Anton Dohrn Napoli - Punta S. Pietro s/n 80077, Ischia (Napoli), Italia.

Sigla: IT13-002-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/4a05a2fb-0015-4310-96d5-a94c019bda58>

Responsabile sito: Maria Cristina Buia.



Descrizione del Sito e delle sue finalità

Sin dalla fondazione della Stazione Zoologica nel 1872, la biodiversità delle specie bentoniche dell'area flegrea è stata oggetto di studio e approfondimento. L'area ha rappresentato infatti un importante confine climatico coincidente, da una parte, con l'estremo nord dell'area di espansione delle specie che colonizzavano il Mediterraneo meridionale e, dall'altra, con l'estremo sud dell'area di espansione delle specie che preferivano regimi climatici più freddi. L'area è inoltre caratterizzata da una notevole varietà di ambienti sommersi, come attestato dalle diverse aree marine protette (AMP) che sono state nel tempo istituite. Fra queste figura il 'Regno di Nettuno', che comprende il mare che circonda l'Arcipelago Flegreo, formato dalle isole di Ischia, Procida e Vivara. Alla istituzione di questa AMP (GU nr. 85 il 10.4.2008) ha contribuito anche il personale della SZN con lo studio di fattibilità (Gambi *et al.* 2003). Tra gli ecosistemi più rappresentativi dell'area figurano le praterie a *Posidonia oceanica* (L.) Delile, già descritte da Funk (1927) e Parenzan (1956). Questa fanerogama, endemica del Mar Mediterraneo, è considerata un elemento biologico di qualità e quindi indicatrice dello stato ecologico dei sistemi costieri. Sin dal 1969, pur se in maniera discontinua, il sistema *Posidonia* dell'isola di Ischia è stato oggetto di ricerche multidisciplinari (Mazzella *et al.* 1991, 1992) che la successiva integrazione con approcci diversificati (da quello ecosistemico ed ecofisiologico a quello genetico e molecolare) ha permesso di approfondire con conoscenze sulla biologia della pianta, sulla diversità delle comunità ad essa associate, nonché sulle risposte adattative al variare delle condizioni ambientali e delle scale spazio-temporali. Tali ricerche hanno consentito al contempo di individuare i descrittori e le metodiche di studio (*in situ* ed in laboratorio) più idonee, tutt'ora in uso nella comunità scientifica internazionale (Zupo *et al.* 2001; Buia *et al.* 2004; Pergent *et al.* 2005; Waycott *et al.* 2006; Lopez y Rojo *et al.* 2011).



Fig. 6 - Sito del Castello (CA), caratterizzato da emissioni gassose (a destra)



Fig. 7 - Il sito LTER-Lacco Ameno (LA) con l'ubicazione dei punti di campionamento lungo tutta l'estensione della prateria a *Posidonia oceanica*

è ubicata la prateria LTER-LA, scelta per la sua estensione ininterrotta tra 0,5 e circa 35 m di profondità e per la sua elevata complessità strutturale (Procaccini *et al.* 2003). A partire dagli anni '80 del secolo scorso, ad alcune profondità critiche a cui corrispondevano delle discontinuità ambientali (-1, -3, -5, -10, -15 e -25 m) sono stati condotti campionamenti non regolari ma con cadenze varie (mensili e stagionali) per studiare la biodiversità delle comunità associate e le relazioni trofiche all'interno del sistema (Mazzella *et al.* 1989, 1992, 1994; Gambi *et al.* 1992; Cookson & Lorenti 2001). A questo proposito, rilevante è stata l'individuazione di sostanze chimiche che trasmettono informazioni fra organismi diversi (infochimici), liberate da alcune diatomee epifite delle foglie, che regolano la distribuzione, ad esempio, di molluschi e decapodi e che possono avere un ruolo determinante nella loro dinamica di popolazione (Zupo 1994). Negli anni '88-'89 è stata effettuata un'altra ricerca a cadenza mensile, tesa a studiare il ciclo di crescita e di produzione della pianta a due profondità (5 e 22 m) (Buia *et al.* 1992). I

risultati di tale ricerca hanno permesso di elaborare un modello predittivo della produzione basato esclusivamente sulla temperatura (Zupo *et al.* 1997). Tuttavia, anche la luce gioca un ruolo rilevante nella crescita e distribuzione batimetrica di *P. oceanica*. Lo studio condotto sulle caratteristiche fotosintetiche alle due profondità di 5 e 22 m ha evidenziato infatti come le limitazioni di luce siano responsabili delle differenze nei cicli di crescita e nei tassi di produzione tra le due stazioni di 5 e 22 m (Modigh *et al.* 1998). Successivamente, i dati ottenuti con misure di fluorescenza variabile modulata (Pulse-Amplitude-Modulation, PAM) hanno attestato un minore dispendio nei meccanismi di fotoprotezione per le piante profonde, garantendo così la stessa efficienza fotosintetica (Lorenti *et al.* 2006). Questi risultati sono stati successivamente confermati dalla integrazione di tecniche molecolari. Così, una simile efficienza fotosintetica tra piante adattate a diversi regimi luminosi è garantita, nelle piante superficiali, da un aumento dell'espressione genica legata alla fotosintesi e, nelle piante profonde, da minori valori del coefficiente di saturazione della luce (Ek). Queste diverse strategie di adattamento alla luce spiegano altresì la disgiunzione genetica dei cloni lungo il gradiente batimetrico (Migliaccio *et al.* 2005; Dattolo *et al.* 2013, 2014).

Dall'analisi storica dei dati di densità delle piante di *Posidonia* è emersa una alterazione strutturale, soprattutto negli stand più superficiali (Zupo *et al.* 2006, 2006b; Buia *et al.* in preparazione). Tale regressione sembra sia da imputare alla forte antropizzazione a cui il sito è sottoposto (la popolazione dell'abitato antistante triplica nella stagione estiva) e all'intensa attività di ancoraggio nella stagione estiva. In considerazione di queste alterazioni e delle caratteristiche biologiche della pianta (a crescita estremamente lenta), il prelievo di piante è stato ridotto al minimo per non incidere ulteriormente sulla struttura dell'habitat e quindi sulla complessità del sistema. Mantenendo il monitoraggio di base sul sito LTER-LA, dal 2005 le ricerche si sono intensificate su un'altra prateria storica, situata sempre sul versante settentrionale dell'isola, quella del Castello Aragonese (CA), compresa nella fascia batimetrica tra 3 e 6 m, in cui emissioni naturali di CO₂ abbassano il pH naturale a un valore coincidente con quello predetto per il 2100 (Hall-Spencer *et al.* 2008). La presenza di *Posidonia* lungo il gradiente di acidità (8,1 – 7,8) rappresenta un laboratorio naturale in cui valutare, a diverse scale temporali, le risposte del sistema ad un cambiamento delle condizioni chimiche del nostro mare.

I dati raccolti nel sito LTER-LA dal 1976 ad oggi e presenti su supporto cartaceo e/o elettronico si riferiscono a:

- densità della prateria (dal 1976 ad oggi con cadenza annuale, anche se non continua, lungo un transetto di profondità (*monitoraggio in corso*) o su reticolo spaziale mediante tecnica di interpolazione (kriging) (1992 e 2000, 2015);
- descrittori morfometrici della pianta (con cadenza mensile, 1981-1982 e 1988-1989; 1985, 1987, 1988, 2001, 2004, 2007, 2016);
- diversità tassonomica della comunità macroalgale epifita (cadenza mensile, 1981-1982 e 1988-1989);
- composizione dell'epifauna associata (1981-1982 e 1988-1989);
- produzione pregressa (tecnica indiretta di retrodatazione tramite lepidocronologia (2007-1972);
- misure di temperatura in continuo dal 2011 (*monitoraggio in corso*).

In particolare, i dati di densità, morfometria e produzione (tramite retrodatazione lepidocronologica) sono inseriti in un data base di tipo relazionale (POSWARE). I dati sulle alghe epifite (per ora solo le liste di specie) sono inseriti in un data base relazionale (ALGAEBRA) sulla flora del Golfo di Napoli. I dati sulla epifauna (fauna vagile) associata al sistema sono inseriti nel data base elettronico “AMP Regno di Nettuno”.

Altri dati sono desumibili da pubblicazioni e tesi specialistiche e si riferiscono a:

- mappa dei descrittori morfo-metrici mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- mappa dei valori di copertura della comunità macroalgale epifita mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- composizione e struttura dell'epifauna associata (2007, 2011);

- mappa della comunità a borers mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- produzione “*in situ*” (tecnica diretta di marcaggio, cadenza mensile, 1988-1989, -5 e -22m);
- mappa di produzione pregressa (tecnica indiretta di retrodatazione tramite lepidocronologia) mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000-1996);
- mappa di biomassa della pianta e degli epifiti mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- mappa di diversità genetica mediante tecnica di interpolazione (kriging) (2000);
- parametri fotosintetici della pianta (in laboratorio, cadenza stagionale, 1992);
- risposta fotobiologica della pianta *in situ* (cadenza stagionale, -5 e -22m, 2005-2006 e 2011);
- C e N dei diversi comparti della pianta (cadenza stagionale, 1999-2002 e 2011);
- nutrienti inorganici dell’acqua e del sedimento, salinità (cadenza mensile, 1999-2002 e 2011);
- temperatura, PAR e profondità Secchi (cadenza mensile nel 1990 e bimensile negli anni 1999-2002);
- salinità ed ossigeno dissolto (cadenza bimensile, 1999-2002).

I dati, raccolti nel sito del CA dal 2007 ad oggi, si riferiscono a:

- densità della prateria (2007, 2009, 2011, 2014, 2015);
- descrittori morfo-metrici della pianta (2007, 2009, 2011-2015);
- produzione pregressa della pianta (tecnica indiretta di retrodatazione “lepidocronologia” (2007-1993);
- produzione “*in situ*” della pianta (tecnica diretta di marcaggio: 2007, 2009, 2014, 2015);
- diversità comunità epifita associata (2007, 2012-2015);
- diversità e caratteristiche funzionali macrofauna associata (2008, 2010-2012);
- meccanismi molecolari di adattamento (2010, 2011, 2014, 2015);
- fluorescenza PAM (2007, 2011, 2014, 2015);
- C e N dei diversi comparti della pianta (2011, 2013);
- temperatura e acidità (2007, 2009-2016).

Parte dei dati sono stati inseriti negli archivi dell’“OA-ICC data compilation” con DOI: <https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.890444>;

I dati ecologici minimi garantiti a lungo termine sono:

- densità della prateria (annuale) (LA: -5, 10, 15 e 22m; CA: sito acido);
- T°C (in continuum) LA: 5m, 10, 15 e 22m; CA: sito acido);
- pH (CA: sito acido).

Risultati

La *baseline* della ricerca a lungo termine prevede il monitoraggio annuale dello stato della prateria di LTER-LA alle due profondità di 5 e 22 m, rappresentative di condizioni del sistema (superficiale e profondo), e l’acquisizione di dati di temperatura. A partire dal 2016 si sono aggiunte anche le batimetriche di 10 e 15 m. Nell’arco temporale 1979-2018, a livello strutturale è evidente l’impatto provocato dagli ancoraggi (non regolamentati) nel periodo estivo. Il risultato è una diminuzione della complessità dell’habitat, con valori di densità delle piante al di sotto del valore considerato normale per le singole batimetriche (Fig. 8) ad indicare un’alterazione in atto. La regressione è stata confermata dall’applicazione dell’indice BIPO, il cui

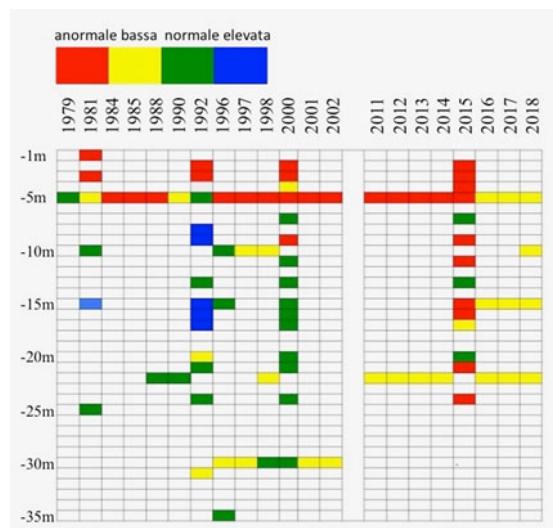
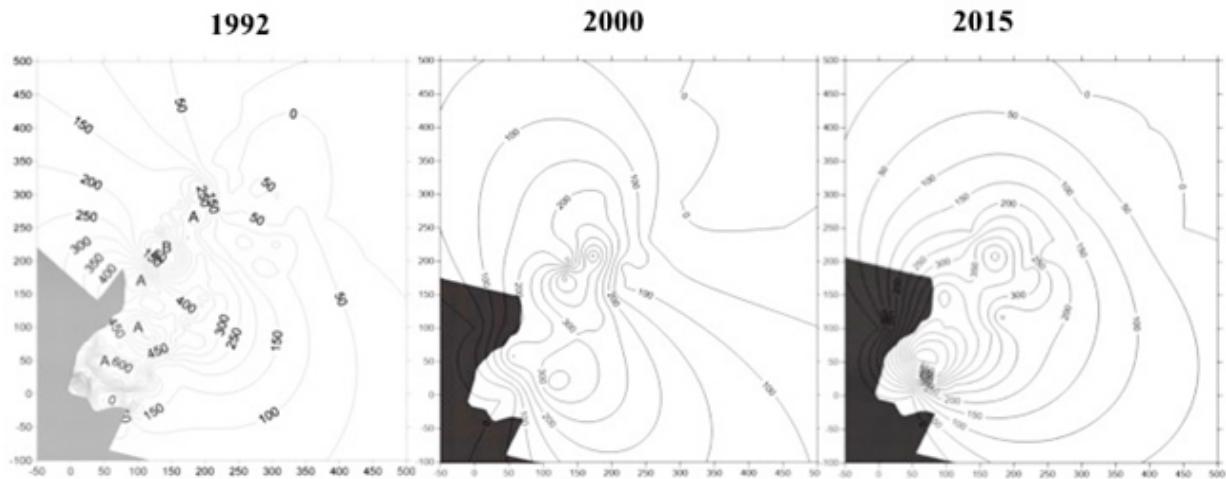


Fig. 8 - Variazione spazio-temporale delle classi di densità della prateria a *Posidonia oceanica* lungo il transetto di profondità del sito LTER-LA

valore indica come ‘sufficiente’ lo stato ecologico della prateria (Porzio e Buia, in preparazione).

Le diminuzioni di densità osservate lungo il transetto di profondità sono evidenti anche su scala più ampia: dal confronto di mappe di interpolazione, ottenute in anni differenti (1992, 2000 e 2015) su un’area di 64.000 m², è evidente una cronica tendenza all’omogeneizzazione della primitiva anisotropia strutturale (Fig. 9), con una previsione allarmante per un futuro ormai prossimo (Fig. 10) (Buia *et al.* in preparazione).



*Fig.9 - Variazione pluriannuale delle mappe di densità della prateria di *Posidonia oceanica* nel sito LTER-LA mediante tecnica di interpolazione (kriging)*

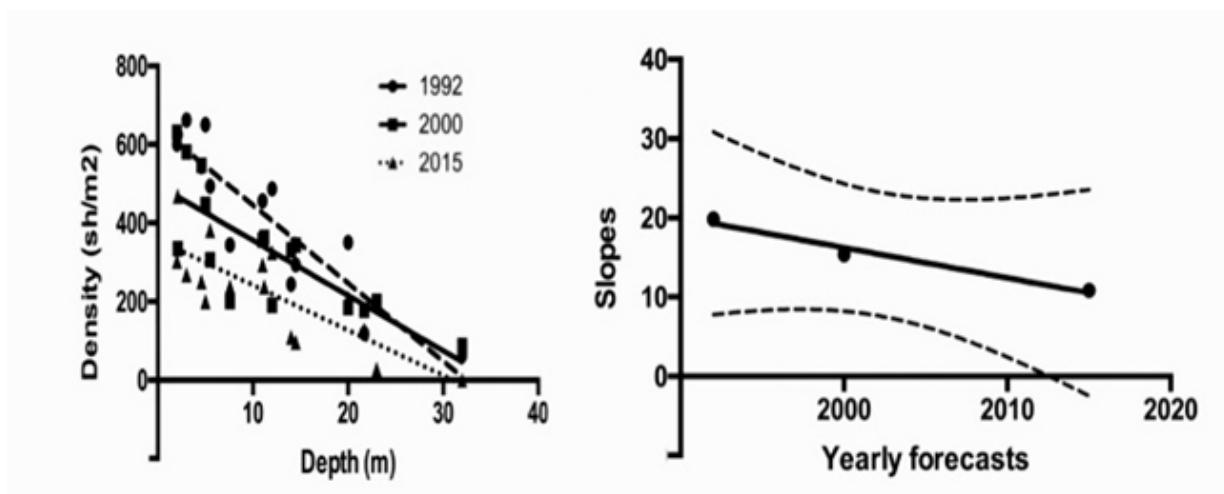


Fig.10 - Variazione temporale delle linee di tendenza ottenute per la densità della prateria al variare della profondità (a sinistra) e previsione del pattern per gli anni futuri (a destra)

Le misure di temperatura sono state eseguite in due periodi distinti (1990 e 1997-2001) con strumenti diversi operati da barca (termometro a rovesciamento nel primo caso, sonda multiparametrica nel secondo) e con diverse frequenze. Dalla metà del 2011 si è scelto di adottare un monitoraggio in continuo mediante loggers dislocati *in situ* a profondità rappresentative, con intervallo di misura di 15 minuti (Lorenti, dati non pubblicati). Ciò ha permesso di avere una visione molto più completa del regime di temperatura a cui è sottoposta la prateria. Anche in questo caso, alle due profondità di 5 e 22 m sono state aggiunte quelle di 10 e 15 m con l’obiettivo di monitorare l’ambiente termico in zone di transizione. Osservando gli andamenti termici nelle sole due stazioni di 5 e 22 m per il periodo 2012-2017 (Fig. 11), l’altezza dei box per la stazione superficiale dà conto di una maggiore dispersione dei valori centrali rispetto al sito profondo, dovuta evidentemente al più accentuato andamento stagionale.

Dalla comparazione degli andamenti termici del sito LA con la stazione acidificata del CA (pH=7.8) (quest'ultima posta ad una quota leggermente superiore rispetto a quella superficiale di LA), le temperature mostrano un profilo pressoché analogo in termini di grado di dispersione e andamento pluriennale (Fig. 11). Grazie alle misure in continuo è emersa l'esistenza di un regime notevolmente variabile sul breve periodo, anche su base diurna, a carico della stazione di 22 m di LA, con presenza di estremi dovuti verosimilmente ad approfondimenti dello strato più caldo e al movimento di onde di termoclini nel periodo primaverile-estivo (Fig. 12).

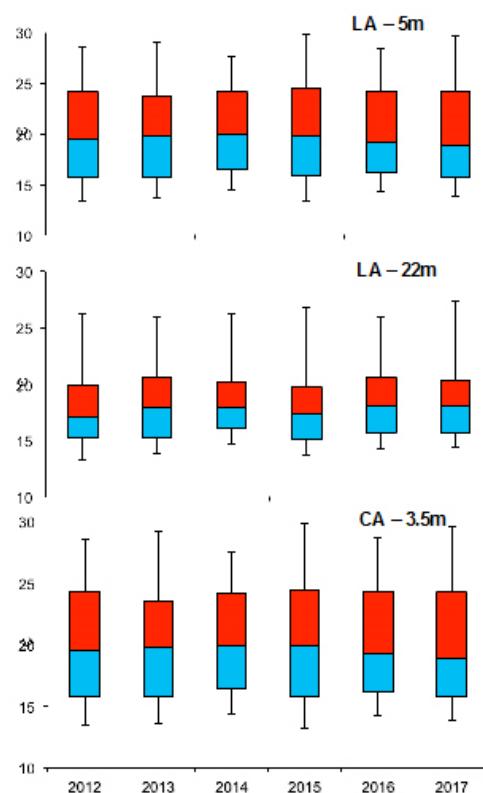


Fig. 11 - Rappresentazione grafica dei valori annuali di temperatura ottenuti dai loggers dislocati in situ

Il sito acidificato ha permesso di valutare gli effetti dell'acidificazione anche sulle comunità associate. Si osserva un impoverimento della flora epifita (macro e micro) delle foglie, sia in termini di copertura sia di diversità specifica e funzionale (Martin *et al.* 2008; Porzio *et al.* in preparazione). Questo impoverimento del foltro epifita è responsabile di una differente composizione tassonomica della

fauna vagile associata al manto fogliare, non accompagnata da una diminuzione di specie, ed è quindi da considerarsi come un risultato indiretto dell'acidificazione (Garrard *et al.* 2014). Anche i meccanismi di chemiorecezione tra *Posidonia* ed epifauna associata vengono alterati, mettendo a rischio la sopravvivenza di invertebrati

Lo studio degli effetti indotti da acidificazione sul sistema *Posidonia* nel sito acido del Castello Aragonese (CA) ha confermato l'elevata plasticità di questa fanerogama ai cambiamenti ambientali. La risposta ad una cronica esposizione a condizioni acide dimostra come la pianta sia capace di modulare il metabolismo del C e dell'N senza modificare i propri tassi fotosintetici e quelli di produzione (Scartazza *et al.* 2017a). Questi ultimi possono venire alterati (positivamente o negativamente) qualora un altro fattore di stress (es., aumento dei nutrienti nell'ambiente) si sovrapponga a quello del pH (Lauritano *et al.* 2015; Ravaglioli *et al.* 2017). L'importanza di questo sito naturalmente acidificato consiste nella possibilità di verificare l'importanza della scala temporale nella valutazione delle risposte all'acidificazione. Infatti trapianti di *Posidonia* da pH 8,1 a pH 7,8, ivi mantenuti per 4 settimane, hanno evidenziato l'insorgenza di stress cellulare (es. frammentazione del DNA, condensazione della cromatina, allargamento del reticolo endoplasmatico) a differenza di piante da lungo tempo in condizioni acide (Koutalianou *et al.* in press).

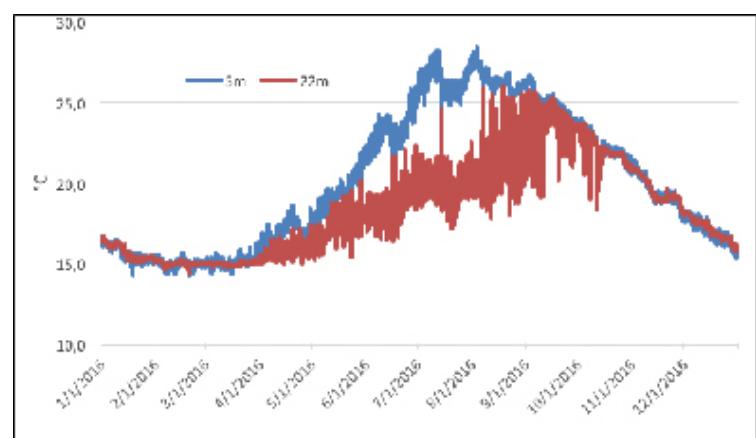


Fig. 12 - Esempio della variabilità del regime termico sul breve periodo, a carico soprattutto della stazione più profonda di 22 m di LA

chiave dello strato fogliare (Zupo *et al.* 2015), sottolineando così come le risorse trofiche del sistema *Posidonia* siano in grado di spiegare la sua biodiversità funzionale (Pergent *et al.* 2014; Zupo *et al.* 2017).

Attività di divulgazione

Il personale della sede di Ischia della Stazione Zoologica ha da sempre divulgato nelle scuole primarie e secondarie dell'isola (con mostre itineranti, proiezioni, seminari e dimostrazioni pratiche) la rilevanza del sistema *Posidonia*. I dati disponibili per il sito LTER-LA hanno così consentito di sottolineare l'importanza degli studi a lungo termine per valutare gli impatti delle pressioni antropiche e dei cambiamenti climatici al fine di maturare una maggiore coscienza civica tesa alla salvaguardia e conservazione della biodiversità marina.

Nell'ambito di manifestazioni culturali isolate come quelle organizzate da "Scuola Scienza e Società" (Coordinata da Pietro Greco), dalla Scuola di Formazione Politica Kosmopolis (Diocesi di Ischia), dalla Università di Pollenzo (Slow Food di Ischia e Procida) negli anni 2014-2018 si sono tenute lezioni teorico-pratiche e seminari su argomenti legati ai sistemi vegetati come l'erosione della biodiversità, gli habitat verdi sommersi, gli effetti dei cambiamenti climatici e il contributo della scienza partecipata alla ricerca.

Infine, il sito LTER-LA ha partecipato alla giornata divulgativa in occasione dell'iniziativa *Cammini LTER – Cammino Mesothalassia*, svoltasi a Ischia nel luglio 2015.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Le attività alla stazione LTER-LA sono state sempre finanziate da fondi FOE della SZN e, nel corso degli anni, in varia misura, da programmi internazionali (COST 647), nazionali (quali SINAPSI, VECTOR, RITMARE) e regionali (Regione Campania).

Prospettive future

Come anticipato, lo stato ecologico della prateria di Lacco Ameno è risultato, nell'arco temporale 1979-2018, molto degradato a causa soprattutto dell'intensa attività antropica a cui è sottoposta l'area, particolarmente nel periodo estivo. Il continuo delle ricerche si avvarrà quindi di tecniche non distruttive per l'acquisizione di dati direttamente *in situ*. Il monitoraggio di base dei dati di T dell'acqua (in continuo) e densità (annuale) della prateria verrà assicurato non solo alle profondità di 5 e 22 m ma anche a quelle intermedie di 10 e 15 m, implementate negli ultimi anni per evidenziare discontinuità ecologiche in corrispondenza di discontinuità termiche.

L'ampio set di dati lepidocronologici consentirà l'analisi pregressa dei due compatti della pianta (rizoma e foglie) anche per gli anni di cui non si dispongono dati sia per il sito LA sia CA, quindi anche in condizioni di acidificazione. In particolare, i valori ottenuti alla scala spaziale del kriging consentiranno la visualizzazione di pattern spaziali e temporali del funzionamento della pianta; la sovrapposizione di mappe strutturali e funzionali potrà fornire informazioni predittive utili alla conoscenza della dinamica della pianta. Il set di dati di retrodatazione della produzione, disponibile anche per altre praterie dell'Isola di Ischia non sottoposte a disturbo, verrà analizzato nella prospettiva di valutare le capacità della pianta di rispondere a pressioni di diversa natura.

Abstract

The Lacco Ameno (LTER-LA) site ($40^{\circ} 41' 582''\text{N}$, $13^{\circ} 53' 361''\text{E}$) has been investigated since the mid 1970s with a variety of approaches aimed at studying the structure, the functioning and the communities associated to the *Posidonia oceanica* seagrass system that characterizes the area. Over the years (although mostly not on a regular basis), these research activities have led to the acquisition of a substantial amount of data spanning from environmental variables and meadow structure to the seagrass biology and the faunal/floral diversity, generally collected in the frame of different research

projects and discussed in specific publications. As requested by the program schedule, the meadow structure is currently monitored through shoot density estimates at selected depths (annual scale, as of 1979) and the mapping of spatial patterns of plant distribution over the whole site (decadal scale, as of 1992). Further, one major environmental factor represented by water temperature variation is recorded on a continuous basis at the same selected depths as shoot density since 2011. Overall, a decline in the status of the LTER-LA *P. oceanica* meadow is indicated by the depletion of absolute values of shoot density and the disruption of spatial patterns, especially at the shallowest depths, likely triggered by anthropogenic disturbance. Further studies on the *P. oceanica* system around the island of Ischia are being conducted at the Castello Aragonese (CA) site (Lat 40° 43' 849"N; Lon 13° 57' 089"E) characterized by the presence of CO₂-emitting volcanic vents. The latter activities are providing insights into the environmental determinants, in a changing environment, of the long-term evolution of beds formed by this seagrass which constitute a major contributor to the health of coastal the latter activities are providing insights into the environmental determinants of the long-term evolution, in a changing environment, of beds formed by this seagrass which constitute a major contributor to the health of coastal seas.

Bibliografia citata nel testo

- Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6.
- Buia M.C., Gambi M.C., Dappiano M. (2004). Seagrass systems. In: Gambi M.C. e Dappiano M. (Eds.), Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study. Biologia Marina Mediterranea 11(Suppl. 1): 133-183. Erredi Grafiche Editoriali, Genova.
- Buia M.C., Zupo V., Mazzella L. (1992). Primary production and growth dynamics in *Posidonia oceanica*. PSZNI Marine Ecology 13: 2-16.
- Carrada G.C., Hopkins T.S., Bonaduce G., Ianora A., Marino D., Modigh M., Ribera d'Alcalà M., Scotto di Carlo B. (1982). Variability in the hydrographic and biological features of the Gulf of Naples. PSZN Marine Ecology 1: 105-120.
- Cerino F., Zingone A. (2006). A survey of cryptomonad diversity and seasonality at a coastal Mediterranean site. European Journal of Phycology 41: 363-378.
- Colantoni P., Gallignani P., Fresi E., Cinelli F. (1982). Patterns of *Posidonia oceanica* (L.) Delile beds around the Island of Ischia (Gulf of Naples) and in adjacent waters. Marine Ecology 3: 53-74.
- Cookson L.J., Lorenti M. (2001). A new species of limnoriid seagrass borer (Isopoda) from the Mediterranean. Crustaceana 74: 339-346.
- D'Alelio D., Libralato S., Wyatt T., Ribera d'Alcalà M. (2016a). Ecological-network models link diversity, structure and function in the plankton food-web. Scientific Reports 6: 21806.
- D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., Zingone A., Di Capua I., Franzè G., Margiotta F., Saggiomo M., Ribera d'Alcalà M. (2015). The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. Marine Ecology 36: 1155-1170.
- D'Alelio D., Montresor M., Mazzocchi M.G., Margiotta F., Sarno D. and Ribera d'Alcalà M. (2016b). Plankton food webs: to what extent can they be simplified? Advances in Oceanography and Limnology 7: 67-92.
- D'Alelio D., Rigatti E. (2017). Uno scienziato a pedali. Ediciclo Editore, pp. 139.
- Dattolo E., Gu J., Bayer P.E., Mazzuca S., Serra A., Spadafora A., Bernardo L., Natali L., Cavallini A., Procaccini G. (2013). Acclimation to different depths by the marine angiosperm *Posidonia oceanica*: transcriptomic and proteomic profiles. Frontiers in Plant Science 4: 195.
- Dattolo E., Ruocco M., Brunet C., Lorenti M., Lauritano C., Sanges R., De Luca P., Procaccini G. (2014). Response of the seagrass *Posidonia oceanica* to different light environments: insight from a combined molecular and photo-physiological study. Marine Environmental Research 101: 225-236.
- De Angelis C.M. (1958). Seasonal variation of plankton collected in the Gulf of Naples during 1954-1955. Rapp Comm int Mer Médit 14: 245-254.
- Funk G. (1927). Die Algenvegetation des Golfs von Neapel. Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli 7 (suppl.): pp. 507+ 20 Tavv.
- Gambi M.C., de Lauro M., Iannuzzi F. (2003). Ambiente marino costiero e territorio delle isole flegree (Ischia, Procida e Vivara, Golfo di Napoli). Risultati di uno studio multidisciplinare. Società Nazionale di Scienze, Lettere e Arti in Napoli. Memorie dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche. Liguori ed., pp. 425, ISBN 88-207-3557-1.
- Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V. (1992). Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of the *Posidonia oceanica* leaf stratum: structural and trophic analyses. P.S.Z.N. I: Marine Ecology 13: 17-39.

-
- Garrard S.L., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Zupo V., Paterson D.M., Buia M.C. (2014). Indirect effects may buffer negative responses of seagrass invertebrate communities to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461: 31-38.
- Hall-Spencer J.M., Rodolfo-Metalpa R., Martin S., Ransom E., Fine M., Turner S.M., Rowley S.J., Tedesco D., Buia M.C. (2008). Volcanic carbon dioxide vents show ecosystem effects of ocean acidification. *Nature* 454: 96-99.
- Hure J., Scotto di Carlo B. (1968). Comparazione tra lo zooplancton del Golfo di Napoli e dell'Adriatico meridionale presso Dubrovnik. *Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli* 36: 21-102.
- Indelli E. (1944). Il microplankton di superficie del Golfo di Napoli. *Acta Pontificia Academia Scientiarum* 8: 91-100.
- Issel R. (1934). Ciclo annuale del microplancton di superficie nel golfo di Napoli (golfo interno) (Introduzione illustrata all'indagine ecologica). *Pubblicazioni Stazione Zoologica Napoli* 14: 1-50.
- Keegan B.F. (1991). CEC/COST 647. Coastal Benthic Ecology. Activity report 1988-1991. Report EUR 13945 EN. ISBN: 2-87263-071-6.
- Keegan B.F. (1992). CEC/COST 647. Coastal Benthic Ecology. Species and time series data analysis in coastal benthic ecology. Report EUR 13978 EN. ISBN 2-87263-072-4.
- Koutalianou M., Buia M.C., Katsaros C. (in press). In situ experiments on the effect of low pH on the ultrastructure of the seagrasses *Cymodocea nodosa* and *Posidonia oceanica*. *Mediterranean Marine Science*.
- Lauritano C., Ruocco M., Dattolo E., Buia M.C., Silva J., Santos R., Olivè I., Costa M.M., Procaccini G. (2015). Response of key stress-related genes of the seagrass *Posidonia oceanica* in the vicinity of submarine volcanic vents. *Biogeosciences* 12: 4185-4194.
- Lopez Y., Royo C., Pergent G., Alcoverro T., Buia M.C., Casazza G., Martínez-Crego B., Pérez M., Silvestre F., Romero J. (2011). The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological Indicators* 11: 557-563.
- Lorenti M., Gera A., Lassauque J., Mattera F., Buia M.C. (2006). Comparative *in situ* estimates of the photosynthetic activity of *Posidonia oceanica*: RLC and maximum quantum yield measurements. In: Gambi M.C., Borg J.A., Buia M.C., Di Carlo G., Pergent-Martini C., Pergent G., Procaccini G. (Eds), *Proceedings MSW – Malta 2006*, Biologia Marina Mediterranea 13 (4): 56-59.
- Mackas D., Greve W., Edwards M., Chiba S., Tadokoro K., Eloire D., Mazzocchi M.G., Batten S., Richardson A., Johnson C. (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* 97: 31-62.
- Martin S., Rodolfo-Metalpa R., Ransome E., Rowley S., Buia M.C., Gattuso J.P., Hall-Spencer J.M. (2008). Effects of naturally acidified seawater on seagrass calcareous epibionts. *Biology Letters* 4: 689-692.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G.F., Scipione M.B., Zupo V. (1992). Plant-animal trophic relationships in the *Posidonia oceanica* ecosystem of the Mediterranean Sea: a review. In: John D., Hawkins S.J., Price J.H. (Eds). *Plant-Animal Interactions in the Marine Benthos*. Oxford, Clarendon Press: 165-187.
- Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Russo G., Scipione M.B., Zupo V. (1991). Primary production of *Posidonia oceanica* and the vagile fauna of leaf stratum: a spatio-temporal analysis in a meadow off the island of Ischia (Gulf of Naples, Italy) – In: Keegan B.F. (Ed.), *Space and Time Series Data Analysis in Coastal Benthic Ecology. An analytical exercise organized within the framework of the COST 647 Project on Coastal Benthic Ecology*. Commission of the European Communities: 519-540.
- Mazzella L., Buia M.C., Spinoccia L. (1994). Biodiversity of epiphytic diatom community on leaves of *Posidonia oceanica*. In: Marino D. & Montresor M. (Eds), *Proceedings of the 13th International Diatom Symposium*, Biopress Limited: 241-251.

-
- Mazzella L., Scipione M.B., Buia M.C. (1989). Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a *Posidonia oceanica* (L.) Delile meadow. P.S.Z.N.I.: Marine Ecology 10: 107-129.
- Mazzocchi M.G., Ribera d'Alcalà M. (1995). Recurrent patterns in zooplankton structure and succession in a variable coastal environment. ICES Journal of Marine Science 52: 679-691.
- Mazzocchi M.G., Licandro P., Dubroca L., Di Capua I., Saggiomo V. (2011). Zooplankton associations in a Mediterranean long-term time-series. Journal of Plankton Research 33: 1163-1181.
- Mazzocchi M.G., Dubroca L., Garcia-Comas C., Di Capua I., Ribera d'Alcalà M. (2012). Stability and resilience in coastal copepod assemblages: The case of the Mediterranean long-term ecological research at Station MC (LTER-MC). Progress in Oceanography 97:135-151.
- McDonald S.M., Sarno D., Scanlan D.J., Zingone A. (2007a). Genetic diversity of eukaryotic ultraphytoplankton in the Gulf of Naples during an annual cycle. Aquatic Microbial Ecology 50: 75-89.
- McDonald S.M., Sarno D., Zingone A. (2007b). Identifying *Pseudo-nitzschia* species in natural samples using genus-specific PCR primers and clone libraries. Harmful Algae 6: 849-860.
- Migliaccio M., De Martino F., Silvestre F., Procaccini G. (2005). Meadow-scale genetic structure in *Posidonia oceanica*. Marine Ecology Progress Series 304: 55-65.
- Modigh M., Lorenti M., Mazzella L. (1998). Carbon assimilation in *Posidonia oceanica*: biotic determinants. Botanica Marina 41: 249-256.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A. et al. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. Science of the Total Environment 627: 373-387.
- Parenzan P. (1956). Biocenologia dei fondi marini a *Zoosteraceae*. Bollettino di Zoologia, XXIII(II): 62 1-63 7.
- Percopo I., Siano R., Rossi R., Soprano V., Sarno D., Zingone A. (2013). A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. Journal of Phycology 49: 950-966.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.-F., Buia M.-C., Calvo S., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Angel Mateo M., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Thibaut T., Tomasello A., Verlaque M. (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. Mediterranean Marine Science 15: 462-473.
- Pergent-Martini C., Pergent-Martini C., Leoni V., Pasqualini V., Ardizzone G.D., Balestri E., Bedini R., Belluscio A., Belsher T., Borg J., Boudouresque C.F., Boumaza S., Bouquenueau J.M., Buia M.C., Calvo S., Cebrian J., Charbonnel E., Cinelli F., Cossu A., Di Maida G., Dural B., Francour P., Gobert S., Lepoint G., Meinesz A., Molenaar H., Mansour H.M., Panayotidis P., Peirano A., Pergent G., Piazzi L., Pirrotta M., Relini G., Romero J., Sanchez-Lizaso J.L., Semroud R., Shembri P., Shili A., Tomasello A., Velimirov B. (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. Boindicators 5: 213-230.
- Piredda R., Claverie J.M., Decelle J., de Vargas C., Dunthorn M., Edvardsen B., Eikrem W., Forster D., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Romac S., Sarno D., Stoeck T., Zingone A. (2018). Diatom diversity through HTS-metabarcoding in coastal European seas. Scientific Reports 8: 18059.
- Piredda R., Sarno D., Lange C.B., Tomasino M.P., Zingone A., Montresor M. (2017a). Diatom resting stages in surface sediments: a pilot study comparing Next Generation Sequencing and Serial Dilution Cultures. Cryptogamie Algologie 38: 31-46.
- Piredda R., Tomasino M., D'Erchia A., Manzari C., Pesole G., Montresor M., Kooistra W., Sarno D., Zingone A. (2017b). Diversity and temporal patterns of planktonic protist assemblages at a Mediterranean Long Term Ecological Research site. FEMS Microbiology Ecology 93: fiw200.

-
- Procaccini G., Buia M.C., Perez M., Pergent G., Pergent-Martini C., Romero J. (2003). The seagrasses of the Mediterranean. In: Green P. and Short F.T. (Eds). World Atlas of Seagrasses. UneP WCMC, University of California Press 48-58.
- Ravaglioli C., Lauritano C., Buia M.C., Balestri E., Capocchi A., Fontanini D., Pardi G., Tamburello L., Procaccini G., Bulleri F. (2017). Nutrient enrichment offsets negative effects of ocean acidification in seagrass meadows. *Scientific Report* 7: 13732.
- Ribera d'Alcalà M., Conversano F., Corato F., Licandro P., Mangoni O., Marino D., Mazzocchi M.G., Modigh M., Montresor M., Nardella M., Saggiomo V., Sarno D., Zingone A. (2004). Seasonal patterns in plankton communities in a pluriannual time series at a coastal Mediterranean site (Gulf of Naples): an attempt to discern recurrences and trends. *Scientia Marina* 68: 65-83.
- Ruggiero M.V., Sarno D., Barra L., Kooistra W.H.C.F., Montresor M., Zingone A. (2015). Diversity and temporal pattern of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) through the molecular lens. *Harmful Algae* 42: 15-24.
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017a). Carbon and Nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica* is altered by seawater acidification. *Science of the Total Environment* 607-608: 954-964.
- Scotto di Carlo B., Tomas C.R., Ianora A., Marino D., Mazzocchi M.G., Modigh M., Montresor M., Petrillo L., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Zingone A. (1985). Uno studio integrato dell'ecosistema pelagico costiero del Golfo di Napoli. *Nova Thalassia* 126: 99-128.
- Tunin-Ley A., Ibañez F., Labat J.-P., Zingone A., Lemée R. (2009). Phytoplankton biodiversity and NW Mediterranean Sea warming: changes in the dinoflagellate genus *Ceratium* in the 20th century. *Marine Ecology Progress Series* 375: 85-99.
- Waycott M., Procaccini G., Les D. and Reusch T.H.B. (2006). Genetic studies in seagrasses: molecular systematics to population genetics and beyond. In: Larkum A.W.D., Orth R.J., Duarte C (Eds). *Biology, Ecology and Conservation*. Springer, The Netherlands.
- Wilkinson M.D., Dumontier M., Aalbersberg I.J., Appleton G., Axton M., Baak A., Blomberg N., Boiten J.-W., da Silva Santos L.B., Bourne P.E., Bouwman J., Brookes A.J., Clark T., Crosas M., Dillo I., Dumon O., Edmunds S., Evelo C.T., Finkers R., Gonzalez-Beltran A., Gray A.J.G., Groth P., Goble C., Grethe J.S., Heringa J., 't Hoen P.A.C., Hooft R., Kuhn T., Kok R., Kok J., Lusher S.J., Martone M.E., Mons A., Packer A.L., Persson B., Rocca-Serra P., Roos M., van Schaik R., Sansone S.-A., Schultes E., Sengstag T., Slater T., Strawn G., Swertz M.A., Thompson M., van der Lei J., van Mulligen E., Velterop J., Waagmeester A., Wittenburg P., Wolstencroft K., Zhao J., Mons B. (2016). The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Scientific Data* 3: 160018.
- Zingone A., Montresor M., Marino D. (1990). Summer phytoplankton physiognomy in coastal water of the Gulf of Naples. PSZNI: *Marine Ecology* 11: 157-172.
- Zingone A., D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., LTER-MC team (2019). Time series and beyond: multifaceted plankton research at a marine 8 Mediterranean LTER site. *Nature Conservation* 34: 273-310.
- Zupo V. (1994). Strategies of sexual inversion in *Hippolyte inermis* Leach (Crustacea, Decapoda) from a Mediterranean seagrass meadow. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 178: 131-145.
- Zupo V., Alexander T., Edgar G. (2017). Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. *Royal Society Open Science* 4: 160515.
- Zupo V., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Procaccini G. (2006a). Temporal variations in the spatial distribution of shoot density in a *Posidonia oceanica* meadow and patterns of genetic diversity. *Marine Ecology* 27: 328-338.
- Zupo V., Buia M.C., Mazzella L. (1997). A production model for *Posidonia oceanica* based on temperature. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 44: 483-492.

-
- Zupo V., Maibam C., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Lorenti M., Patti F., Fink P. (2015). Chemoreceptor of the seagrass *Posidonia oceanica* by benthic invertebrates is altered by seawater acidification. *Journal of Chemical Ecology* 41: 766-779.
- Zupo V., Mazzella L., Buia M.C., Gambi M.C., Lorenti M., Scipione M.B. (2006b). A small-scale analysis of the spatial structure of a *Posidonia oceanica* meadow off the Island of Ischia (Gulf of Naples, Italy): Relationship with the seafloor morphology. *Aquatic Botany* 84: 101-109.
- Zupo V., Nelson W.G., Gambi M.C. (2001). Measuring invertebrate grazing on seagrasses and epiphytes. In: Short F. et al. (Eds.). *Global seagrass research methods*, 271-292.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Balzano S., Sarno D., Kooistra W.H.C.F. (2011). Effects of salinity on the growth rate and morphology of ten *Skeletonema* strains *Journal of Plankton Research* 33: 937-945.
- Barra L., Ruggiero M.V., Sarno D., Montresor M., Kooistra W.C.H.F. (2013). Strengths and weaknesses of microarray approaches to detect *Pseudo-nitzschia* species in the field. *Environmental Science and Pollution Research* 20: 6705-6718.
- Berline L., Siokou-Frangou L., Marasovic I., Vidjak O., Fernandez de Puelles M.L.F., Mazzocchi M.G., Assimakopoulou G., Zervoudaki S., Fonda-Umani S., Conversi A., Garcia-Comas C., Ibanez F., Gasparini S., Stemmann L., Gorsky G. (2012). Intercomparison of six Mediterranean zooplankton time series. *Progress in Oceanography* 97: 76-91.
- Castellani C., Licandro P., Fileman E., Di Capua I., Mazzocchi M.G. (2015). *Oithona similis* likes it cool: evidence from two long-term time series. *Journal of Plankton Research* 38: 703-717.
- Cianelli D., D'Alelio D., Uttieri M., Sarno D., Zingone A., Zambianchi E., Ribera d'Alcalà M. (2017). Disentangling physical and biological drivers of phytoplankton dynamics in a coastal system. *Scientific Report* 7: 15868.
- Cocito S., Lombardi C., Ciuffardi F., Gambi M.C. (2012). Colonization of Bryozoa on seagrass *Posidonia oceanica* 'mimics': biodiversity and recruitment pattern over time. *Marine Biodiversity* 42(2): 189-201.
- Corriero G. et al. (including Buia M.C., Gambi M.C., Giangrande A., Guglielmo R., Lorenti M., Mazzocchi M.G., Patti F.P., Sarno D., Scipione M.B., Zingone A., Zupo V.) (2016). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: a case study on marine habitats along the Italian coast. *Aquatic Conservation* 26: 392-409.
- Crise A., Kaberi H., Ruiz J., Zatsepina A., Arashkevich E., Giani M., Karageorgis A.P., Prieto L., Pantazi M., Gonzalez-Fernandez D., Ribera D'Alcalà M., Tornero V., Vassilopoulou V., Durrieu De Madron X., Guieu C., Puig P., Zenetos A., Andral B., Angel D., Altukhov D., Ayata S.D., Aktan Y., Balcoğlu E., Benedetti F., Bouchoucha M., Buia M.C. et al. (2015). A MSFD complementary approach for the assessment of pressures, knowledge and data gaps in Southern European Seas: the PERSEUS experience. *Marine Pollution Bulletin* 95: 28-39.
- D'Alelio D., Libralato S., Wyatt T., Ribera d'Alcalà M. (2016a). Ecological-network models link diversity, structure and function in the plankton food-web. *Scientific Reports* 6: 21806.
- D'Alelio D., Mazzocchi M.G., Montresor M., Sarno D., Zingone A., Di Capua I., Franzè G., Margiotta F., Saggiomo M., Ribera d'Alcalà M. (2015). The green-blue swing: plasticity of plankton food-webs in response to coastal oceanographic dynamics. *Marine Ecology* 36: 1155-1170.
- D'Alelio D., Montresor M., Mazzocchi M.G., Margiotta F., Sarno D. and Ribera d'Alcalà M. (2016b). Plankton food webs: to what extent can they be simplified? *Advances in Oceanography and Limnology*, 7: 67-92.
- D'Alelio D., Ribera d'Alcalà M., Dubroca L., Sarno D., Zingone A., Montresor M. (2010). The time for sex: a biennial life cycle in a marine planktonic diatom. *Limnology and Oceanography* 55: 106-114.

-
- Dattolo E., Gu J., Bayer P.E., Mazzuca S., Serra A., Spadafora A., Bernardo L., Natali L., Cavallini A., Procaccini G. (2013). Acclimation to different depths by the marine angiosperm *Posidonia oceanica*: transcriptomic and proteomic profiles. *Frontiers in Plant Science* 4: 195.
- Dattolo E., Ruocco M., Brunet C., Lorenti M., Lauritano C., Sanges R., De Luca P., Procaccini G. (2014). Response of the seagrass *Posidonia oceanica* to different light environments: insight from a combined molecular and photo-physiological study. *Marine Environmental Research* 101: 225-236.
- Davies N., Field D., Amaral-Zettler L., Clark M.S., Deck J., Drummond A., Faith D.P., Geller J., Gilbert J., Glöckner F.O., Hirsch P., Leong J.-A., Meyer C., Obst M., Planes S., Scholin C., Vogler A.P., Gates R.D., Toonen R., Berteaux-Lecellier V., Barbier M., Barker K., Bertilsson S., Bicak M., Bietz M.J., Bobe J., Bodrossy L., Borja A., Coddington J., Fuhrman J., Gerdts G., Gillespie R., Goodwin K., Hanson P.C., Hero J.M., Hoekman D., Jansson J., Jeanthon C., Kao R., Klindworth A., Knight R., Kottmann R., Koo M.S., Kotoulas G., Lowe A.J., Marteinsson V.T., Meyer F., Morrison N., Myrold D.D., Pafilis E., Parker S., Parnell J.J., Polymenakou P.N., Ratnasingham S., Roderick G.K., Rodriguez-Ezpeleta N., Schonrogge K., Simon N., Valette-Silver N.J., Springer Y., Stone G.N., Stones-Havas S., Sansone S.-A., Thibault K.M., Wecker P., Wichels A., Wooley J.C., Yahara T., Zingone A., GOs-COS (2014). The founding charter of the Genomic Observatories Network. *GigaScience* 3: 2.
- Degerlund M., Huseby S., Zingone A., Sarno D., Landfald B. (2012). Functional diversity in cryptic species of *Chaetoceros socialis* Lauder (Bacillariophyceae). *Journal of Plankton Research* 34: 416-431.
- Di Capua I., Maffucci F., Pannone R., Mazzocchi M.G., Biffali E., Amato A. (2017). Molecular phylogeny of Oncaeidae (Copepoda) using nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS rDNA). *PLoS One* 12: e0175662.
- Di Capua I., Mazzocchi M.G. (2017). Non-predatory mortality in Mediterranean coastal copepods. *Marine Biology* 164: 1-12.
- Donnarumma L., Lombardi C., Cocito S., Gambi M.C. (2014). Settlement pattern of *Posidonia oceanica* epibionts along a gradient of ocean acidification: an approach with mimics. *Mediterranean Marine Science*, 15: 498-509.
- Escalera L., Italiano A., Pistocchi R., Montresor M., Zingone A. (2018). *Gonyaulax hyalina* and *G. fragilis* (Dinoflagellata), two names associated with ‘mare sporco’, indicate the same species. *Phycologia* 57: 453-64.
- Forster D., Dunthorn M., Mahé F., Dolan J., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Christen R., Claverie J., Decelle J., Edvardsen B., Egge E., Eikrem W., Gobet A., Kooistra W.C.H.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawłowski J., Pernice M.C., Romac S., Shalchian-Tabrizi K., Simon N., Richards T.A., Santini S., Sarno D., Siano R., Vaulot D., Wincker P., Zingone A., De Vargas C., Stoeck T. (2016). Benthic protists: the undercharted majority. *FEMS Microbiology Ecology* 92: fiw120.
- Franzé G., Modigh M. (2013). Experimental evidence for internal predation in microzooplankton communities. *Marine Biology* 160: 3103-3112.
- Garrard S.L., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Zupo V., Paterson D.M., Buia M.C. (2014). Indirect effects may buffer negative responses of seagrass invertebrate communities to ocean acidification. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 461: 31-38.
- Hughes B.B., Beas-Luna R., Barner A.K., Brewitt K., Brumbaugh D.R., Cerny-Chipman E.B., Close S.L., Coblenz K.E., De Nesnera K.L., Drobnič S.T. (2017). Long-term studies contribute disproportionately to ecology and policy. *BioScience* 67: 271-281.
- Huseby S., Degerlund M., Zingone A., Hansen E. (2012). Metabolic fingerprinting reveals differences between northern and southern strains of the cryptic diatom *Chaetoceros socialis*. *European Journal of Phycology* 47: 480-489.

-
- Iermano I., Liguori G., Iudicone D., Buongiorno Nardelli B., Colella S., Zingone A., Saggiomo V., Ribera d'Alcalà M. (2012). Filament formation and evolution in buoyant coastal waters: observation and modelling. *Progress in Oceanography* 106: 118-137.
- Kooistra W.H.C.F., Sarno D., Hernández-Becerril D.U., Assmy P., Di Prisco C., Montresor M. (2010). Comparative molecular and morphological phylogenetic analyses of taxa in the Chaetocerotaceae (Bacillariophyta). *Phycologia* 5: 471-500.
- Lamari N., Ruggiero M.V., d'Ippolito G., Kooistra W.H.C.F., Fontana A., Montresor M. (2013). Specificity of lipoxygenase pathways supports species delineation in the marine diatom genus *Pseudonitzschia*. *PLoS One* 8: e73281.
- Lauritano C., Ruocco M., Dattolo E., Buia M.C., Silva J., Santos R., Olivè I., Costa M.M., Procaccini G. (2015). Response of key stress-related genes of the seagrass *Posidonia oceanica* in the vicinity of submarine volcanic vents. *Biogeosciences* 12: 4185-4194.
- Logares R., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Christen R., Claverie J.-M., Decelle J., Dolan J.R., Dunthorn M., Edvardsen B., Gobet A., Kooistra W.C.H.F., Mahé F., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Pernice M.C., Romac S., Shalchian-Tabrizi K., Simon N., Stoeck T., Santini S., Siano R., Wincker P., Zingone A., Richards T.A., De Vargas C., Massana R. (2014). Patterns of rare and abundant marine microbial eukaryotes. *Current Biology* 24: 813-821.
- Lopez Y., Royo C., Pergent G., Alcoverro T., Buia M.C., Casazza G., Martínez-Crego B., Pérez M., Silvestre F., Romero J. (2011). The seagrass *Posidonia oceanica* as indicator of coastal water quality: Experimental intercalibration of classification systems. *Ecological Indicators* 11: 557-563.
- Mackas D., Greve W., Edwards M., Chiba S., Tadokoro K., Eloire D., Mazzocchi M.G., Batten S., Richardson A., Johnson C. (2012). Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. *Progress in Oceanography* 97: 31-62.
- Mahadik G.A., Castellani C., Mazzocchi M.G. (2017). Effect of diatom morphology on the small-scale behavior of the copepod *Temora stylifera* (Dana 1849). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 493: 41-48.
- Maibam C., Fink P., Romano G., Buia M.C., Butera E., Zupo V. (2015). *Centropages typicus* (Crustacea, Copepoda) reacts to volatile compounds produced by planktonic algae. *Marine Ecology* 36: 819-934.
- Maibam C., Fink P., Romano G., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Patti F.P., Lorenti M., Butera E., Zupo V. (2014). Relevance of wound-activated compounds produced by diatoms as toxins and infochemicals for benthic invertebrates. *Marine Biology* 161: 1639-1652.
- Massana R., Gobet A., Audic S., Bass D., Bittner L., Boutte C., Chambouvet A., Christen R., Claverie J.M., Decelle J., Dolan J.R., Dunthorn M., Edvardsen B., Forn I., Forster D., Guillou L., Jaillon O., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Mahé F., Not F., Ogata H., Pawlowski J., Pernice M.C., Probert I., Romac S., Richards T., Santini S., Shalchian-Tabrizi K., Siano R., Simon N., Stoeck T., Vaulot D., Zingone A., De Vargas C. (2015). Marine protist diversity in European coastal waters and sediments as revealed by high-throughput sequencing. *Environmental Microbiology* 17: 4035-4049.
- Mazzocchi M.G., Dubroca L., Garcia-Comas C., Di Capua I., Ribera d'Alcalà M. (2012). Stability and resilience in coastal copepod assemblages: The case of the Mediterranean long-term ecological research at Station MC (LTER-MC). *Progress in Oceanography* 97: 135-151.
- Mazzocchi M.G., Licandro P., Dubroca L., Di Capua I., Saggiomo V. (2011). Zooplankton associations in a Mediterranean long-term time-series. *Journal of Plankton Research* 33: 1163-1181.
- Montresor M., Di Prisco C., Sarno D., Margiotta F., Zingone A. (2013). Diversity and germination patterns of diatom resting stages at a coastal Mediterranean site. *Marine Ecology Progress Series* 484: 79-95.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., De Olazabal A., Di Capua I.,

- Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network Patterns fluctuations drivers. *Science of the Total Environment* 627: 373-387.
- Nanjappa D., d'Ippolito G., Gallo C., Zingone A., Fontana A. (2014). Oxylipin diversity in the diatom family *Leptocylindraceae* reveals DHA derivatives in marine diatoms. *Marine Drugs* 12: 368-384.
- Nanjappa D., Kooistra W.H.C.F., Zingone A. (2013). A reappraisal of the genus *Leptocylindrus* (Bacillariophyta) with the addition of three species and the erection of *Tenuicylindrus* gen nov. *Journal of Phycology* 49: 917-936.
- Percopo I., Siano R., Rossi R., Soprano V., Sarno D., Zingone A. (2013). A new potentially toxic *Azadinium* species (Dinophyceae) from the Mediterranean Sea, *A. dexteroporum* sp. nov. *Journal of Phycology* 49: 950-966.
- Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.-F., Buia M.-C., Calvo S., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Angel Mateo M., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R., Serrano O., Thibaut T., Tomasello A., Verlaque M. (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science* 15: 462-473.
- Piredda R., Claverie J.M., Decelle J., de Vargas C., Dunthorn M., Edvardsen B., Eikrem W., Forster D., Kooistra W.H.C.F., Logares R., Massana R., Montresor M., Not F., Ogata H., Pawłowski J., Romac S., Sarno D., Stoeck T., Zingone A. (2018). Diatom diversity through HTS-metabarcoding in coastal European seas. *Scientific Reports* 8: 18059.
- Piredda R., Sarno D., Lange C.B., Tomasino M.P., Zingone A., Montresor M. (2017a). Diatom resting stages in surface sediments: a pilot study comparing Next Generation Sequencing and Serial Dilution Cultures. *Cryptogamie Algologie* 38: 31-46.
- Piredda R., Tomasino M., D'Erchia A., Manzari C., Pesole G., Montresor M., Kooistra W.H.C.F., Sarno D., Zingone A. (2017b). Diversity and temporal patterns of planktonic protist assemblages at a Mediterranean Long Term Ecological Research site. *FEMS Microbiology Ecology* 93: ffw200.
- Ravaglioli C., Lauritano C., Buia M.C., Balestri E., Capocchi A., Fontanini D., Pardi G., Tamburello L., Procaccini G., Bulleri F. (2017). Nutrient enrichment offsets negative effects of ocean acidification in seagrass meadows. *Scientific Report* 7: 13732.
- Ruggiero M.V., D'Alelio D., Ferrante M.I., Santoro M., Vitale L., Procaccini G., Montresor M. (2018). Clonal expansion behind a marine diatom bloom. *ISME Journal* 12: 463-472.
- Ruggiero M.V., Sarno D., Barra L., Kooistra W.H.C.F., Montresor M., Zingone A. (2015). Diversity and temporal pattern of *Pseudo-nitzschia* species (Bacillariophyceae) through the molecular lens. *Harmful Algae* 42, 15-24.
- Ruocco N., Mutualipassi M., Pollio A., Costantini S., Zupo V., Costantini M. (2018). First evidence of *Halomicronema metazoopicum* (Cyanobacteria) free-living on *Posidonia oceanica* leaves. *PLoS One* 13: e0204954.
- Sabia L., Costanzo A., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Zingone A., Margiotta F. (2019). Assessing the quality of biogeochemical coastal data: a step-wise procedure. *Mediterranean Marine Science* 20: 56-73.
- Sarno D., Zingone A., Montresor M. (2010). A massive and simultaneous sex event of two *Pseudo-nitzschia* species. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 57: 248-255.
- Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017a). Carbon and Nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica* is altered by seawater acidification. *Science of the Total Environment* 607-608: 954-964.

-
- Tesson S.V.M., Montresor M., Procaccini G., Kooistra W.H.C.F. (2014). Temporal changes in population structure of a marine planktonic diatom. PLoS One 9: e114984.
- Turner L.M., Ricevuto E., Massa-Gallucci A., Lorenti M., Gambi M.C., Calosi P. (2016). Metabolic responses to high pCO₂ conditions at a CO₂ vent site in the juveniles of a marine isopod assemblage. Marine Biology 163: 1-11.
- Vasapollo C., Gambi M.C. (2012). Spatio-temporal variability in *Posidonia oceanica* seagrass meadows off the Western Mediterranean: Shoot density and plant features. Aquatic Biology 16: 163-175.
- Vasapollo C., Villano L., Gambi M.C. (2015). Spatio-temporal variability of borer polychaete in *Posidonia oceanica* beds and its relation to meadow structure. Mediterranean Marine Science 16: 136-146.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Cinar M.E., García Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Froglio C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A., San Martín G., Giangrande A., Katağan T., Ballesteros E., Ramos-Esplá A., Mastrototaro F., Ocaña O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. (2010). Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD) Part I Spatial distribution. Mediterranean Marine Science 11: 381-493.
- Zingone A., Dubroca L., Iudicone D., Margiotta F., Corato F., Ribera d'Alcalà M., Saggiomo V., Sarno D. (2010). Coastal phytoplankton do not rest in winter. Estuaries and Coasts 33: 342-361.
- Zingone A., Harrison P.J., Kraberg A., Lehtinen S., Mcquatters-Gollop A., O'Brien T., Sun J., Jakobsen H.H. (2015). Increasing the quality comparability and accessibility of phytoplankton species composition time-series data. Estuarine Coastal and Shelf Science 162: 151-160.
- Zingone A., Phlips E.J., Harrison P.A. (2010). Multiscale variability of twenty-two coastal phytoplankton time series: a global scale comparison. Estuaries and Coasts 33: 224-229.
- Zupo V., Alexander T., Edgar G. (2017). Relating trophic resources to community structure: a predictive index of food availability. Royal Society Open Science 4: 160515.
- Zupo V., Jüttner F., Maibam C., Butera E., Blom J.F. (2014). Apoptogenic metabolites in fractions of the benthic diatom *Cocconeis scutellum parva*. Marine Drugs 12: 547-567.
- Zupo V., Maibam C., Buia M.C., Gambi M.C., Scipione M.B., Lorenti M., Patti F., Fink P. (2015). Chemoreceptor of the seagrass *Posidonia oceanica* by benthic invertebrates is altered by seawater acidification. Journal of Chemical Ecology 41: 766-779.
- Zupo V., Maibam C., Fink P., von Elert E. (2015). Effect of storage on the fatty acid content of foods for post-larvae of the crustacean decapod *Hippolyte inermis*. Invertebrate Reproduction and Development 59: 45-54.
- Zupo V., Mutualipassi M., Fink P., Di Natale M. (2017). Effect of ocean acidification on the communications among invertebrates mediated by plant-produced Volatile Organic Compounds. Global Journal of Ecology 1: 12-18.
- Zupo V., Mutualipassi M., Ruocco N., Glaviano F., Pollio A., Langellotti A.L., Romano G., Costantini M. (2019). Distribution of toxigenic *Halomicronema* spp. in adjacent environments in the Island of Ischia: comparison of strains from thermal waters and free living in *Posidonia oceanica* meadows. Toxins 11: 99.

Pubblicazioni non-**ISI**

- Gaonkar C.C. (2016). Diversity, distribution and evolution of the planktonic diatom family Chaetocerataceae. PhD thesis, Open University, London.
- Mahadik G.A. (2014). The role of copepod grazing in the dynamics of phytoplankton blooms. PhD thesis, Open University, London.
- Mazzocchi M.G., Di Capua I. (2013). Gulf of Naples LTER-MC (Site 59). In: ICES Zooplankton Status Report 2010-2011, ICES Cooperative Research Report 318: 171-173.

Scartazza A., Gavrichkova O., Moscatello S., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Calfapietra C., Brugnoli E. (2017b). The effect of acidification on carbon and nitrogen metabolism of *Posidonia oceanica* in a natural CO₂ vent system (Sixth International Symposium. Monitoring of Mediterranean Coastal Areas: problems and Measurement Techniques. Livorno (Italy) September 28-29, 2016 / edited by Claudio Conese. – Firenze: Firenze University Press 112: 75-79.

Scartazza A., Moscatello S., Gavrichkova O., Buia M.C., Lauteri M., Battistelli A., Lorenti M., Garrard S.L., Calfapietra C., Brugnoli E. (2018). Seawater carbonate chemistry and carbon and nitrogen allocation strategy in *Posidonia oceanica*. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.890444>.

Zingone A., Sarno D. (2012). Gulf of Naples LTER-MC (Site 59) In: *ICES Phytoplankton and Microbial Plankton Status Report 2009/2010*, International Council for the Exploration of the Sea Copenhagen 313: 148-149.

Libri e Capitoli di libri

Bertoni R., Cindolo C., Cocciufa C., Freppaz M., Mason F., Matteucci G., Pugnetti A., Ravaioli M., Rossetti G., Zingone A. (2012). Le ragioni della ricerca ecologica a lungo termine. In: Bertoni R. (ed) *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine* (LTER-ITALIA). Aracne Editrice, Roma: 15-22.

Zingone A., Buia M.C. (2012). Golfo di Napoli. In: Bertoni R. (ed) *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine* (LTER-ITALIA) Aracne Editrice, Roma: 189-196.

Zingone A., Montresor M., Sarno D. (2017). Un tesoro di biodiversità invisibile nella Baia di Napoli In: *Aveta A., Marino B.G., Amore R.* (Eds). La Baia di Napoli. Vol. 1 Artstudiopaparo srl Napoli: 61-65.

Zupo V. (2020). Co-evolution of the shrimp *Hippolyte inermis* and the diatoms *Cocconeis* spp. in *Posidonia oceanica: sexual adaptations explained by ecological fitting*. In: Merillon J.-M. & Ramawat K.G. (Eds), Co-evolution of secondary metabolites, Reference Series in Phytochemistry. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76887-8_27-1.

Articoli divulgativi

Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (a cura di) (2018). I Cammini della Rete LTER-Italia. Il racconto dell'ecologia in cammino. Roma: CNR Edizioni. ISBN: (online) 978888080304-1, ISBN: (cartaceo) 978888080312-6.

D'Alelio D., Bergami C. (2016). Come cambiano i nostri ecosistemi? Sapere, N. Dicembre, Dedalo Edizioni.

D'Alelio D., Rigatti E. (2017). Uno scienziato a pedali. Ediciclo Editore, pp. 139.

D'Alelio D. (2017). Clima e plastica minacciano il plancton. La Nuova Ecologia, N. Giugno: 74-75.

D'Alelio D. (2018). Fioriture tossiche. La Nuova Ecologia, N. Gennaio: 70-71.

D'Alelio D. (2018). Imparare, pedalare, divulgare. La Nuova Ecologia, N. Maggio: 74-76.

Sitografia

<http://www.sidimar.tutelamare.it>

<http://szn.macisteweb.com>

<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.890444>

IT14-M ECOSISTEMI MARINI DELLA SARDEGNA

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Sechi¹, Nicola Fois², Jacopo Culurgioni², Riccardo Diciotti², Bachisio Mario Padedda¹

Affiliazione

¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Deims ID: <https://deims.org/67757ba9-c40c-4e2c-bdad-bc26905a738e>

Referente Macrosito: Antonella Lugliè

Siti di ricerca:

Golfo dell'Asinara, IT14-001-M,
Golfo di Olbia, IT14-002-M,
Laguna di Cabras, IT14-003-M,
Laguna di Santa Giusta, IT14-004-M,
Laguna di S'Ena Arrubia, IT14-005-M.

Tipologia di ecosistema: marino/acque di transizione

Citare questo capitolo come segue: Lugliè A., Caddeo T., Casiddu P. *et al.* (2021). IT14-M Ecosistemi marini della Sardegna, p. 469-507. DOI: 10.5281/zenodo.5584757. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il sito comprende differenti tipologie di ambiente:

1. ambienti marini costieri, rappresentati dal Golfo dell'Asinara, nell'area settentrionale della Sardegna, e dal Golfo di Olbia, in quella nord-orientale. Per queste due aree marine costiere si dispone di dati ecologici a partire, rispettivamente, dagli anni '90 ed '80. Le aree sono caratterizzate da diverse tipologie e intensità d'impatto antropico che, conseguentemente, definiscono scenari differenti rispetto alla qualità ambientale;
2. ambienti di transizione, rappresentati dalle lagune di Cabras, Santa Giusta e S'Ena Arrubia, localizzate nel Golfo di Oristano, nella costa centro-occidentale della Sardegna. Per queste aree lagunari si dispone di dati ecologici a partire dagli anni '90. Le lagune sono di proprietà della Regione Autonoma della Sardegna e sono concesse in uso per attività di pesca e acquacoltura. Sono interessate da diverse problematiche ambientali, per lo più connesse con il processo eutrofico.

Per le diverse aree d'indagine sono disponibili serie temporali per i principali descrittori ambientali abiotici

(trasparenza mediante disco di Secchi, temperatura dell'acqua, pH, conducibilità, ossigeno dissolto e saturazione percentuale, alcalinità, azoto ammoniacale, nitroso, nitrico e totale, fosforo reattivo e totale, silice dissolta) e del fitoplancton (clorofilla α , densità cellulare, biovolume, biomassa, composizione in specie).

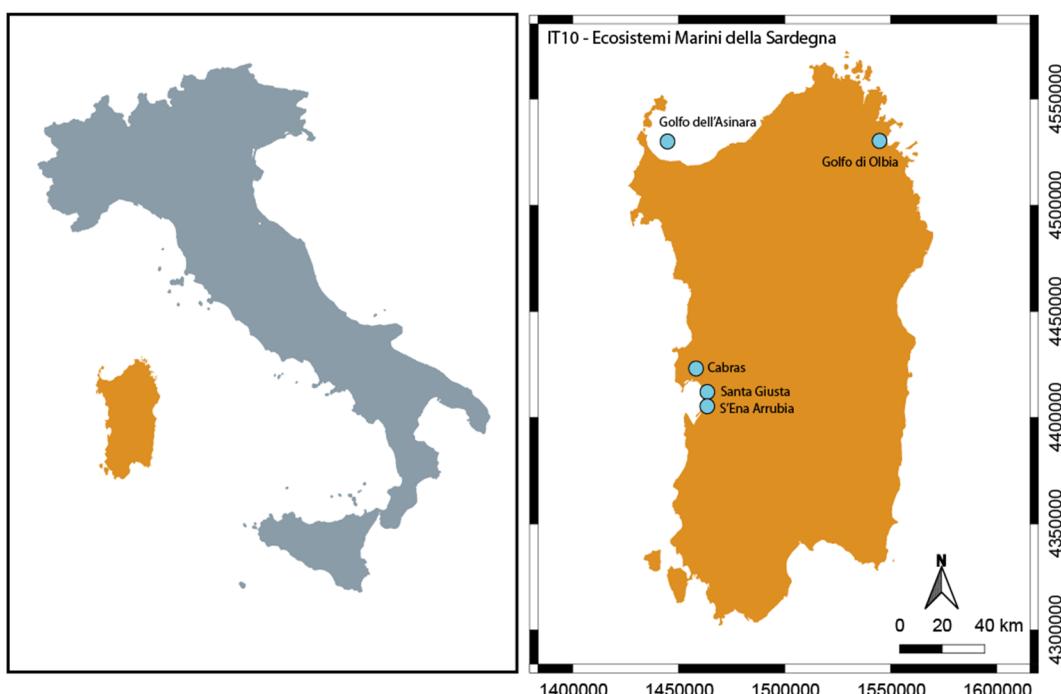


Fig. 1 - Il Macrosito 14 e i siti di ricerca

Nel decennio di appartenenza alla rete LTER sono state prodotte 22 pubblicazioni scientifiche presenti su Scopus/WoS, sulle principali tematiche di ricerca sviluppate nelle aree del sito. Altre ricerche sono state pubblicate su riviste nazionali e internazionali, in atti di convegno e in capitoli di libri.

Le attività di ricerca principali sono orientate allo studio dell'eutrofizzazione, del fitoplancton, e dei loro cambiamenti in rapporto alla presenza e agli effetti di attività antropiche, al disturbo e al cambiamento climatico globale. I risultati ottenuti evidenziano trend interessanti, utili per l'interpretazione degli effetti sui sistemi acuatici dell'azione antropica a livello territoriale e dei cambiamenti globali in atto (Kröncke *et al.* 2019; Padedda *et al.* 2010, 2012; Pulina *et al.* 2011, 2012, 2016a, 2016b; Spechiulli *et al.* 2018).

Rispetto al processo eutrofico, gli studi mirano alla comprensione e alla valutazione delle possibilità gestionali, per le gravi conseguenze che l'eutrofizzazione determina sulla qualità ambientale e sulla biodiversità. Viene studiata la possibilità di utilizzo di modelli previsionali di stato trofico e di valutazione sperimentale e teorica dei carichi. I risultati hanno permesso di constatare che stati di trofia negli ambienti indagati, in particolare delle lagune, sono molto variabili nel tempo, rendendo difficile anche lo sviluppo di modelli previsionali. Nei casi in cui siano stati effettuati interventi di risanamento, le risposte ambientali riscontrate sono state a volte ampiamente diverse da quelle attese, permettendo di ipotizzarne l'inadeguatezza o la non completa realizzazione degli interventi stessi.

Gli studi svolti nei siti di ricerca riguardano le dinamiche spazio-temporali delle abbondanze, della composizione del fitoplancton in specie e in classi di taglia cellulare. La comprensione dei meccanismi, e quindi delle cause che determinano il succedersi di diversi raggruppamenti algali o l'affermarsi di specie di nuova osservazione nelle aree considerate, avviene attraverso diversi livelli di osservazione (Morabito *et al.* 2018): di successione stagionale, su ciclo annuale; di successione generale, spesso legata alle variazioni di trofia, su scala pluriennale; a lungo termine, legata alla scala del cambiamento climatico globale, a sua volta capace di esercitare influenze, anche sui livelli precedenti. I risultati ottenuti rappresentano un contributo alla ricerca di base, offrendo conoscenze floristiche sul fitoplancton delle aree considerate, sui cicli delle diverse specie in natura, sulle risposte specie-specifiche alle diverse condizioni ambientali. La descrizione del fitoplancton sulla base di tratti morfologico-funzionali, quale la composizione per classi di taglia cellulare, rappresenta una recente chiave di lettura per studiare le differenze tra siti, valutando anche il ruolo svolto dal picofitoplanocton (Pulina *et al.* 2017, 2018a, 2018b). Le variazioni della taglia cellulare del fitoplanocton in risposta ai cambiamenti ambientali possono determinare importanti alterazioni nella catena trofica degli ecosistemi acquatici. Questi studi sono particolarmente importanti per gli ambienti marino-costieri in cui sono praticate la pesca e l'acquacoltura, per la cui gestione possono essere fornite informazioni utili a preservare gli ecosistemi con un approccio eco-sostenibile. Particolare attenzione è dedicata alle specie potenzialmente nocive (Harmful Algal Species, HAS), la cui affermazione può scatenare conseguenze dirette sulle comunità acquatiche (es. estese morie animali; Stacca *et al.* 2015; Satta *et al.* 2017; Satta *et al.* 2014), modificando le funzioni, i beni e i servizi ecosistemici, e sulla salute umana (es. trasmissione di biotossine attraverso la rete alimentare; Bazzoni *et al.* 2015, 2016; Lugliè *et al.* 2017). L'importanza della tematica è strettamente legata all'immediata ricaduta che le conoscenze derivanti da queste attività ha su diversi settori produttivi e sulla gestione delle risorse ambientali e naturali. Le attività di ricerca svolte consentono di ampliare le conoscenze ecologiche relative alle HAS con nuove segnalazioni nelle aree di studio e l'approfondimento tassonomico, con studi dettagliati morfologici, genetici e tossicologici, su alcune delle specie riscontrate.

Per definire un quadro più completo della biodiversità presente nei diversi siti, lo studio della componente microalgale plantonica è stato integrato con quello della componente bentonica, considerando anche le cisti durature dei dinoflagellati e delle rafidoficee (Satta *et al.* 2010, 2014, 2017). La separazione tra il compartimento plantonico e quello bentonico rappresenta spesso una distinzione funzionale alle sole necessità di semplificazione della complessità ambientale: negli ambienti poco profondi numerose specie microalgali trascorrono, in rapporto alla turbolenza del sistema, una parte del loro tempo sia nella colonna d'acqua che in prossimità dei substrati, mentre per altre, è lo stesso ciclo vitale che impone l'alternarsi di fasi di dormienza bentoniche con quelle vegetative plantoniche. Le ricerche condotte offrono risposte alla necessità di integrare le informazioni tra i diversi compartimenti e di sviluppare nuove tecniche d'indagine, per ottenere un quadro più completo e di maggiore dettaglio della biodiversità microalgale.

Altri temi d'interesse oggetto d'indagini svolte nei siti di ricerca, sono lo sviluppo e la validazione di indici biotici utili alla valutazione della qualità ambientale, secondo quanto richiesto dalla direttiva quadro sulle acque (Bazzoni *et al.* 2017, 2013), la segnalazione di specie aliene (Diciotti *et al.* 2016; Corriero *et al.* 2015), la validazione di tecniche innovative di rilevamento di dati (Sighicelli *et al.* 2014; Iocola *et al.* 2011a, 2011b).

Abstract

The Parent Site consists of two types of aquatic ecosystems:

1. coastal marine ecosystems, i.e. the Gulf of Asinara (IT14-001-A) and the Gulf of Olbia (IT14-002-A). They are respectively localised in the northern and in the north-eastern coast of Sardinia. Different typologies and levels of anthropogenic pressures characterise the two areas (e.g., from protection due to the presence of a National park, to industrial activities and wastewater from urban centres, to agriculture and fisheries, to the tourism). Consequently, they show different environmental scenarios of water quality and environmental concerns;
2. transitional ecosystems, which are three lagoons located along the west-central coast, in the Gulf of Oristano. They are the lagoons of Cabras (IT14-003-A), Santa Giusta (IT14-004-A) and S'Ena Arrubia (IT14-005-A). These research sites are all important wetlands, included in the Ramsar Convention, and identified as IBA (Important Birds Area), SCI (Site of Community Importance) and SPA (Special Protection Areas). The property of the lagoons is of the Autonomous Region of Sardinia. Fisheries and aquaculture are the most important human activities, and also educational and recreational activities are present. The most important environmental issue of these lagoons is eutrophication.

Golfo dell'Asinara

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Sechi¹, Bachisio Mario Padedda¹

Affiliazioni

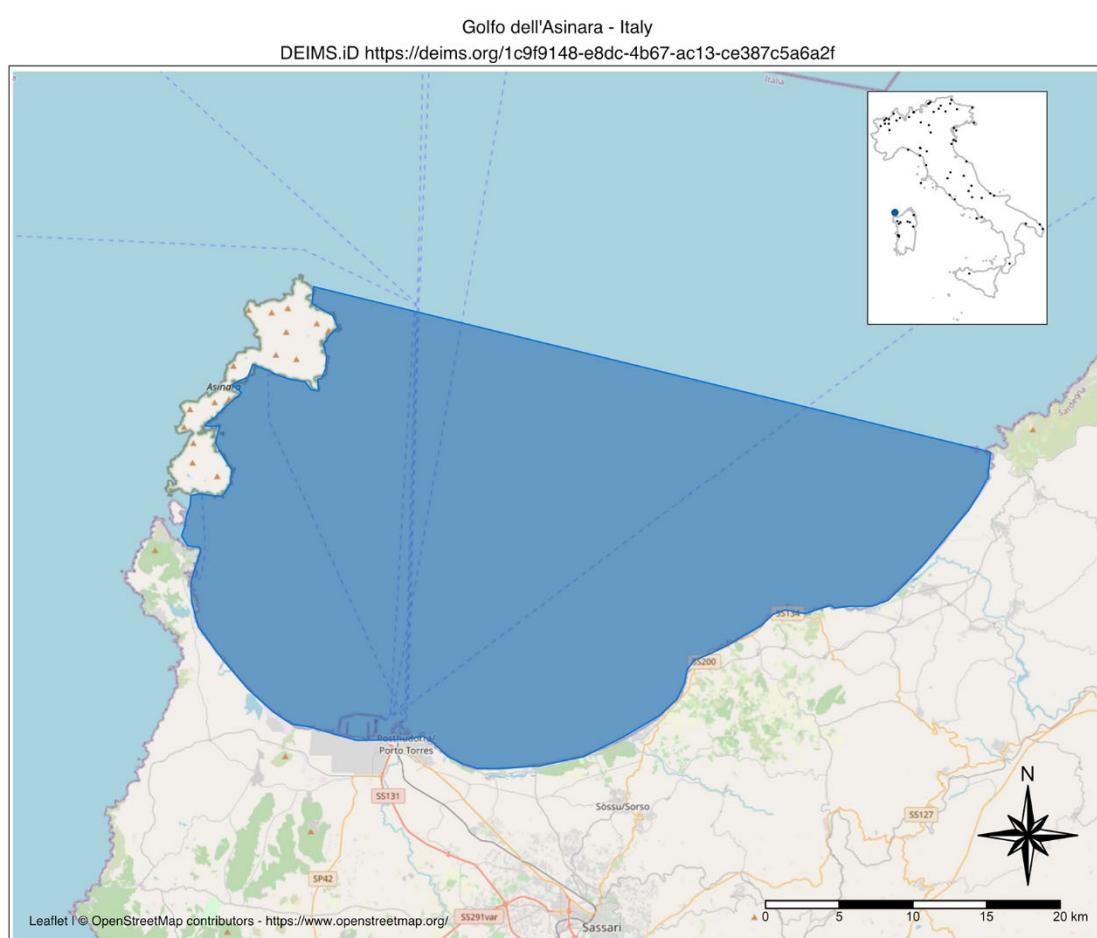
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Sigla: IT14-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/1c9f9148-e8dc-4b67-ac13-ce387c5a6a2f>

Responsabile del Sito: Antonella Lugliè



Descrizione del sito e delle sue finalità:

Il Golfo dell'Asinara si estende per circa 500 km² nella costa settentrionale della Sardegna ed è la seconda baia più grande dell'Isola. Il golfo è delimitato dall'Isola dell'Asinara (Parco Nazionale) a ovest e dal promontorio di Castelsardo ad est. La profondità media del golfo è di circa 35-40 metri e solo il 35% del fondale ha una profondità superiore a 50 m. I venti predominanti provengono dal I e dal IV quadrante. A partire dagli anni '70, la fascia marina costiera è stata sottoposta a diverse attività antropiche, in particolare a quelle legate al polo petrolchimico di Porto Torres e alla presenza di centrali elettriche. Il principale centro urbano lungo la costa del golfo è Porto Torres, con un porto commerciale e uno

industriale. Inoltre, le acque reflue della città di Sassari, la più importante nel nord Sardegna, sono il principale input di nutrienti e di inquinanti nel golfo, insieme alle precedenti fonti. Sono presenti anche ingressi naturali di acqua dolce per la presenza di uno stagno permanente (Stagno di Platamona) e fiumi minori (Rio Mannu e Rio Silis tra i più importanti).

La raccolta dei dati è iniziata nel 1997 ed è proseguita, con poche lacune di varie ampiezze temporali, sino al 2007. La cadenza temporale delle osservazioni



Fig. 2 - Golfo dell'Asinara

è stata generalmente mensile, con prelievi in diverse stazioni di campionamento. La raccolta dati è ripresa nel 2010 solo su scala stagionale. I dati sono generalmente organizzati in fogli elettronici.

L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile del sito di ricerca. In ogni caso, qualsiasi utilizzo dei dati deve essere autorizzato dal responsabile del sito.

Su richiesta e in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (GPS, disco Secchi, bottiglie di Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), di laboratorio per lo svolgimento di analisi chimiche (Laboratorio di Ecologia acquatica del Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU) dell'Università di Sassari: spettrofotometri, fluorimetri, incubatori, cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia del DADU: microscopi rovesciati in contrasto di fase, epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per le attività in campo (imbarcazione a motore) non sono disponibili *in situ*. Non sono disponibili strutture ricettive di altro tipo. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione della Capitaneria di Porto di Porto Torres.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, dell'eutrofizzazione, della biodiversità, delle Harmful Algal Species (HAS) e degli Harmful Algal Blooms (HAB). Le osservazioni nel Golfo dell'Asinara hanno riguardato principalmente la raccolta di dati:

- fisici (temperatura, pH, conducibilità, salinità);
- chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo totale e reattivo, silice reattiva);
- biotici relativi al fitoplancton (clorofilla *a*, densità cellulare, biomassa, composizione in specie);

- sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle disponibilità dei principali nutrienti (trofia) e delle condizioni ambientali di base).

I campioni di fitoplancton raccolti negli anni nel Golfo dell'Asinara sono conservati nella collezione di campioni del DADU e sono disponibili per ulteriori approfondimenti scientifici.

Risultati

Le attività di ricerca nel Golfo dell'Asinara sono riconducibili ad alcuni progetti che si sono susseguiti negli ultimi dieci anni, nei quali è stata dedicata particolare attenzione all'ecologia delle HAS (Satta *et al.* 2012, 2014; Lugliè *et al.* 2017) e all'applicazione sperimentale di tecniche innovative di rilevamento di dati ecologici (Ioccola *et al.* 2011a, 2011b; Pittalis *et al.* 2012; Sighicelli *et al.* 2014). Di seguito, una sintesi dei principali risultati ottenuti:

tra il 2007 e il 2009 l'attenzione è stata focalizzata sullo studio degli eventi di discolorazione dell'acqua osservati nel periodo estivo nell'estesa spiaggia di Platamona, localizzata nell'area centrale del golfo (Satta *et al.* 2010). Nei mesi estivi del 2007, 2008 e 2009, le indagini hanno evidenziato la presenza del dinoflagellato *Alexandrium taylorii* Balech, una HAS le cui fioriture ad elevata biomassa sono state la causa, in diverse zone della spiaggia, della colorazione verde-giallo-marrone delle acque di battigia, sino ad un'estensione di circa 15-20 m dalla riva. Le densità cellulari più elevate si sono avute nel luglio 2007 con un picco di 7×10^6 cell. l^{-1} e concentrazioni di clorofilla *a* comprese tra 18,2 e 87,3 mg m^{-3} (Fig. 3). Tra i fattori ambientali significativi per lo sviluppo della fioritura sono risultati la temperatura e i nutrienti. Nel complesso lo studio ha contribuito alla descrizione della dinamica espansiva della specie nel bacino del Mediterraneo, indicando le spiagge aperte come possibile ulteriore habitat per la massiccia proliferazione di *A. taylorii*, precedentemente segnalato in spiagge piccole e riparate lungo le coste catalane, nelle isole Baleari e in Sicilia;

tra il 2010 e il 2011, le attività del progetto “Nuovi algoritmi bio-ottici per la stima della clorofilla da remote sensing”, svolto in collaborazione con l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), hanno interessato il Golfo dell'Asinara con una sperimentazione orientata a testare le prestazioni di un prototipo di laser spettrofluorometrico (CASPER-laser: Compact and Advanced Spectrometer Laser; Brevetto ENEA N° RM2005A000269). L'utilizzo di CASPER ha permesso di sperimentare tecnologie innovative per individuare e quantificare sostanze organiche (come

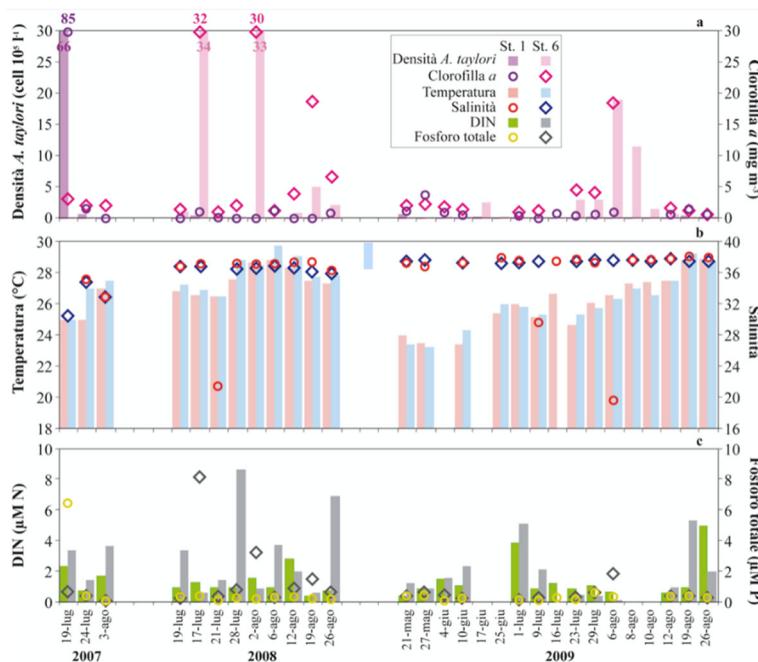


Fig. 3 - Valori di (a) densità cellulare di *Alexandrium taylorii* e clorofilla *a*, (b) temperatura e salinità, (c) azoto inorganico disiolto (DIN; azoto nitrico + azoto nitroso + azoto ammoniacale) e fosforo totale in due stazioni (St. 1 e St. 6) nella spiaggia

CDOM, proteine come tirosina e triptofano, pigmenti algali come clorofilla *a* e *b*, ficoeritrina, ficocianina e diversi pigmenti dei gruppi dei carotenoidi) e inquinanti (come idrocarburi e inquinanti oleosi) dispersi nelle acque. Inoltre, si voleva contribuire alla calibrazione dell'algoritmo bio-ottico MODIS OC3 per la stima delle concentrazioni di clorofilla *a* da satellite nel golfo, per ottenere delle nuove e più precise equazioni specifiche per l'area di studio (Ioccola *et al.* 2011a, 2011b; Pittalis *et al.* 2012; Sighicelli *et al.* 2014).

Nell'area del golfo, sono state selezionate stazioni di campionamento con diverso grado di possibile inquinamento e trofia per il prelievo di campioni a diverse profondità. L'accuratezza e l'affidabilità dei dati ottenuti da CASPER è stata valutata attraverso il confronto con i valori ottenuti *in situ* dallo strumento e quelli derivanti dall'analisi di campioni d'acqua con metodiche standard in laboratorio per la clorofilla *a* (mediante metodo spettrofotometrico) e con l'abbondanza totale del fitoplancton espresso in termini di densità e composizione in classi algali. Gli studi sul campo hanno confermato la capacità di CASPER di discriminare efficacemente gli spettri caratteristici delle componenti fluorescenti in acqua, rappresentando un aiuto nel ridurre l'impegno necessario per le analisi con metodiche standard in laboratorio. I valori raccolti *in situ* sono stati confrontati con i dati telerilevati da immagini satellitari MODIS (Ioccola *et al.* 2011a, 2011b). Il quadro ottenuto è stato coerente con quanto riportato in studi precedenti (Lugliè *et al.* 2002) e ha confermato la presenza nel golfo di aree con condizioni ambientali eterogenee, tali da determinare uno sviluppo del fitoplancton differente in termini quantitativi e qualitativi, con una distribuzione strettamente legata all'intensità dell'impatto delle attività antropiche;

nell'estate del 2012, è stata condotta una campagna d'indagini per valutare la presenza e la distribuzione di HAS lungo le coste della Sardegna in rapporto alle diverse condizioni ambientali, compresa la tipologia di sedimenti delle spiagge (Satta *et al.* 2014). Lungo il profilo costiero del sito del Golfo dell'Asinara sono stati individuati sei punti di controllo. Tra le HAS rinvenute è stata particolarmente significativa, in aggiunta alla conferma della presenza di *A. taylorii*, anche quella di *Levanderina fissa* (Levander) Moestrup, Hakanen, Gert Hansen, Daugbjerg et M. Ellegaard (= *Gyrodinium instriatum* Freudenthal et Lee) e *Ostreopsis cfr. ovata*, la cui densità cellulare ($1,1 \times 10^3$ cell. l^{-1}) in una delle stazioni del golfo (Balai), è stata la più elevata tra quelle rilevate nelle 74 spiagge indagate lungo le coste della Sardegna.

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di diversi progetti tra cui:

Convenzione "Monitoraggio dell'ambiente marino costiero 2001-2003", con proroghe fino al 2006-2007, stipulata con la Regione Autonoma della Sardegna su incarico del Ministero dell'Ambiente.

Progetto di ricerca scientifica "Nuovi algoritmi bio-ottici per la stima della clorofilla da remote sensing" spin-off dell'ENEA InTReGA srl (Innovazione Tecnologica Ricerca e Gestione Ambientale), con sede a Sassari, finanziato dalla Regione Autonoma della Sardegna, Borse di Studio per Giovani Ricercatori, Assessorato della Programmazione, Bilancio, Credito e Assetto del Territorio, CRP, della dottoressa Ileana Ioccola.

Progetto di ricerca scientifica "Fioriture algali nocive in aree di particolare interesse economico della Sardegna: incremento delle conoscenze e nuovi approcci di studio finalizzati alla gestione e alla mitigazione". Legge regionale 7 agosto 2007, n. 7 "Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna".

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo "Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell'Università di Sassari", focalizzando in particolare l'attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Attività di monitoraggio della matrice acqua per l'accordo di cooperazione ex art. 15 della legge 7 agosto 1990 n. 241 nell'ambito del piano di monitoraggio facente parte del progetto definitivo-esecutivo relativo al POR FESR 2007-2013 del Comune di Porto Torres – "Interventi di salvaguardia della fascia costiera e delle infrastrutture nel perimetro urbano", approvato con Deliberazione di Giunta Comunale n. 109 del 07.07.2015.

Attività di divulgazione

La stazione di ricerca è oggetto delle attività didattiche nell'ambito delle esercitazioni in campo previste per l'insegnamento di Ecologia per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari. Negli anni sono state redatte tesi di laurea e relazioni di tirocinio per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari.

Prospettive future

Nel sito di ricerca non sono disponibili fonti di finanziamento esterne per le attività di routine. La raccolta dati estremamente onerosa, seppur con cadenze assai più ridotte, è ancora in essere ed è totalmente autofinanziata. Dal 2018 è attiva con il Comune di Porto Torres una convenzione di ricerca per un piano di monitoraggio della matrice acqua per un progetto definitivo-esecutivo POR FESR 2007-2013 del Comune di Porto Torres riguardante “Interventi di salvaguardia della fascia costiera e delle infrastrutture nel perimetro urbano”. Seppure nell’ambito di quattro stazioni di campionamento poste in prossimità della costa, si stanno indagando i principali parametri ambientali e il fitoplancton a diverse profondità della colonna d’acqua. Tale convenzione dovrebbe garantire un minimo di raccolta dati per i prossimi quattro anni.

Abstract

The Asinara Gulf covers approximately 500 km² and is the second largest gulf in Sardinia. The marine area is limited by the Asinara Island (National Park) in the west and Castelsardo in the east. The average depth of the gulf is approximately 35-40 m and only 35% of the gulf bottom has a depth exceeding 50 m. Since the '70s, the gulf has been affected by different human impacts, especially connected to the industrial area of Porto Torres. The series of ecological data are related to some of the classic descriptors of the pelagic compartment (transparency as Secchi disk depth, temperature, pH, conductivity, salinity, dissolved oxygen and saturation, alkalinity, ammonium, nitrate, nitrite, total nitrogen, soluble reactive and total phosphorus, dissolved silica) and phytoplankton (chlorophyll *a*, cell densities and biomass, class and species composition). They were obtained from 1997 to 2007 and have been resumed from 2010, only on a seasonal scale. The data regards different stations in the gulf. An area of particular interest is that closer to the Asinara Island, for the lower presence of human disturbance. The main activities are oriented to study eutrophication and phytoplankton dynamics in relation to the uses and characteristics of the catchments, the local human pressures and the global climate change.

Golfo di Olbia

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Sechi¹, Bachisio Mario Padedda¹

Affiliazione

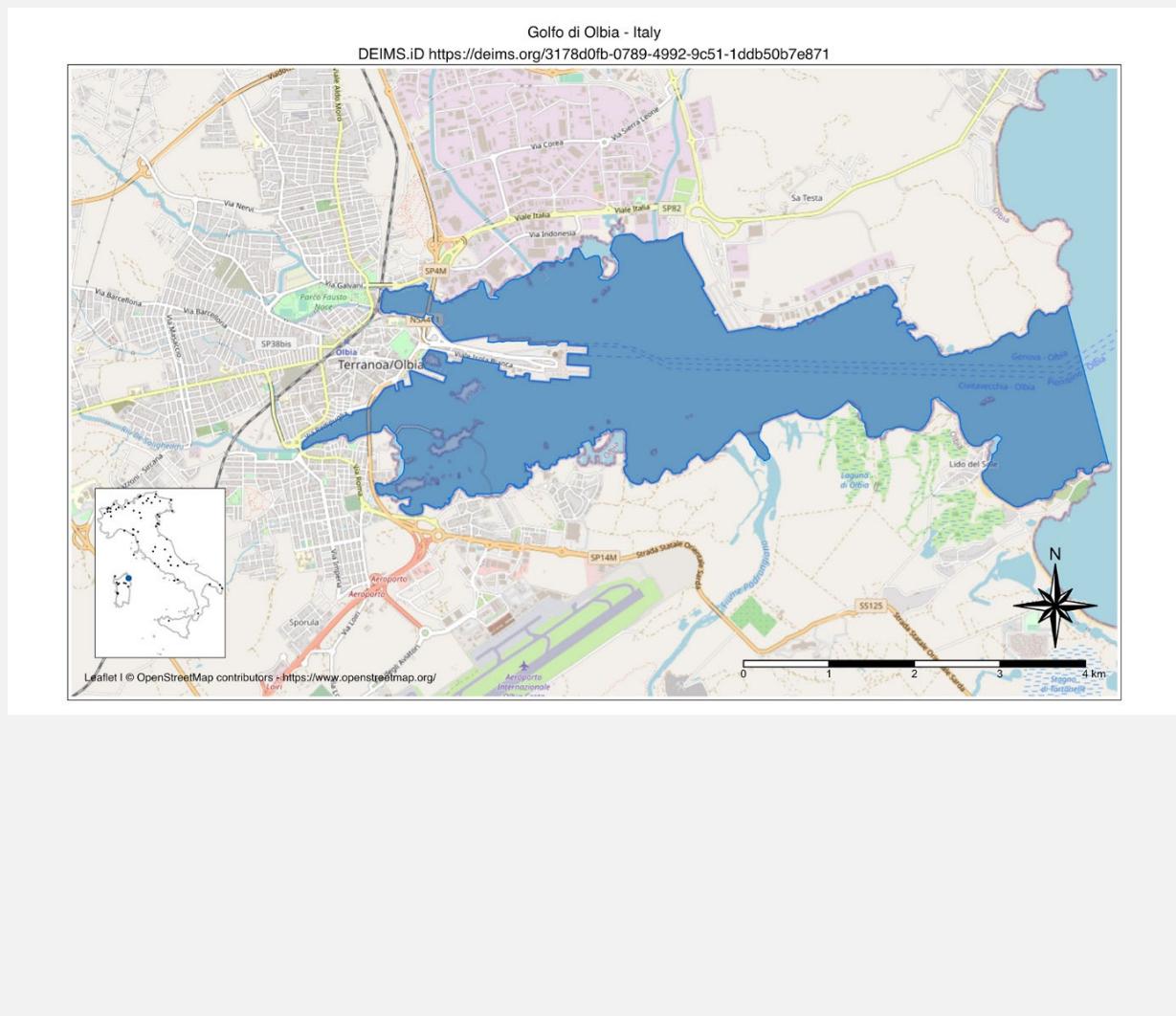
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Sigla: IT14-002-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/3178d0fb-0789-4992-9c51-1ddb50b7e871>

Responsabile del Sito: Antonella Lugliè



Descrizione del sito e delle sue finalità:

Il Golfo di Olbia si trova nella costa orientale della Sardegna. Morfologicamente si tratta di una tipica ria, lunga 5 km e larga 2 km, con una superficie totale di 6,5 km², una profondità media di 5 m ed una profondità massima di 10 m. Nella sua parte meridionale, il golfo riceve input di acqua dolce dal Fiume Padronegiano.



Fig. 4 - Golfo di Olbia

Nella città di Olbia, situata nella parte più interna del golfo, si trova uno dei porti passeggeri più importanti del Mediterraneo (circa 4 milioni di passeggeri all'anno), oltre ad un porto commerciale e uno industriale. È anche la più grande zona di allevamento di cozze e vongole in Sardegna (5000 t a⁻¹). La maricoltura comporta anche un importante scambio di frutti di mare da altre località italiane ed europee, specialmente in estate, quando aumenta la domanda di mercato. L'allevamento di cozze e vongole è fortemente influenzato dalla

qualità dell'acqua e un problema particolarmente importante in questo senso è la presenza di alghe tossiche. Dall'inizio degli anni '90, il Golfo di Olbia è stato monitorato per lo studio dello stato trofico e del fitoplancton dopo che, nel 1987, si era verificato un evento di discolorazione delle acque dovuto al fitoplancton con una contemporanea estesa moria animale (Sechi *et al.* 1987). In particolare, è stata approfondita nel corso degli anni la presenza di specie tossiche o nocive del genere *Alexandrium* (Dinophyceae). Infatti, nell'estate del 1999 è stata accertata per la prima volta a Olbia e lungo le coste italiane, la presenza di *Alexandrium pacificum* Litaker (= *A. catenella* (Whedon e Kofoid) Balech) (Lugliè *et al.* 2003a, 2003b), osservato anche negli anni successi, sempre con densità modeste (Lugliè *et al.* 2011). Nella primavera del 2002 e del 2003 si sono verificati i primi casi di tossicità dei mitili con concentrazioni di tossine paralizzanti prodotte da *Alexandrium* maggiori rispetto ai limiti consentiti per la raccolta e la commercializzazione dei molluschi (PSTs > 800 µg kg⁻¹ pe). *A. pacificum* era considerato uno dei pochi casi documentati di specie invasiva introdotta nel Mediterraneo (Wyatt e Carlton 2002; Penna *et al.* 2005; Zenetos *et al.* 2010). Tuttavia, Masseret *et al.* (2009) hanno ipotizzato che la specie fosse in realtà presente da lungo tempo nel Mediterraneo e che l'espansione osservata fosse legata a condizioni ambientali più favorevoli, evidenziando l'importanza della ricerca LTER anche rispetto a queste problematiche.

Nella seconda metà degli anni 2000, sono stati realizzati degli interventi infrastrutturali riguardanti il sistema portuale e gli scarichi reflui e industriali di Olbia, con la deviazione delle acque reflue urbane ed industriali in un nuovo impianto di trattamento che prevede l'abbattimento del fosforo (non presente in precedenza). Inoltre, è stata modificata l'immissione dei reflui che sono stati tutti diretti nel Fiume Padronegiano, a circa 2 km dalla foce, invece che in più punti nell'area interna del golfo. Esiste un'esigenza gestionale e di valutazione degli interventi che, con la raccolta di nuovi dati e con un'analisi adeguata delle serie temporali, favorirebbe il collegamento del mondo della ricerca scientifica con quello del governo del territorio.

La raccolta dei dati è iniziata nel 1992 per quanto riguarda il solo fitoplancton, a cui si sono aggiunte altre variabili ambientali nel 1996, con alcune lacune di varie ampiezze temporali sino al 2008. Dal 2008 all'estate 2013 è proseguita senza interruzione solo la raccolta dei dati del fitoplancton. Dall'estate 2013 sino alla fine del 2014 è ripresa, su scala mensile, anche la raccolta di dati ambientali. I prelievi dei campioni e le misurazioni *in situ* sono stati svolti in diverse stazioni di campionamento. In alcuni periodi sono state eseguite osservazioni di maggiore dettaglio con approfondimenti temporali (giornalieri) e spaziali (più punti). I dati sono generalmente organizzati in fogli elettronici. I dati disponibili sono utilizzati per valutare le risposte del fitoplancton alle variazioni delle condizioni ambientali negli anni, anche in relazione alle diverse modalità di immissione dei reflui e alle relative conseguenze sul livello trofico, ad alcuni aspetti della presenza antropica nel territorio e al cambiamento climatico globale.

L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile scientifico del sito. In ogni caso, qualsiasi utilizzo dei dati deve essere autorizzato dal responsabile del sito.

Su richiesta e in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (GPS, disco Secchi, bottiglie Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), di laboratorio per lo svolgimento di analisi chimiche (Laboratorio di Ecologia Acquatica, DADU; spettrofotometri, fluorimetri, incubatori, centrifughe, cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia, DADU; microscopi rovesciati in contrasto di fase, epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per effettuare i prelievi (imbarcazione a motore) non sono disponibili *in situ*. Non sono disponibili strutture ricettive di altro tipo. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione della Capitaneria di Porto di Olbia.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, all'eutrofizzazione, alla biodiversità, alle Harmful Algal Species e agli Harmful Algal Blooms. Le osservazioni nel Golfo di Olbia hanno riguardato principalmente la raccolta di dati:

- fisici (temperatura, pH, conducibilità);
- chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo totale e reattivo, silice reattiva);
- biotici (fitoplancton: clorofilla *a*, densità cellulare, biovolume, biomassa, composizione in specie);
- abiotici sui sedimenti (granulometria, LOI, azoto, carbonio organico e inorganico, zolfo);
- biotici sui sedimenti (densità delle cisti dinoflagellati, composizione in specie);
- sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle disponibilità dei principali nutrienti (trofia) e delle condizioni ambientali di base).

I campioni di fitoplancton raccolti negli anni nel Golfo di Olbia sono conservati nella collezione di campioni del DADU e sono disponibili per ulteriori approfondimenti scientifici.

Risultati

Gli studi ecologici svolti nel Golfo di Olbia hanno consentito di approfondire le conoscenze sulle dinamiche pluriennali di variabili abiotiche e biotiche, fornendo chiavi di lettura dei segnali multipli di cambiamento rilevati nelle strutture e nei processi indagati. Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti sul Golfo di Olbia:

L'analisi dei dati su scala pluriennale ha evidenziato un significativo incremento dei nutrienti, specialmente in estate (Pulina *et al.* 2016), che gli autori hanno collegato con la crescita demografica della popolazione umana residente, amplificata dalla forte vocazione turistica del territorio, soprattutto nel periodo estivo. Contemporaneamente, è stata riscontrata una tendenza significativa in diminuzione della clorofilla *a* nonostante il l'aumento dei nutrienti. Il fitoplancton ha mostrato ulteriori variazioni significative, in particolare è stato registrato un cambiamento nei gruppi principali con lo spostamento da

un assemblaggio dominato da diatomee ad uno dominato da piccole forme coccoidi e flagellate ($\sim 5 \mu\text{m}$) (Pulina *et al.* 2016; Morabito *et al.* 2018);

le relazioni fra il fitoplancton e le variabili ambientali hanno indicato la temperatura come fattore chiave nel guidare i cambiamenti (Pulina *et al.* 2016). Più recentemente, Kröncke *et al.* (2019) hanno evidenziato la notevole variabilità della componente fitoplanctonica del golfo e la rapidità della risposta

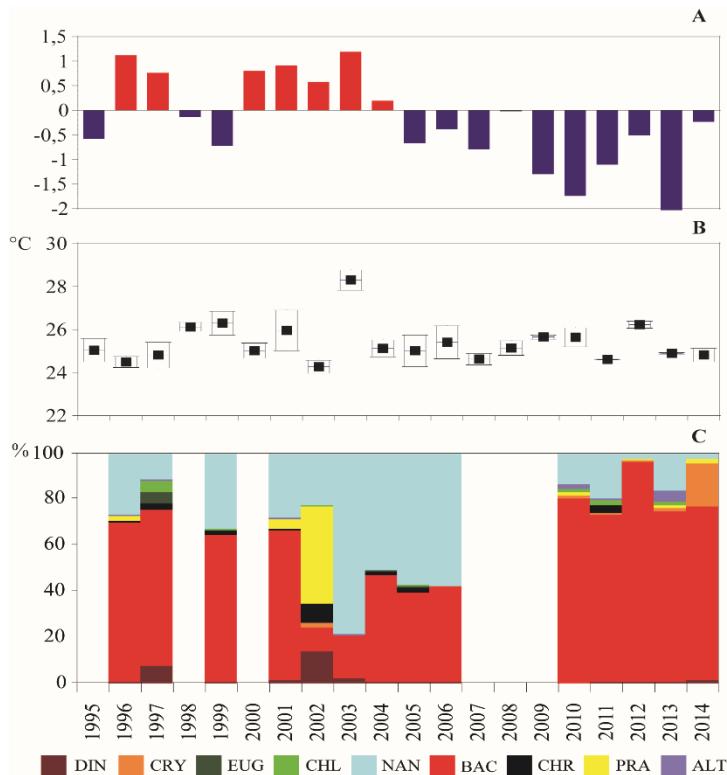


Fig. 5 - Dinamica pluriennale estiva (A) del Western Mediterranean Oscillation index (WeMO) (Martin-Vide e Lopez-Bustins 2006), (B) della temperatura dell'aria e (C) della composizione percentuale in classi del fitoplancton nel Golfo di Olbia, dal 1995 al 2015. I box plots sono stati costruiti considerando il dataset estivo di ogni anno: le linee rappresentano la mediana; i quadrati la media; il fondo del box è il 1° quartile (Q1), la linea superiore è il 3° quartile (Q3); i "baffi" rappresentano il 90° e il 10° percentile. (DIN, Dinophyceae; BAC, Bacillariophyceae; NAN, nanoplankton; CRY, Cryptophyceae; CHR, Chrysophyceae; EUG, Euglenophyceae; PRA, Prasinophyceae; CHL, Chlorophyceae; PRY, Prymnesiophyceae; ALT Dictyochophyceae + taxa non identificati)

dominanza delle frazioni più sottili (silt e clay), nella parte più interna del golfo, ed un incremento della frazione sabbiosa nell'area più esterna (Satta *et al.* 2008). L'analisi delle cisti di resistenza prodotte da dinoflagellati ha permesso di incrementare le conoscenze sulla biodiversità nel golfo con l'identificazione di specie non ancora individuate nei campioni di fitoplancton, nonostante l'osservazione di questi fosse stata svolta su una lunga scala temporale (Satta *et al.* 2010). L'uso di nuove metodiche molecolari per lo studio delle cisti di resistenza ha inoltre contribuito a creare un quadro ancora più completo per l'area del Golfo di Olbia (Penna *et al.* 2010).

Le attività di ricerca sono state condotte nell'ambito di diversi progetti di ricerca tra cui:
Convenzione “Monitoraggio dell’ambiente marino costiero 2001-2003”, con proroghe fino al 2006-2007, stipulata con la Regione Autonoma della Sardegna su incarico del Ministero dell’Ambiente.

STRATEGY (V FP, Energy, Environment and Sustainable Development” EVK3-2000-00621 – New Strategy of Monitoring and Management of HABs in the Mediterranean Sea).

biologica alle variazioni di regime climatico (Fig. 5), prendendo in esame i dati raccolti su un arco temporale di circa 20 anni. Ancora una volta, è stata segnalata l'influenza della temperatura nella strutturazione delle comunità biologiche, con variazioni del fitoplancton del Golfo di Olbia consistenti con quelle osservate in altre componenti di comunità biologiche di ambienti marini dell'emisfero settentrionale (Kröncke *et al.* 2019);

per quel che riguarda le **specie potenzialmente nocive**, l'analisi delle tossine prodotte da colture di *A. pacificum* ottenute con isolati cellulari da campioni provenienti dal Golfo di Olbia, ha evidenziato, nella comparazione con altre specie di *Alexandrium*, la particolare tossicità di questa specie e l'importanza dello studio del profilo tossicologico nel caratterizzare i diversi ceppi (Lugliè *et al.* 2017). Inoltre, la valutazione della tendenza dell'abbondanza negli anni nel Golfo di Olbia delle specie di *Alexandrium*, responsabili degli eventi di tossicità nei primi anni 2000 (Lugliè *et al.* 2011), ha mostrato un trend significativo in decremento mentre specie del genere *Pseudo-nitzschia* e *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann hanno evidenziato un trend in incremento (Bazzoni *et al.* 2015);

i sedimenti del golfo hanno mostrato una granulometria caratterizzata dalla

SEED (VI FP: “SEED – Life cycle transformations among HAB species, and the environmental and physiological factors that regulate them”; Contract number GOCE-CT-2005-00387).

MiPA-Project 6C18” – VI Piano Triennale per la Pesca e l’Acquacoltura.

Convenzione “Presenza di fitoplancton tossico nelle aree acquisite usate per la mitilicoltura”, stipulata con la Regione Autonoma della Sardegna.

Determinazione della qualità delle acque del Golfo di Olbia e del Fiume Padronegiano nell’ambito del Nuovo Piano Regolatore Portuale su incarico della Autorità Portuale di Olbia e Golfo Aranci.

Progetto di ricerca scientifica “Fioriture algali nocive in aree di particolare interesse economico della Sardegna: incremento delle conoscenze e nuovi approcci di studio finalizzati alla gestione e alla mitigazione”. Legge regionale 7 agosto 2007, n. 7 “Promozione della ricerca scientifica e dell’innovazione tecnologica in Sardegna”.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Attività di divulgazione

La stazione di ricerca è oggetto delle attività didattiche nell’ambito delle esercitazioni in campo previste per diversi insegnamenti dei corsi di laurea dell’Università di Sassari. Negli anni sono state redatte numerose tesi di laurea e relazioni di tirocinio per i diversi corsi di laurea dell’Università di Sassari.

Prospettive future

Nel sito di ricerca non sono disponibili fonti di finanziamento esterne per le attività di routine. La raccolta dati molto onerosa, è stata sospesa negli ultimi anni.

Abstract

The Gulf of Olbia is located on the eastern coast of Sardinia. It is a typical ria, 5 km long, 2 km wide, with a total area of 6.5 km², a mean depth of 5 m, and a maximum depth of 10 m. Freshwater flows into the southern part of the gulf through the Padronegiano River. One of the most important passenger harbours in the Mediterranean is located in the town of Olbia, which is in the inner part of the gulf, with approximately 5 million passengers per year. The harbour also serves as commercial and industrial harbour. Olbia is also the site of the largest mussel and clam farming area in Sardinia (5000 t yr⁻¹). Since the mid-1990s, the Gulf of Olbia has been monitored to assess its trophic state, and to evaluate phytoplankton abundance and composition. The series of data has been collected from 1995 to 2008, fortnightly or monthly depending on the year. It has continued with discontinuities in subsequent years, restarting on a more regular monthly scale from 2013 to 2014.

The main activities are oriented to study eutrophication and phytoplankton dynamics in relation to the uses and characteristics of the catchment, the local human pressures and the global climate change. The collected data series mainly regard the dynamics of phytoplankton and trophic status.

In particular the data concerns the main parameters of the pelagic domain (transparency as Secchi disk depth, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and saturation, alkalinity, ammonium, nitrate, nitrite, total nitrogen, soluble reactive phosphorus, total phosphorus, dissolved silica) and phytoplankton abundances, as chlorophyll *a*, cell densities, biovolume and biomass, class and species composition.

Laguna di Cabras

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Fois², Jacopo Culurgioni², Riccardo Diciotti², Bachisio Mario Padedda¹

Affiliazione

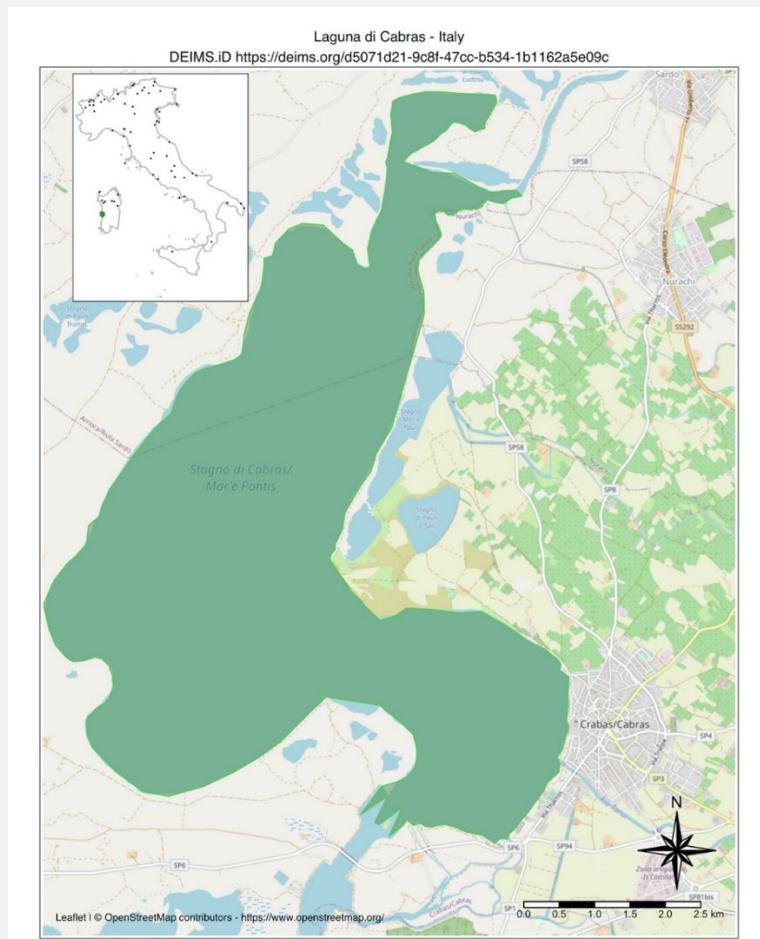
¹ Università di Sassari Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Sigla: IT14-003-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/d5071d21-9c8f-47cc-b534-1b1162a5e0>

Responsabile del Sito: Antonella Lugliè



Descrizione del sito e sue finalità:

La Laguna di Cabras è situata nella costa occidentale della Sardegna, nel Golfo di Oristano. Ha una profondità media di 1,6 m, una profondità massima di 3 m e una superficie di circa 23,80 km² che la rende l'ambiente lagunare più esteso dell'Isola. Il bacino imbrifero copre un'area di circa 430 km². L'ingresso di

acqua dolce in laguna è scarso e irregolare a causa del clima semi-arido mediterraneo e il principale input proviene dal Rio Mare ‘e Foghe che si immette nella parte a nord.

Nel scorso secolo, la laguna e il suo bacino imbrifero hanno subito diverse modifiche che hanno riguardato aspetti idrologici e idraulici con inevitabili sensibili conseguenze sulle funzioni e i relativi servizi ecosistemici. In particolare, negli anni '60, l'area umida di Mare ‘e Foghe è stata trasformata in un canale, con



Fig. 6 - Laguna di Cabras

la perdita della capacità fitodepurativa e del ruolo di mediazione degli input d'acqua dolce nella laguna. Negli anni '70, invece, è stato riconfigurato lo scambio idrico della laguna con il mare (Golfo di Oristano) con il dragaggio di un canale di grandi dimensioni, detto “scolmatore” (sfioratore), all'interno del quale sono stati costruiti una diga di cemento, per evitare l'eccessivo aumento della salinità della laguna, e delle barriere artificiali, per controllare la cattura dei pesci (lavorieri). La comunicazione della laguna con il mare avviene in realtà attraverso quattro canali ristretti che sfociano nello scolmatore, oltre la diga di cemento. Lo scolmatore è stato costruito per evitare gli allagamenti continui che interessavano i terreni adiacenti la laguna durante le forti piogge invernali.

La popolazione residente nel territorio del bacino imbrifero è di circa 38.000 abitanti, raggruppati in 19 centri urbani, il più grande dei quali è Cabras, situato nella costa sud-est della laguna. L'estesa attività agricola della regione e le acque reflue urbane non depurate sono responsabili degli elevati carichi di nutrienti che giungono nella Laguna di Cabras. La laguna ha un elevato valore economico per le intense attività di pesca praticate che coinvolgono circa 300 addetti e le loro famiglie. Nel 1998, la produttività ha raggiunto un valore di 40.000 kg km⁻², corrispondente ad una cattura di 850 tonnellate di pesce, ma questo valore è sceso a circa 20.000 kg km⁻² e meno di 80 tonnellate dopo il 1999. L'elevato livello trofico ha spesso esposto la laguna a crisi distrofiche che hanno causato una forte riduzione della produttività ittica e della pesca. Dopo la drammatica crisi dell'estate 1999, durante la quale tutta la componente acquatica animale è morta, ha avuto inizio il monitoraggio per definire un quadro aggiornato delle condizioni ambientali rispetto ai primi dati scientifici rilevati alla fine degli anni '70 (Sechi 1981). Tra il 1999 e il 2009 la raccolta dei dati è stata svolta con campionamenti quindinali o mensili, per i principali descrittori trofici e il fitoplancton. Le misure *in situ* e il prelievo dei campioni hanno interessato diverse stazioni, da un massimo di 5 ad un minimo di 3, poste lungo l'asse principale della laguna secondo un gradiente di salinità. In alcuni periodi sono state eseguite osservazioni di maggiore dettaglio, con approfondimenti spaziali (stazioni aggiuntive). La raccolta è ripresa nel 2016, è tutt'ora in corso, ed è svolta in collaborazione con l'Agenzia della Regione Sardegna per la Ricerca Scientifica (AGRIS). I dati sono generalmente organizzati in fogli elettronici.

L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile scientifico del sito. In ogni caso, qualsiasi utilizzo dei dati deve essere autorizzato dal responsabile del sito.

Su richiesta ed in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (GPS, disco di Secchi, bottiglie di Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), e di laboratorio per lo svolgimento di analisi chimiche (Laboratorio di Ecologia Acquatica, DADU; spettrofotometri, fluorimetri, incubatori, cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia, DADU; microscopi rovesciati in contrasto di fase, epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per svolgere i prelievi (imbarcazione a motore) non sono disponibili *in situ*. Non sono disponibili strutture ricettive di altro tipo. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione da parte della cooperativa pescatori che ha in gestione il compendio ittico.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, all'eutrofizzazione, alla biodiversità, alle Harmful Algal Species (HAS) e agli Harmful Algal Blooms (HAB), alle specie aliene invasive. Le osservazioni nella Laguna di Cabras hanno riguardato la raccolta di dati:

- fisici (temperatura, pH, conducibilità);
- chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo totale e reattivo, silice reattiva);
- biotici sul fitoplancton (clorofilla α , densità cellulare, biovolume, biomassa, composizione in specie);
- biotici sul sedimento (densità cisti dinoflagellati, composizione in specie);
- sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle disponibilità dei principali nutrienti e delle condizioni ambientali di base).

I campioni di fitoplancton raccolti negli anni nella Laguna di Cabras sono conservati nella collezione di campioni del DADU e sono disponibili per ulteriori approfondimenti scientifici.

Risultati

La Laguna di Cabras è una delle stazioni di ricerca del sito IT14 Ecosistemi Marini della Sardegna maggiormente indagate negli ultimi anni proprio per la sua importante valenza economica e ambientale nel contesto della Sardegna e del Mediterraneo. Le ricerche si sono susseguite nel tempo attraverso specifici programmi di ricerca e monitoraggio, oltre che con indagini totalmente autofinanziate. Di seguito si riporta una sintesi di queste attività e dei principali risultati che sono stati oggetto di pubblicazioni scientifiche nell'ultimo decennio:

Padedda *et al.* (2010) hanno applicato il **modello di bilancio di massa Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ)** per valutare i flussi dei nutrienti e le caratteristiche metaboliche della laguna. Tra i principali risultati, è emerso un prevalente accumulo di nutrienti nella laguna rispetto alla loro mobilitazione (funzionamento come "sink"), sia per il fosforo inorganico dissolto che per l'azoto inorganico dissolto. Inoltre, l'azoto-fissazione ha prevalso sulla denitrificazione nel periodo considerato e solo nei mesi di aprile e maggio si è verificato il contrario. Durante tutto il periodo d'indagine sono stati riscontrati valori positivi del metabolismo netto dell'ecosistema, ovvero una prevalenza dei processi produttivi rispetto a quelli dissimilativi, con i valori più elevati nel periodo primaverile. Infine, sono stati determinati tempi di ricambio idraulico assai lunghi e in estate è stata accertata la quasi completa disconnessione della laguna dal mare, con una conseguente inefficiente vivificazione delle acque. Questi risultati sono stati confermati da dati raccolti in anni successivi;

considerando i dati raccolti nel biennio 2001-2002, Padedda *et al.* (2012) hanno valutato le **dinamiche degli assemblaggi del fitoplancton**, comprese le **specie algali potenzialmente nocive (HAS)**, in relazione alle variabili ambientali. I dati hanno mostrato una significativa uniformità spaziale delle condizioni ambientali e della componente fitoplanctonica della laguna, nonostante la sua estensione,

evidenziando un chiaro gradiente solo per la salinità. I risultati di questo studio hanno inoltre mostrato un legame importante tra variabilità ambientale e composizione e dinamica del fitoplancton nella Laguna di Cabras. In particolare, è stata riscontrata un'elevata disponibilità di nutrienti, tale da confermare le condizioni ipertrofiche già descritte, una densità del fitoplancton costantemente elevata, un predominio di cianobatteri (con specie dei generi *Cyanobium* e *Rhabdoderma*) e la presenza di diverse HAS. La predominanza prolungata e intensa dei cianobatteri si è verificata dopo un evento di piovosità anomala e una successiva brusca diminuzione della salinità lagunare. Complessivamente, la salinità, la concentrazione dei nutrienti e il rapporto tra azoto e fosforo sono stati i fattori principali nel controllo della dinamica temporale degli assemblaggi del fitoplancton, evidenziando il ruolo svolto da forzanti locali e l'influenza di eventi estremi, probabilmente collegabili al cambiamento climatico globale. L'alta variabilità delle condizioni meteo-climatiche e dell'idrologia lagunare sono state indicate quali responsabili dell'assenza di un chiaro pattern di sviluppo del fitoplancton su scala annuale nell'analisi comparativa delle serie temporali della Laguna di Cabras rispetto ad altri siti LTER della rete italiana (Morabito *et al.* 2018);

L'influenza delle condizioni ambientali lagunari e degli eventi meteorologici sull'affermazione di cianobatteri nelle lagune mediterranee è stata approfondita da Pulina *et al.* (2011) che hanno preso in considerazione una successiva intensa proliferazione di cianobatteri nel periodo compreso tra luglio 2007 a giugno 2009. Per 17 mesi, le Chroococcales sono state l'unico ordine di cianobatteri osservato, con la prevalenza del genere *Cyanobium*. Nei mesi successivi, sono stati osservati dei cambiamenti drastici nella composizione tassonomica dei cianobatteri contemporaneamente ad un improvviso calo della salinità lagunare nell'autunno del 2008, dovuto a piogge costanti e intense. La predominanza delle Chroococcales è stata seguita dall'affermazione di Oscillatoriales nel periodo invernale-primaverile, con *Planktothrix* sp. e *Pseudanabaena catenata* Lauterborn, e dalle Nostocales nei mesi tardo primaverili, con *Aphanizomenon gracile* Lemmermann, *Sphaerospermopsis aphanizomenoides* (Forti) Zapomelová, Jezberová, Hrouzek, Hisem, Reháková et Komárková (= *Aphanizomenon aphanizomenoides* (Forti) Hortobágyi et Komárek) e *Anabaenopsis circularis* (G.S. West) Woloszynska et V. Miller. L'analisi dei diversi assemblaggi di cianobatteri in rapporto alle variabili ambientali ha segnalato una stretta relazioni tra Chroococcales e salinità, tra Oscillatoriales e valori più elevati delle concentrazioni di fosforo reattivo e del rapporto azoto inorganico disciolto e fosforo reattivo (DIN/SRP), tra Nostocales e valori più bassi delle concentrazioni di nutrienti, del rapporto DIN/SRP e della salinità;

In un'ottica propriamente LTER, le serie di **dati del decennio 1999-2009 sono state analizzate** da Pulina *et al.* (2012) con l'obiettivo di valutare le caratteristiche della successione fitoplanctonica e le dinamiche in relazione ai fattori ambientali. I risultati hanno messo in luce alcuni aspetti di rilievo, come lo spostamento del picco massimo di densità cellulare del fitoplancton dai mesi compresi tra l'estate e l'inverno del periodo 1999-2002 (Padedda *et al.* 2012), a quelli tra l'inverno e la primavera negli anni successivi; la contemporanea riduzione della concentrazione di clorofilla *a* e delle dimensioni cellulari del fitoplancton dal 1999 al 2008; la sostanziale modifica della struttura degli assemblaggi di fitoplancton, con il passaggio da una composizione in classi più diversificata nel 1999-2002 ad una chiara dominanza dei cianobatteri. Inoltre, è stata dimostrata la presenza di differenze significative nelle condizioni ambientali e nella composizione in classe del fitoplancton tra i differenti anni idrologici dell'arco temporale considerato (Fig. 7). La temperatura, la salinità e i nutrienti sono state individuate come le variabili ambientali che maggiormente hanno influenzato la dinamica del fitoplancton;

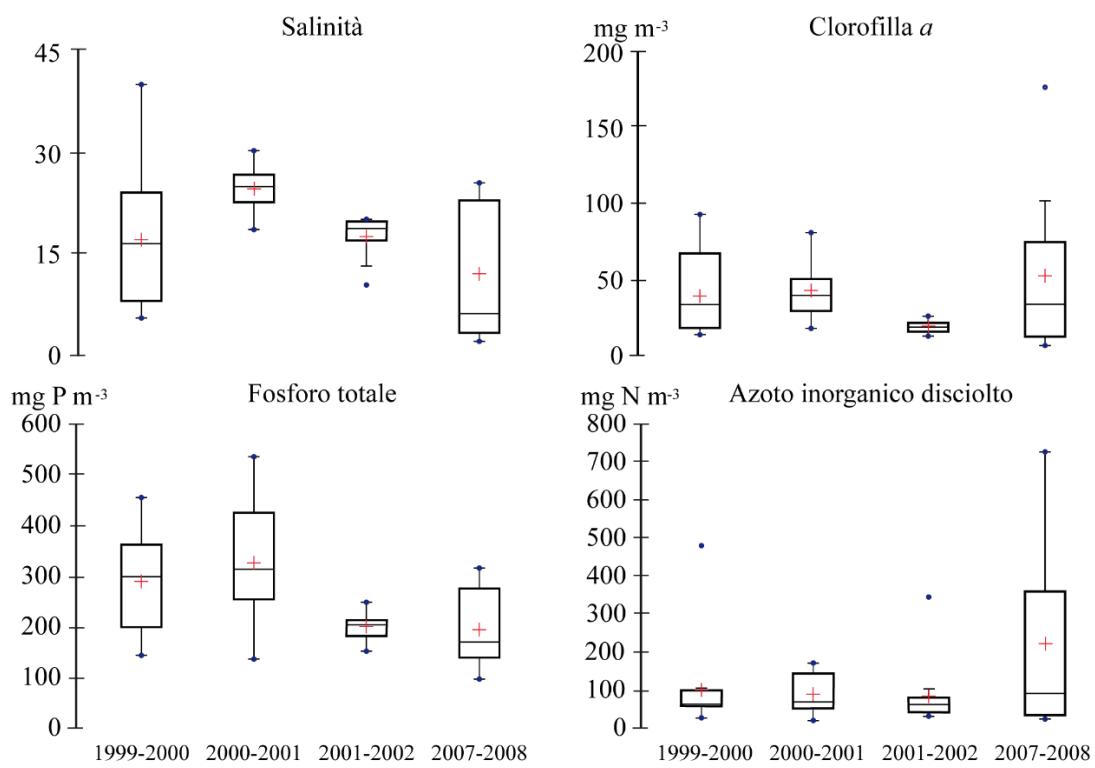


Fig. 7 - Distribuzione statistica dei valori medi di salinità, clorofilla a, fosforo totale e azoto inorganico dissolto (= azoto nitroso + azoto nitroso + azoto ammoniacale) nella Laguna di Cabras, in diversi anni idrologici (1° ottobre - 30 settembre). Nel box plot la linea interna rappresenta la mediana, la croce la media, il fondo del box è il 1° quartile (Q1), la linea superiore è il 3° quartile (Q3), i "baffi" rappresentano il 90° e il 10° percentile, i pallini sono valori fuori scala rispetto all'intervallo considerato

nel 2016 è stato condotto un esperimento per valutare gli effetti del riscaldamento globale sulle comunità fitoplanctoniche della laguna (Pulina *et al.* 2016a). Per questa ricerca l'acqua lagunare, prelevata nel mese di febbraio 2015, è stata incubata in laboratorio a diverse temperature. Sono stati testati gli effetti sugli assemblaggi fitoplanctonici posti in diverse condizioni di temperatura (ogni trattamento in tre repliche): a 11°C (trattamento 1), definito come controllo, ovvero con una temperatura pari alla temperatura media invernale calcolata sulla base dei dati pluriennali disponibili per la laguna; a 14°C (trattamento 2), cioè +3°C rispetto al controllo, per simulare l'aumento di temperatura previsto nella regione mediterranea nel prossimo secolo (Giorgi e Lionello 2008); a 17°C (trattamento 3), ovvero +6°C rispetto al controllo, per simulare l'aumento della temperatura previsto nei prossimi due secoli (Giorgi e Lionello 2008). I risultati hanno mostrato effetti significativi dell'incremento di temperatura sugli assemblaggi fitoplanctonici. In particolare, l'abbondanza di taxa relativamente più piccoli presenti nei campioni naturali (quali *Chlorella* sp. e *Planktothrix agardhii-rubescens* group) è aumentata a 17°C, mentre quella di specie relativamente più grandi (come *Cyclotella* sp. e *Thalassiosira* sp.) è diminuita rispetto al controllo (11°C). Associati allo spostamento verso una maggiore affermazione di taxa più piccoli sono stati rilevati un aumento della biomassa totale fitoplanctonica (la maggiore abbondanza delle forme microalgali più piccole ha sovraccollato la diminuzione di quelle più grandi) e una diminuzione della clorofilla a (per il probabile minor contenuto di clorofilla a nelle cellule delle microalghe relativamente più piccole);

Bazzoni *et al.* (2012, 2013, 2017) hanno utilizzato le serie temporali della Laguna di Cabras e di altre lagune sarde per testare su una scala geografica ampia e su diverse tipologie di laguna, il **Multimetric Phytoplankton Index (MPI)**, un indice multimetrico basato sul fitoplancton (Facca *et al.* 2011, 2014). L'indice prevede il calcolo di quattro metriche (indice di dominanza di Hulbert, frequenza delle fioriture, indice di diversità di Menhinick, concentrazione di clorofilla a). I risultati hanno indicato uno stato ecologico complessivamente scadente (poor), principalmente per l'elevata concentrazione di nutrienti (ipertrofia), una bassa ricchezza in specie in tutte le stazioni indagate, densità cellulari sempre molto elevate (densità totale media mensile > 10⁷ cell. l⁻¹), con una chiara affermazione delle Bacillariophyceae (*Cyclotella atomus* Hustedt e *Skeletonema potamos* (C.I. Weber) Hasle) dal 1999 fino alla fine del 2000, una

netta dominanza dei cianobatteri dal 2001 fino all'estate del 2002 (*Rhabdoderma* cf. *rubrum* (Alvik) Komárek et Anagnostidis), e dal 2007 al 2009 (*Cyanobium* sp.). Inoltre, è stata confermata l'uniformità delle condizioni ambientali all'interno della laguna, ad esclusione della stazione più vicina alla bocca a mare. La comunicazione molto difficoltosa con il mare, come già accertato in precedenti studi, ha probabilmente influenzato le condizioni di quest'area per la quale l'MPI ha dato una valutazione di stato ecologico peggiore (bad);

Satta *et al.* (2014) hanno identificato e quantificato le cisti di dinoflagellati nei sedimenti superficiali di tre lagune della costa occidentale della Sardegna (Corru S'Ittiri, Santa Giusta e Cabras). Per la Laguna di Cabras i campioni sono stati raccolti in 11 stazioni nel maggio 2009. I risultati hanno evidenziato la presenza di 11 diversi morfotipi. Gli assemblaggi sono stati dominati in tutte le stazioni da una specie di *Scrippsiella* produttrice di cisti organiche. Dall'analisi comparativa con le altre due lagune, quella di Cabras ha mostrato una minore abbondanza totale di cisti e di morfotipi. Questi risultati sono apparsi coerenti con le condizioni di elevata eutrofia e, soprattutto, con la salinità tendenzialmente più bassa della Laguna di Cabras. Infatti, rispetto ai dati ambientali delle tre lagune, quella di Cabras è stata caratterizzata da valori più bassi di salinità invernale ed estiva e da incrementi estivi delle concentrazioni di nutrienti e invernali di clorofilla *a*,

le serie di dati della Laguna di Cabras, assieme a quelle raccolte nel Golfo di Olbia e nel Lago Temo, hanno contribuito ad uno studio comparativo tra domini dei trend pluriennali del fitoplancton in ecosistemi di transizione, marini e lacustri della Sardegna (Pulina *et al.* 2016b). Per la Laguna di Cabras, i principali risultati hanno indicato, su scala stagionale, significative diminuzioni della salinità in inverno, estate e autunno e del pH in inverno e in autunno. Anche per i nutrienti è stato rilevato un generale trend in diminuzione (non significativo), ad eccezione del DIN, significativamente in aumento in inverno. La clorofilla *a* è risultata in significativa diminuzione in inverno, estate e autunno, accompagnata da trend simili anche per le classi fitoplanctoniche, all'interno delle quali è aumentata l'abbondanza delle specie di dimensioni relativamente minori. Nello specifico, la densità delle Bacillariophyceae (principalmente rappresentate da *Skeletonema* spp., *Fragilaria* sp. e *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin) è diminuita significativamente in estate e autunno, quella delle Chrysophyceae in inverno, quella delle Dinophyceae (con *Scrippsiella* spp. e *Prorocentrum micans* Ehrenberg) in primavera e autunno, quella delle Prasinophyceae (*Tetraselmis* sp.) in autunno. Al contrario, l'abbondanza di specie con dimensioni cellulari minori (3-10 µm) è aumentata significativamente: nelle Chlorophyceae (*Monoraphidium minutum* (Nägeli) Komárková-Legnerová e *Chlorella* spp.) in estate e in autunno, e nei cianobatteri (*Cyanobium* sp. e *Rhabdoderma* cf. *rubrum* (Alvik) Komárek et Anagnostidis) in primavera e autunno;

Specchiulli *et al.* (2018) hanno indagato la distribuzione spazio-temporale di alcuni descrittori trofici quali la clorofilla *a*, il carbonio organico dissolto (dissolved organic carbon, DOC) e la materia organica cromoforica dissolta (chromophoric dissolved organic matter, CDOM) in due sistemi lagunari mediterranei, ovvero nella Laguna di Varano e nel sistema “Immissari – Laguna di Cabras – Golfo di Oristano” (OLG), fornendo informazioni quantitative sulla dinamica della materia organica dissolta (dissolved organic carbon, DOM), una componente non ancora studiata per queste lagune e, in generale, poco approfondita negli ecosistemi lagunari. I risultati hanno evidenziato l'eterogeneità spaziale e la compartimentazione del sistema OLG, con salinità variabile da <1 (siti fluviali) a >50 (Laguna di Mistras), e l'influenza sulla distribuzione del DOC e del CDOM. Infatti, i valori più bassi sono stati riscontrati nella porzione più a sud della laguna e in generale nei siti lontani dal punto d'ingresso degli immissari ed i coefficienti di assorbimento sono stati negativamente correlati con la salinità, ad indicare l'influenza degli input terrigeni dei siti fluviali. Inoltre, i contenuti più alti di DOC e CDOM sono stati trovati nell'acqua interstiziale dei sedimenti della Laguna di Cabras, ricchi di composti organici, con valori pari a quasi il doppio del DOC e del CDOM riscontrati nella colonna d'acqua. Questi risultati hanno evidenziato che gli indici CDOM possono essere sfruttati come predittori per la stima del DOM e che rappresentano uno strumento prezioso, economico e semplice per descrivere le condizioni trofiche degli ecosistemi lagunari;

Pugnetti *et al.* (2013) hanno riportato la presenza di **macrofite invasive flottanti** (*Eichhornia crassipes* (Mart) Solms e *Hydrocotyle ranunculoides* L.) nella parte settentrionale della Laguna di Cabras (Mare ‘e Foghe), segnalate sin dal 2010 (Brundu *et al.* 2012), e hanno indicato la maggiore salinità delle acque propriamente lagunari rispetto a quella presente nell’area settentrionale interessata dagli input dulciacquicoli, quale principale fattore ambientale di resistenza all’invasione dello specchio lagunare da parte di queste specie.

Le attività di ricerca sono state condotte nell’ambito di diversi progetti tra cui:

“*Piano di recupero ambientale e rilancio produttivo dello Stagno di Cabras*”, convenzione con la Regione Autonoma della Sardegna.

“*Attività di ricerca per la valorizzazione della biodiversità marina per fini produttivi nella Laguna di Cabras*”, Accordo di Programma Quadro per la Ricerca scientifica e l’innovazione tecnologica – APQ ricerca P5b per la della Regione Autonoma Sardegna.

“*Prove di riproduzione di Mugil cephalus e ripopolamento produttivo nelle lagune della Sardegna*”, finanziato nell’ambito dei Progetti Legge Regionale 7/2007 della Regione Autonoma Sardegna, capofila Agenzia regionale per la ricerca in agricoltura.

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

“*Tecnomugilag – Trasferimento alle aziende operanti in laguna delle tecniche di riproduzione e di allevamento in ambiente controllato di Mugil cephalus*”, Progetto Cluster “Top Down” della Regione Autonoma della Sardegna (Det. DG n° 1207 del 03/10/2017, Sardegna Ricerche).

Attività di divulgazione

La stazione di ricerca è oggetto delle attività didattiche nell’ambito delle esercitazioni in campo previste per l’insegnamento di Ecologia per diversi corsi di laurea dell’Università di Sassari. Negli anni sono state redatte numerosi tesi di laurea e relazioni di tirocinio per diversi corsi di laurea dell’Università di Sassari.

Prospettive future

Nel sito di ricerca non sono disponibili fonti di finanziamento esterne per le attività di routine. La raccolta dati è ancora in essere, totalmente autofinanziata, ed è svolta solo in parte nell’ambito del progetto Tecnomugilag, e con la collaborazione con AGRIS.

Abstract

Cabras Lagoon is located on the west coast of Sardinia (Italy), in the Gulf of Oristano and it extends for about 2280 ha, with a mean water depth and maximum of 1.6 and 3 m, respectively. The watershed extends over approximately 430 km². The input of freshwater into the lagoon is scarce and irregular because of the semi-arid Mediterranean climate. Most of the freshwater comes from the small Mare ‘e Foghe Rio, located in the north. The connection between the lagoon and the adjacent Gulf of Oristano consists of four narrow creeks that flow into a large southernmost canal, which was dredged in the late ’70s. The lagoon has a high economic rating due to extensive fishery activities. Scientific monitoring has been carried out since the most significant dystrophic crisis at Cabras Lagoon, which occurred in summer 1999.

The main scientific activities are oriented to study eutrophication and phytoplankton ecology in relation to the uses and characteristics of the catchment, the local human pressures and the global climate change. In particular the data concerns the main parameters of the pelagic domain (transparency as Secchi disk depth, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and saturation, alkalinity, ammonium, nitrate, nitrite and total nitrogen, reactive and total phosphorus, dissolved silica) and phytoplankton (chlorophyll *a*, cell densities, biovolume and biomass, class and species composition).

Laguna di Santa Giusta

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Sechi¹, Nicola Fois², Jacopo Culurgioni², Riccardo Diciotti², Mario Padedda Bachisio¹

Affiliatione

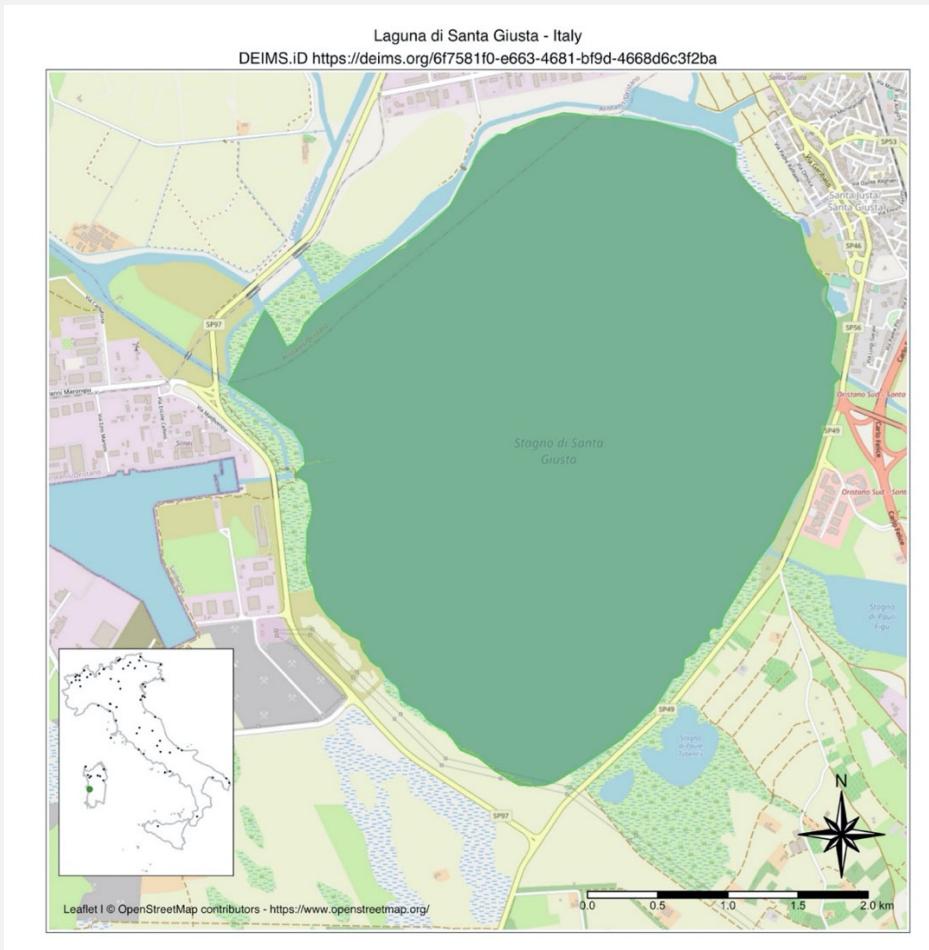
¹ Università di Sassari Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Sigla: IT14-004-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/6f7581f0-e663-4681-bf9d-4668d6c3f2ba>

Responsabile del Sito: Antonella Lugliè



Descrizione del sito e sue finalità:

La Laguna di Santa Giusta ha una forma quasi circolare, una superficie di circa 8 km² ed una profondità media di circa 1 m. L'attuale configurazione idraulica della laguna è il risultato di numerosi interventi attuati dalla fine degli anni '50. In origine il collegamento con il mare avveniva attraverso un canale, il



Fig. 8 - Laguna di Santa Giusta

Canale Pesaria, che permetteva l'afflusso di acqua dolce solo nel periodo umido dalla foce del Fiume Tirso, a cui la laguna risultava collegata, e l'afflusso di acqua di mare solo nel periodo secco. Nel 1958, il canale, lungo circa 3 km, è stato ampliato, separato dal fiume e collegato direttamente con il mare. Inoltre, al suo interno, è stato costruito un sistema di cattura dei pesci (lavoriero), con una notevole riduzione della

profondità e della larghezza, provocando ripercussioni sul volume di scambio di marea. Nel 1970, durante la costruzione del porto industriale di Oristano, è stato costruito anche un secondo canale di comunicazione con il mare. Gli apporti dai rii Pauli Maiori e Pauli Figu, entrambi sul lato orientale della laguna, rappresentano il principale input d'acqua dolce.

Sino alla fine degli anni '70, la produzione ittica della laguna è stata elevata, con punte di circa 800 kg ha⁻¹ a⁻¹ nel 1977, probabilmente per l'elevato livello trofico, sostenuto dall'alta disponibilità di nutrienti, in particolare di fosforo (Sechi *et al.* 2001). La produzione ittica lagunare è diminuita negli anni successivi, soprattutto dalla fine degli '80, quando una drammatica crisi distrofica (settembre 1989) ha causato la morte di tutta la componente animale. Il successivo e progressivo calo del pescato e l'aumento della frequenza di eventi distrofici sono stati posti in relazione con il peggioramento dello stato trofico lagunare, provocato dall'aumento della pressione antropica nel bacino imbrifero (incremento della popolazione e delle attività umane). Negli anni '90, per migliorare le condizioni trofiche lagunari, è stato costruito un sistema di deviazioni dei reflui urbani di Oristano e Santa Giusta, la cui limitata funzionalità non ha però determinato i miglioramenti attesi delle condizioni ambientali (Sechi *et al.* 2001). Anche nel decennio successivo (per esempio nell'estate 2010) si sono verificati gravi eventi di morie della componente ittica.

Dal 1990, è stata raccolta una lunga serie di dati ecologici su diverse variabili ambientali e sul fitoplancton, con cadenza per lo più mensile dei campionamenti e prelievo dei campioni in diversi punti della laguna (da un massimo di 7 ad un minimo di 3). In alcuni periodi sono state eseguite osservazioni di maggiore dettaglio, con approfondimenti spaziali (stazioni aggiuntive). La raccolta dati è stata interrotta nel 2002, è ripresa dal 2010 ed è tutt'ora in corso, svolta in collaborazione con l'Agenzia della Regione Sardegna per la Ricerca Scientifica (AGRIS). I dati sono generalmente organizzati in fogli elettronici.

L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile scientifico del sito. In ogni caso, qualsiasi utilizzo dei dati deve essere autorizzato dal responsabile del sito.

Su richiesta ed in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (GPS, disco di Secchi, bottiglie di Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), di laboratorio per lo svolgimento di analisi chimiche (Laboratorio di Ecologia Acquatica, DADU; spettrofotometri, fluorimetri, incubatori,

cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia, DADU; microscopi rovesciati in contrasto di fase, microscopi in epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per effettuare i prelievi (imbarcazione a motore) non sono disponibili *in situ*. Non sono disponibili strutture ricettive di altro tipo. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione da parte della cooperativa di pescatori che ha in gestione il compendio ittico.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, dell'eutrofizzazione, della biodiversità, delle Harmful Algal Species (HAS) e degli Harmful Algal Blooms (HAB). Le osservazioni nella Laguna di Santa Giusta hanno riguardato la raccolta di dati:

- fisici (temperatura, pH, conducibilità);
- chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo totale e reattivo, silice reattiva);
- biotici sul fitoplancton (clorofilla *a*, densità cellulare, biovolume, biomassa, composizione in specie);
- biotici sul sedimento (densità cisti dinoflagellati, composizione in specie);
- sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle disponibilità dei principali nutrienti e delle condizioni ambientali di base).

I campioni di fitoplancton raccolti negli anni nella Laguna di Santa Giusta sono conservati nella collezione di campioni del DADU e sono disponibili per approfondimenti scientifici.

Risultati

Le elaborazioni condotte sui dati disponibili per la Laguna di Santa Giusta hanno evidenziato, specialmente nei primi anni di studio, l'elevato livello trofico della laguna (Sechi *et al.* 2001; Bazzoni *et al.* 2013). Nelle più recenti elaborazioni sono state osservate interessanti variazioni di alcuni dei parametri considerati (Satta *et al.* 2017). La comparazione dei dati della Laguna di Santa Giusta con quelli di altre lagune sarde ha evidenziato delle peculiarità dal punto di vista ambientale e nella struttura (composizione e taglia) del fitoplancton (Satta *et al.* 2014; Pulina *et al.* 2017, Pulina *et al.* 2018). Gli approfondimenti sulla biodiversità fitoplanctonica nella colonna d'acqua e nel sedimento hanno permesso di ottenere più accurate informazioni sulla composizione in specie e sulle specie potenzialmente nocive presenti, utilizzando metodi microscopici e molecolari (Satta *et al.* 2014; Stacca *et al.* 2015). Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti nella Laguna di Santa Giusta:

Bazzoni *et al.* (2013, 2017) hanno utilizzato le serie temporali della Laguna di Santa Giusta e di altre lagune sarde per testare su una scala geografica ampia e su diverse tipologie di laguna, il **Multimetric Phytoplankton Index (MPI)**, un indice multimetrico basato sul fitoplancton (Facca *et al.* 2011, 2014). L'indice, che si basa sulla composizione tassonomica del fitoplancton, sulla dominanza e sulla diversità e non necessita di liste di specie sensibili/tolleranti di confronto, prevede il calcolo di quattro metriche (indice di dominanza di Hulbert, frequenza delle fioriture, indice di diversità di Menhinick, concentrazione di clorofilla *a*). La valutazione di qualità ambientale è stata coerente con le conoscenze pregresse (Sechi *et al.* 2001; Lugliè *et al.* 2001, 2002; Pugnetti *et al.* 2013) e i risultati hanno indicato uno stato ecologico complessivamente scadente (poor), principalmente per l'elevata concentrazione di nutrienti (eutrofia). Tuttavia, nella comparazione con il quadro ambientale di altre lagune sarde, si è osservata una minore dominanza del fitoplancton e valori inferiori di biomassa nella Laguna di Santa Giusta;

Pulina *et al.* (2017) hanno studiato la **dinamica stagionale del picofitoplancton (taglia cellulare < 2 µm; Pico)** nella Laguna di Santa Giusta e in altre due lagune sarde (Calich e Corru S'Ittiri), per contribuire all'ampliamento delle scarse conoscenze sull'ecologia di questa componente biotica negli ambienti di transizione dell'area mediterranea. Il Pico della Laguna di Santa Giusta è risultato dominato da picocianobatteri in tutte le stagioni, con il massimo di abbondanza in estate, associato con i maggiori valori di temperatura dell'acqua e di nutrienti (fosforo reattivo e azoto inorganico dissolto). I risultati

ottenuti hanno evidenziato l'abbondante sviluppo di questa componente negli ambienti di transizione considerati, tale da suggerirne il rilevamento nelle attività di monitoraggio;

Pulina *et al.* (2018a, 2018b) hanno **comparato la dinamica stagionale della frazione di Utermöhl del fitoplancton (UFP, dimensione delle cellule > 3 µm) e del picofitoplanocton (Pico)** della Laguna di Santa Giusta con quella di altre due lagune sarde eutrofiche (Calich e Corru S'Ittiri), considerando anche la composizione specifica delle due frazioni. L'andamento stagionale di UFP e Pico è stato diverso nelle tre lagune, così come sono state significativamente diverse le condizioni ambientali lagunari. Ciò nonostante, la temperatura è risultata la variabile ambientale che ha controllato in maniera più significativa la dinamica stagionale di UFP e Pico, seguita dalla salinità, dai nutrienti (fosforo reattivo, azoto inorganico disciolto) e dalla trasparenza dell'acqua in tutti e tre i siti di studio. In base ai risultati complessivamente ottenuti, Pulina *et al.* (2018a) hanno concluso che la variazione stagionale di UFP e Pico sia stato il risultato dell'interazione sinergica di più variabili ambientali specifiche per ogni sito, mettendo in guardia rispetto ad una visione troppo semplicistica dell'ecologia negli ecosistemi acquatici, in particolare in ambienti come le lagune costiere poco profonde, estremamente sensibili ad ogni tipo di variazione ambientale, compresa quella legata alla pressione antropica;

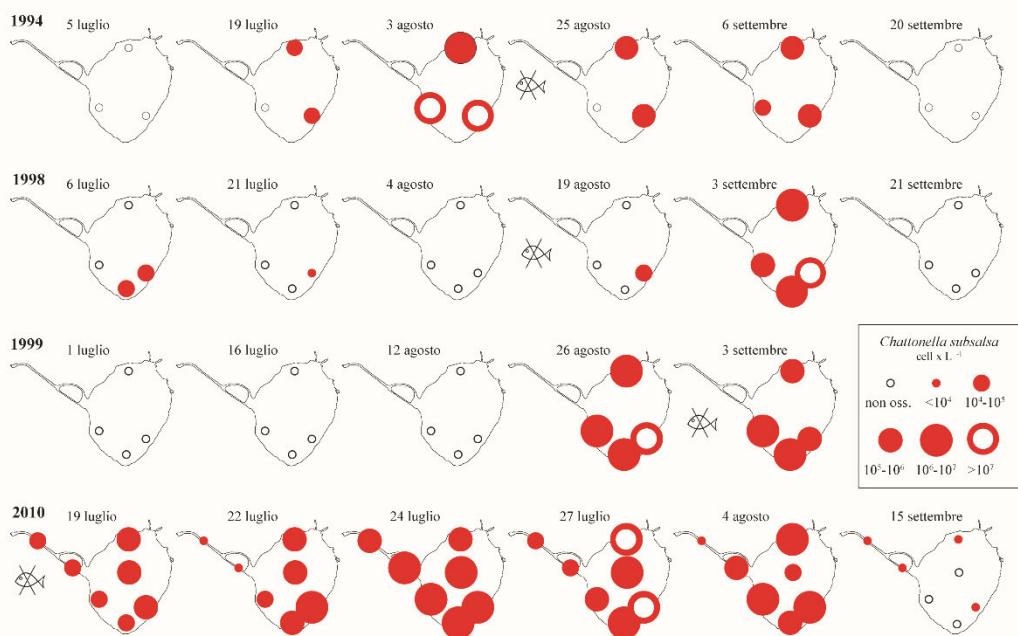


Fig. 9 - Dinamica delle densità cellulari di *Chattonella subsalsa* nella Laguna di Santa Giusta nei mesi estivi del 1994, 1998, 1999 e 2010.
I pesci barrati indicano l'inizio di eventi di morie

le **fioriture di specie appartenenti al genere *Chattonella*** sono state osservate nella Laguna di Santa Giusta già dai primi anni '90 (Sechi *et al.* 2001). Satta *et al.* (2017) hanno indagato nel dettaglio questi eventi lungo la serie pluriennale (Fig. 9), mettendo in evidenza l'importanza dei dati a lungo termine nello studio e nell'analisi delle dinamiche di popolazione di specie algali potenzialmente nocive e delle loro relazioni con le condizioni ambientali lagunari e meteoclimatiche. Le fioriture di *Chattonella* nella Laguna di Santa Giusta sono state sempre associate ad estese morie di pesci che, a loro volta, non sono state collegate a condizioni di anossia o di ipossia particolarmente critiche (Satta *et al.* 2017). Confrontando i dati stagionali raccolti all'inizio della serie (periodo 1990-2002) con i più recenti (2010-2016), Satta *et al.*

(2017) hanno accertato differenze significative delle condizioni ambientali lagunari ed hanno evidenziato il ruolo chiave della temperatura nell’insorgenza degli eventi e la possibilità che essi si verifichino con maggiore frequenza in relazione all’incremento significativo registrato per questa variabile. Infatti, la temperatura dell’acqua in autunno e della salinità in estate e autunno, hanno mostrato valori significativamente più alti nel secondo periodo. Focalizzando l’attenzione sui mesi estivi (luglio-agosto-settembre), la temperatura dell’acqua in luglio e la salinità in luglio e agosto sono aumentate significativamente nel periodo 2010-2016. L’elaborazione dei dati metereologici ha rilevato che anche la temperatura dell’aria in estate e in luglio è aumentata significativamente. Parallelamente, i nutrienti sono diminuiti nel periodo più recente, con riduzioni significative del fosforo reattivo e totale in tutte le stagioni e dell’azoto inorganico disciolto in primavera ed autunno. I dati relativi ai mesi estivi hanno confermato la riduzione significativa delle concentrazioni di fosforo reattivo ed evidenziato incrementi significativi dell’azoto nitrico e di quello ammoniacale in luglio, con il conseguente aumento del DIN;

per identificare le specie di *Chattonella* presenti durante le fioriture avvenute contemporaneamente alle morie ittiche nella Laguna di Santa Giusta, Stacca *et al.* (2015) hanno applicato a campioni fissati di fitoplancton (Lugol e formalina), raccolti e conservati anche da più di 20 anni (1994, 1998, 1999, 2010 e 2013), delle metodiche molecolari non ancora disponibili al momento della raccolta dei campioni stessi, almeno per quelli più vecchi. I campioni analizzati fanno parte della collezione del gruppo di Ecologia Acquatica dell’Università di Sassari. L’obiettivo è stato quello di risolvere i dubbi sull’attribuzione tassonomica della o delle specie di *Chattonella* coinvolte. Infatti, come le altre rafidofite (Raphydophyceae), le cellule di *Chattonella* sono nude e perdono la loro forma quando sono fissate, rendendo difficile l’identificazione delle specie sulla base delle caratteristiche morfologiche. Le specie considerate sono state *C. subsalsa* Biecheler e *C. marina* Hara et Chihara che hanno morfologia cellulare simile, con la sovrapposizione di alcuni caratteri rilevanti. *C. marina* è certamente riconosciuta come specie itiotossica mentre la nocività di *C. subsalsa* è meno conosciuta e la specie è ampiamente presente nel Mediterraneo. Impiegando primer specie-specifici per l’amplificazione della regione di rDNA ITS-5.8S, è stata provata la presenza di *C. subsalsa* nei campioni “storici” analizzati. Inoltre, analizzando le colture cellulari ottenute da isolati cellulari di campioni raccolti nella laguna nel 2013, è stata accertata la presenza del genotipo adriatico di *C. subsalsa*, sino ad allora segnalato solo nell’Adriatico, supportando l’ipotesi della “sovraposizione” dei due genotipi, Adriatico e Globale, nella stessa area geografica (Klöpper *et al.* 2013);

Satta *et al.* (2014, 2017) hanno indagato le **cisti di resistenza di microalghe nei sedimenti** della Laguna di Santa Giusta. Satta *et al.* (2017), con esperimenti condotti sul sedimento della laguna, hanno confermato la presenza di cisti di *Chattonella subsalsa*. Le germinazioni ottenute hanno confermato la possibilità di inoculo per nuove fioriture. Satta *et al.* (2014) hanno evidenziato una certa peculiarità e una notevole biodiversità dei dinoflagellati, permettendo il rinvenimento di specie non ancora segnalate nell’area, nonostante lo studio del fitoplancton sia stato svolto su lunga scala temporale. Tra i nuovi rinvenimenti sono state riconosciute alcune specie potenzialmente nocive non osservate nella colonna d’acqua nel corso degli anni, quali *Alexandrium pacificum* Litaker (= *A. catenella* (Whedon e Kofoi) Balech) e *A. minutum* Halim.

Le attività di ricerca sono state condotte nell’ambito di diversi progetti tra cui:

“Tecnomugilag – Trasferimento alle aziende operanti in laguna delle tecniche di riproduzione e di allevamento in ambiente controllato di *Mugil cephalus*”, Progetto Cluster “Top Down” della Regione Autonoma della Sardegna (Det.DG n° 1207 del 03/10/2017, Sardegna Ricerche).

STRATEGY (V FP, Energy, Environment and Sustainable Development” EVK3-2000-00621 – New Strategy of Monitoring and Management of HABs in the Mediterranean Sea).

Finanziamento della Fondazione di Sardegna, per un progetto dal titolo “Organizzazione, catalogazione e digitalizzazione della collezione di campioni di microalghe dell’Università di Sassari”, focalizzando in particolare l’attenzione sul materiale proveniente dalle stazioni del sito 14 Ecosistemi Marini della Sardegna e 10 Ecosistemi Lacustri della Sardegna.

Attività di divulgazione

La stazione di ricerca è oggetto delle attività didattiche nell'ambito delle esercitazioni in campo previste per l'insegnamento di Ecologia di diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari. Negli anni sono state redatte numerose tesi di laurea e relazioni di tirocinio per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari.

Prospettive future

Nel sito di ricerca non sono disponibili fonti di finanziamento esterne per le attività di routine. La raccolta dati è ancora in essere, totalmente autofinanziata, ed è svolta solo in parte nell'ambito del progetto Tecnomugilag, e con la collaborazione con AGRIS.

Abstract

Santa Giusta Lagoon is almost circular and choked. It occupies an area of 8 km² and it is 1 m in mean depth. Rio Pauli Maiori and Rio Pauli Figu are the two primary freshwater inputs. The lagoon is well mixed as regards circulation and stratification. Santa Giusta experienced substantial human modifications during the twentieth century, resulting in profound ecosystem alterations. The most important environmental consequence is eutrophication. A number of hydraulic engineering actions have been performed directly on the lagoon to improve water exchange with the sea and favour water circulation. Moreover, a diversion system of urban wastes from the main centres has been created to reduce the nutrient loads. Macrofaunal algae and phytoplankton are the most important primary producers in Santa Giusta. Several extended fish kill events associated with harmful algal species blooms have been observed. The series of data have been collected from 1990 to 2002, they have continued with discontinuities in subsequent years, restarting on a more regular monthly scale from 2010.

The main research activities are oriented to study eutrophication and phytoplankton dynamics in relation to the uses and characteristics of the catchment, the local human pressures and the global climate change. The collected data series mainly regard the dynamics of phytoplankton and trophic status. In particular, the data concerns the main parameters of the pelagic domain (transparency as Secchi disk depth, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and saturation, alkalinity, ammonium, nitrate, nitrite, total nitrogen, reactive and total phosphorus, dissolved silica) and phytoplankton abundances, as chlorophyll *a*, cell density, biovolume and biomass, class and species composition.

Laguna di S'Ena Arrubia

Autori

Antonella Lugliè¹, Tiziana Caddeo¹, Paola Casiddu¹, Pasqualina Farina¹, Giuseppina Grazia Lai¹, Bastianina Manca¹, Silvia Pulina¹, Cecilia Teodora Satta^{1,2}, Marco Sarria¹, Nicola Sechi¹, Nicola Fois², Jacopo Culurgioni², Riccardo Diciotti², Mario Padedda Bachisio¹

Affiliazione

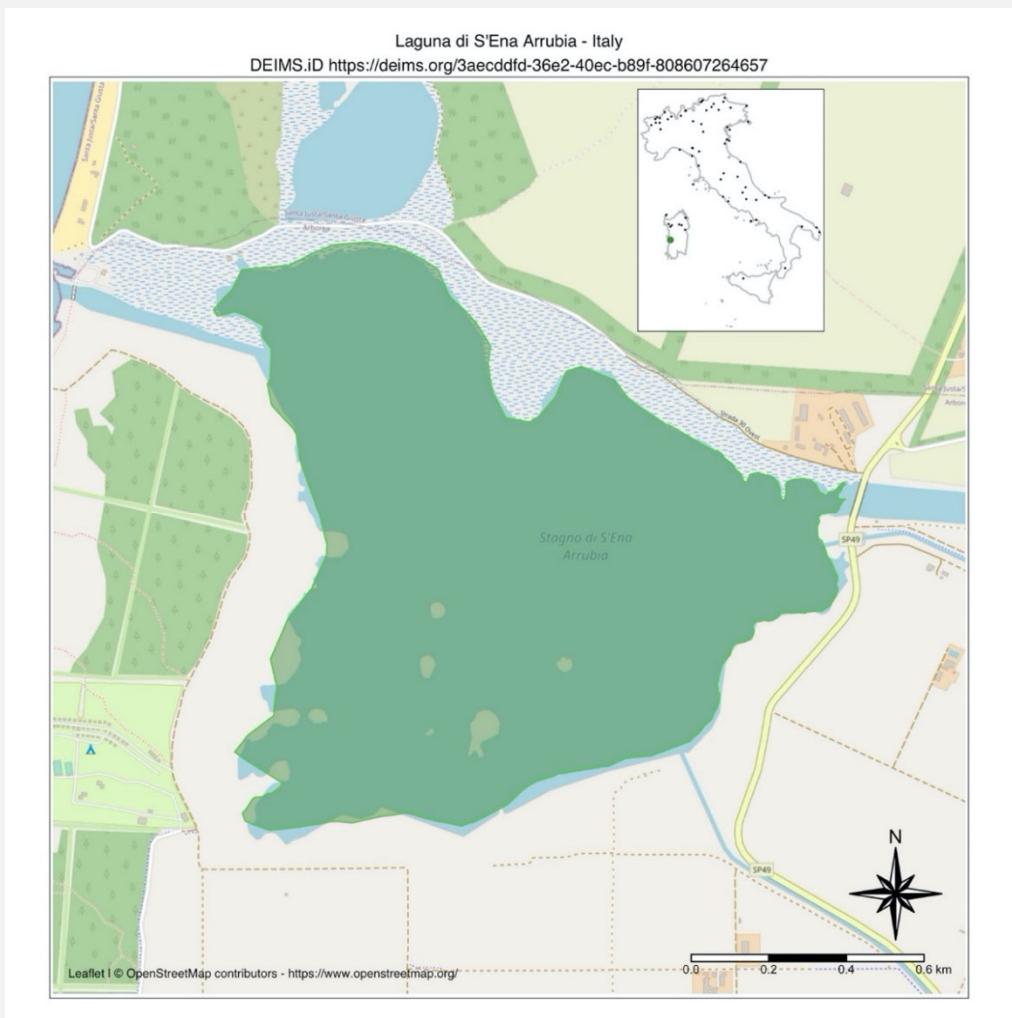
¹ Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia.

² AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (Sassari), Italia.

Sigla: IT14-005-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/3aecddfd-36e2-40ec-b89f-808607264657>

Responsabile del Sito: Antonella Lugliè



Descrizione del sito e sue finalità:

La Laguna di S'Ena Arrubia si trova lungo la costa centro occidentale della Sardegna, ha un'estensione di 1,2 km² ed una profondità media di 0,40 m. Costituisce il residuo del più ampio Stagno del Sassu (>30 km²), bonificato negli anni '30 del secolo scorso, insieme alle zone umide adiacenti. La laguna è ora alimentata dalle acque drenate da due canali, il Rio di Sant'Anna (chiamato anche "Diversivo") che drena



Fig. 10 - Laguna di S'Ena Arrubia

una superficie di 78,4 km², e il Canale delle Acque Basse (chiamato anche "Idrovora") che drena un'area di 50 km² costituita dai territori bonificati, utilizzati principalmente per attività agricole e di allevamento. Quest'area si trova al di sotto del livello del mare e l'acqua raccolta dal Canale delle Acque Basse è pompata tramite un'idrovora nella laguna (Trebini *et al.* 2005). Anche il collegamento della

laguna con il mare ha subito negli anni profonde modifiche. Precedentemente alla bonifica, lo scambio era garantito da un'ampia bocca a mare, ostruita negli anni dagli apporti terrigeni. Per dare un collegamento permanente con il mare, negli anni '70 è stato scavato un canale artificiale nel cordone sabbioso. Il canale, inizialmente profondo circa 1,3 m, largo 25 m e lungo 230 m, è stato ampliato nel 2000 per migliorare il flusso di marea e quindi aumentare l'idrodinamismo e ridurre il livello trofico. Le dimensioni del canale variano dai 30 m di larghezza e 0,70 m di profondità vicino alla laguna, ai 60 m di larghezza e 2 m di profondità nella parte centrale, ai 32 m di larghezza e 1,30 m di profondità nella bocca a mare. Per consentire un miglior rimescolamento tra acque marine e lagunari durante la marea, agevolando il deflusso delle acque provenienti dal bacino idrografico, è stato anche scavato un canale interno lungo l'asse principale della laguna, dall'ingresso a mare fino alla zona dell'Idrovora.

La Laguna di S'Ena Arrubia è stata classificata da eutrofica ad ipertrofica (Sechi 1982; Trebini *et al.* 2005). Le cause sono da ricercarsi nell'intensa pressione antropica nel bacino imbrifero. La laguna presenta periodiche crisi distrofiche e morie di pesci si sono verificate occasionalmente a partire dal 1960 (Cannas *et al.* 2008).

Le principali attività svolte sono la pesca, le attività ricreative, di istruzione e di ricerca scientifica.

Una lunga serie di dati ecologici è stata raccolta ad alta frequenza di campionamento dal 1990 al 2003, seguita da un'ampia interruzione sino alla successiva ripresa dal 2015. La raccolta dati è tutt'ora in corso ed è svolta in collaborazione con l'Agenzia della Regione Sardegna per la Ricerca Scientifica (AGRIS).

La cadenza temporale delle osservazioni è generalmente mensile. I prelievi e le misure *in situ* sono eseguiti in tre stazioni di campionamento poste lungo l'asse principale della laguna secondo un gradiente di salinità: dal principale immissario (Idrovora) alla bocca a mare. In alcuni periodi sono state eseguite campagne di maggiore dettaglio (più punti).

I dati sono generalmente organizzati in fogli elettronici. L'accesso ai dati è subordinato alla valutazione dei motivi e dell'uso da parte del responsabile scientifico del sito. In ogni caso, qualsiasi utilizzo dei dati deve essere autorizzato dal responsabile del sito.

Su richiesta ed in relazione alle specifiche situazioni, possono essere rese disponibili strumentazioni da campo per misure *in situ*, eventualmente con ausilio di operatore (GPS, disco di Secchi, bottiglie di Niskin, sonda multiparametrica, contenitori e sacche refrigerate), di laboratorio per lo svolgimento di analisi chimiche (Laboratorio di Ecologia Acquatica, DADU; spettrofotometri, fluorimetri, incubatori, cappe chimiche, bilance, strumenti da banco) e di microscopia (Laboratorio di Microscopia, DADU; microscopi rovesciati in contrasto di fase, microscopi in epifluorescenza, camere di sedimentazione, ESEM). I mezzi per effettuare i prelievi (imbarcazione a motore) non sono disponibili *in situ*. Non sono disponibili strutture ricettive di altro tipo. Ogni attività nell'area del sito è vincolata ad autorizzazione da parte della cooperativa di pescatori che ha in gestione il compendio ittico.

I dati raccolti fanno riferimento a diverse tematiche di ricerca, principalmente riconducibili allo studio dell'ecologia del fitoplancton, dell'eutrofizzazione, della biodiversità, delle Harmful Algal Species (HAS) e degli Harmful Algal Blooms (HAB) e, più recentemente, delle specie aliene invasive. Le osservazioni nella Laguna di S'Ena Arrubia hanno riguardato la raccolta di dati:

- fisici (temperatura, pH, conducibilità);
- chimici (ossigeno dissolto, alcalinità, azoto ammoniacale, nitrico, nitroso e totale, fosforo totale e reattivo, silice reattiva);
- biotici del fitoplancton (clorofilla *a*, densità cellulare, biovolume, biomassa, composizione in specie);
- biotici di specie aliene (abbondanze organismi);
- sui processi (dinamica spazio-temporale dell'abbondanza, struttura e composizione del fitoplancton in relazione alle disponibilità dei principali nutrienti (trofia) e delle condizioni ambientali di base).

I campioni di fitoplancton raccolti negli anni nella Laguna di S'Ena Arrubia sono conservati nella collezione di campioni del DADU e sono disponibili per approfondimenti scientifici.

Risultati

Di seguito sono riassunti i principali risultati emersi con gli studi ecologici svolti nella Laguna di S'Ena Arrubia negli anni più recenti:

Bazzoni *et al.* (2013, 2017) hanno utilizzato le serie temporali della Laguna di S'Ena Arrubia e di altre lagune sarde per testare su una scala geografica ampia e su diverse tipologie di laguna, il **Multimetric Phtoplankton Index (MPI)**, un indice multimetrico basato sul fitoplancton (Facca *et al.* 2011, 2014). L'indice si basa sulla composizione tassonomica del fitoplancton, sulla dominanza e sulla diversità, non necessita di liste di specie sensibili/tolleranti di confronto e prevede il calcolo di quattro metriche (indice di dominanza di Hulbert, frequenza delle fioriture, indice di diversità di Menhinick, concentrazione di clorofilla *a*). La valutazione di qualità ambientale ottenuta per la Laguna di S'Ena Arrubia è stata coerente con il quadro definito da studi pregressi (Fiocca *et al.* 1996; Trebini *et al.* 2005a, 2005b; Pugnetti *et al.* 2013) e i risultati hanno indicato uno stato ecologico complessivamente scadente (bad), principalmente per l'elevata concentrazione di nutrienti (eutrofia). La Laguna di S'Ena Arrubia ha mostrato un certo livello di eterogeneità delle condizioni ambientali, con differenze nella qualità ambientale delle due stazioni considerate nel lavoro;

negli ultimi anni nella Laguna di S'Ena Arrubia, sono state segnalate due **specie aliene** non ancora riportate per le acque della Sardegna. Nell'autunno del 2015, Diciotti *et al.* (2016) hanno osservato la massiccia presenza dello ctenoforo *Mnemiopsis leidyi* Agassiz 1865. Si tratta di una specie macroplanctonica originaria della fascia temperata dell'Oceano Atlantico occidentale (Nord e Sud America) che ha esteso il suo areale di distribuzione nelle acque costiere e di transizione europee dal 1980, dimostrando un'elevata capacità invasiva. La sua capacità predatoria su uova e larve di pesci e molluschi è considerata una potenziale minaccia per gli ecosistemi e la pesca in tutto il mondo. Il monitoraggio svolto nella laguna negli anni successivi ha consentito di riscontrare una maggiore abbondanza della specie nei mesi estivi e la quasi totale assenza in quelli invernali e primaverili (Diciotti *et al.* 2017). Nell'aprile 2017, grazie alla collaborazione con pescatori professionisti e amatoriali, è stata segnalata la specie invasiva *Callinectes*

sapidus (Rathbun 1896) (Crustacea, Decapoda) (Diciotti *et al.* 2018). La specie, originaria della costa orientale americana (dalla Nuova Scozia all'Argentina), è considerata una delle più invasive nell'area mediterranea.

Attività di divulgazione

La stazione di ricerca è oggetto delle attività didattiche nell'ambito delle esercitazioni in campo previste per l'insegnamento di Ecologia per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari. Negli anni sono state redatte numerose tesi di laurea e relazioni di tirocinio per diversi corsi di laurea dell'Università di Sassari.

Prospettive future

Nel sito di ricerca non sono disponibili fonti di finanziamento esterne per le attività di routine. La raccolta dati è ancora in essere, totalmente autofinanziata, ed è svolta solo in parte nell'ambito del progetto Tecnomugilag, e con la collaborazione con AGRIS.

Abstract

S'Ena Arrubia Lagoon is extended 1.2 km² with a mean depth of 0.40 m. The principal human activities are fishing, outdoor recreation, education and scientific research. It is the residual wetland left from the drying up of a larger original lagoon (Laguna del Sassu), of over 30 km². A large part of the catchment area is used for intensive arable farming and cattle breeding. The freshwater inputs come from the catchment area through two canals, whose water are very rich in nutrients due to the human activities in the catchment. Consequently, S'Ena Arrubia Lagoon is very eutrophic and dystrophic crises and fish kills occur occasionally. The series of data have been obtained from 1990 to 2003 and then they have been ongoing from 2015.

The main scientific activities are oriented to study eutrophication and phytoplankton dynamics in relation to the uses and characteristics of the catchment, the local human pressures and the global climate change. The collected data series mainly regard the dynamics of phytoplankton and trophic status. In particular, the data concerns the main parameters of the pelagic domain (transparency as Secchi disk depth, temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and saturation, alkalinity, ammonium, nitrate, nitrite, total nitrogen, reactive and total phosphorus, dissolved silica) and phytoplankton (chlorophyll *a*, cell density, biovolume and biomass, class and species composition).

Sitografia

<http://laea.altervista.org>

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Bazzoni A.M., Caddeo T., Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Sechi N., Lugliè A. (2015). Spatial distribution and multiannual trends of potentially toxic microalgae in shellfish farms along the Sardinian coast (NW Mediterranean Sea). *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(3): 86.
- Bazzoni A.M., Lai G.G., Mariani M.A., Facca C., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2017). Applicazione di indici di qualità ambientale basati sulle microalghe in ecosistemi acquatici mediterranei di acque dolci e di transizione (Sardegna, Italia). *Biologia Ambientale*, 31 (1): 1-5.
- Bazzoni A.M., Mudadu A.G., Lorenzoni G., Arras I., Lugliè A., Vivaldi B., Cicotelli V., Sanna G., Tedde G., Ledda S., Alessio E., Marongiu E., Virgilio S. (2016). Occurrence of harmful algal species and shellfish toxicity in Sardinia (Italy). *Italian Journal of Food Safety*, 5(4): 194-199.
- Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Lugliè A., Sechi N., Facca C. (2013). Water quality evaluation in Mediterranean lagoons using the Multimetric Phytoplankton Index (MPI): Study cases from Sardinia. *Transitional Waters Bulletin*, 7 (1): 64-76.
- Corriero G., Pierri C., Accoroni S., Alabiso G., Bavestrello G., Barbone E., Bastianini M., Bazzoni A.M., Bernardi Aubry F., Boero F., Buia M.C., Cabrini M., Camatti E., Cardone F., Cataletto B., Cattaneo Vietti R., Cecere E., Cibic T., Colangelo P., De Olazabal A., D'onghia G., Finotto S., Fiore N., Fornasaro D., Fraschetti S., Giangrande A., Gravili C., Longo C., Lorenti M., Lugliè A., Maiorano P., Mazzocchi M.G., Mercurio M., Mastrototaro F., Mistri M., Monti M., Munari C., Musco L., Nonnis-Marzano C., Padedda B.M., Patti F.P., Petrocelli A., Piraino S., Portacci G., Pugnetti A., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Schiapparelli S., Scipione B., Sion L., Terlizzi A., Tirelli V., Totti C., Tursi A., Ungaro N., Zingone A., Zupo V., Basset A. (2015). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: a case study on marine habitats along the Italian coast. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, DOI: 10.1002/aqc.2550.
- Diciotti R., Culurgioni J., Serra S., Trentadue M., Chessa G., Satta C.T., Caddeo T., Lugliè A., Sechi N., Fois N. (2016). First record of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora, Bolinopsidae) in Sardinia (S'Ena Arrubia Lagoon, Western Mediterranean): a threat for local fishery? *Medit. Mar. Sci.*, 17/3: 714-719.
- Facca C., Bernardi Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A. (2014). Description of a Multimetric Phytoplankton Index (MPI) for the assessment of transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 145-154.
- Fiocca F., Lugliè A., Sechi N. (1996). The phytoplankton of S'Ena Arrubia Lagoon (centre-western Sardinia) between 1990 and 1995. *Giorn. Bot. Ital.*, Vol. 130, n. 4-5-6: 1016-1031.
- Giorgi F., Lionello P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Changes*, 63: 90-104.
- Klöpper S., John U., Zingone A., Mangoni O., Kooistra W.H.C.F., Cembella A.D. (2013). Phylogeny and morphology of a Chattonella (Raphidophyceae) species from the Mediterranean Sea: what is *C. subsalsa*? *Eur. J. Phycol.*, 48 (1): 79-92.
- Kröncke I., Neumann H., Dippner J.W., Holbrook S., Lamy T., Miller R., Padedda B.M., Pulina S., Reed D.C., Reinikainen M., Satta C.T., Sechi N., Soltwedel T., Suikkanen S., Lugliè A. (2019). Comparison of biological and ecological long-term trends related to northern hemisphere climate in different marine ecosystems. *Nature Conservation*, 34: 311-341.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Riccardi E., Bruno M., Pigozzi S., Mariani M.A., Satta C.T., Stacca D., Bazzoni A.M., Caddeo T., Farina P., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Milandri A. (2017). Paralytic Shellfish

-
- Toxins and Cyanotoxins in the Mediterranean: New Data from Sardinia and Sicily (Italy). *Microorganisms*, 5 (4): 72.
- Martín P., Sabatés A., Lloret J., Martin-Vide J. (2012). Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) production in the north-western Mediterranean. *Climatic Change* 110, 925-939.
- Masseret E., Grzebyk D., Nagai S., Genovesi B., Lasserre B., Laabir M., Collos Y., Vaquer A., Berrebi P. (2009). Unexpected genetic diversity among and within populations of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* as revealed by nuclear microsatellite markers. *Applied and Environmental Microbiology*, 75, 2037-2045.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of Total Environment*, 627: 373-387.
- Padedda B.M., Lugliè A., Ceccherelli G., Trebini F., Sechi N. (2010). Nutrient flux evaluation by the LOICZ biogeochemical model in Mediterranean lagoons: the case of Cabras Lagoon (Centre-west Sardinia). *Chemistry and Ecology*, 26(2): 147-162.
- Padedda B.M., Pulina S., Magni P., Sechi N., Lugliè A. (2012). Phytoplankton dynamics in relation to environmental changes in a phytoplankton-dominated lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Advances in Oceanography and Limnology*, 3: 147-179.
- Penna A., Battocchi C., Garcés E., Anglès S., Cucchiari E., Totti C., Kremp A., Satta C., Giacobbe M.G., Bravo I., Bastianini M. (2010). Detection of microalgal resting cysts in European coastal sediments using a PCR-based assay. *Deep-Sea Research, Part II*: 57: 288-300.
- Penna A., Garcés E., Vila M., Giacobbe M.G., Fraga S., Lugliè A., Bravo I., Bertozzini E., Vernesi C.F. (2005). *Alexandrium catenella* (Dinophyceae), a toxic ribotype expanding in the NW Mediterranean Sea. *Marine Biology* (2005), 148: 13-23.
- Pugnetti A., Acri F., Bernardi Aubry F., Camatti E., Cecere E., Facca C., Franzoi P., Keppel E., Lugliè A., Mistri M., Munari C., Padedda B.M., Petrocelli A., Pranovi F., Pulina S., Satta C.T., Sechi N., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Torricelli P. (2013). The Italian Long-Term Ecosystem Research (LTER-Italy) network: results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems. *Transitional Water Bulletin*, 7(1): 43-63.
- Pulina S., Brutemark A., Suikkanen S., Padedda B.M., Grubisic L.M., Satta C.T., Caddeo T., Farina P., Sechi N., Lugliè A. (2016a). Effects of warming on a Mediterranean phytoplankton community. *Web Ecology*, 16: 89-92.
- Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Sechi N., Lugliè A. (2012). Long-term phytoplankton dynamics in a Mediterranean eutrophic lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Plant Biosystems*, 146: 259-272.
- Pulina S., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2011). The dominance of cyanobacteria in Mediterranean hypereutrophic lagoons: a case study of Cabras Lagoon (Sardinia, Italy). *Scientia Marina*, 75(1): 111-120.
- Pulina S., Satta C., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2018a). Seasonal variations of phytoplankton size structure in relation to environmental variables in three Mediterranean shallow coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212: 95-104.
- Pulina S., Satta C.T., Lugliè A., Sechi N., Padedda B.M. (2018b). Dataset of seasonal mean volumes of phytoplankton cell size classes in Mediterranean shallow coastal lagoons. *Data in Brief*, 20: 337-344.

-
- Pulina S., Satta C.T., Padedda B.M., Bazzoni A.M., Sechi N., Lugliè A. (2017). Picophytoplankton Seasonal Dynamics and Interactions with Environmental Variables in Three Mediterranean Coastal Lagoons. *Estuaries and Coasts*, 40: 469-478.
- Pulina S., Suikkanen S., Satta C.T., Mariani M.A., Padedda B.M., Virdis T., Caddeo T., Sechi N., Lugliè A. (2016b). Multiannual phytoplankton trends in relation to environmental changes across aquatic domains: a case study from Sardinia (Mediterranean Sea). *Plant Biosystems*, 150(4): 660-670.
- Satta C., Anglès S., Garcés E., Lugliè A., Padedda B.M., Sechi N. (2010). Dinoflagellate cysts in recent sediments from two confined sites of the Western Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research, Part II*: 57: 256-267.
- Satta C.T., Anglès S., Garcés E., Sechi N., Pulina S., Padedda B.M., Stacca D., Lugliè A. (2014). Dinoflagellate cyst assemblages in surface sediments from three shallow Mediterranean lagoons (Sardinia, North Western Mediterranean Sea). *Estuaries and coasts*, 37(3):646-663.
- Satta C.T., Padedda B.M., Sechi N., Pulina S., Loria A., Lugliè A. (2017). Multiannual *Chattonella subsalsa* Biecheler (Raphidophyceae) blooms in a Mediterranean lagoon (Santa Giusta Lagoon, Sardinia Island, Italy). *Harmful Algae*, 67: 61-73.
- Satta C.T., Padedda B.M., Stacca D., Simeone S., De Falco G., Penna A., Capellacci S., Pulina S., Perilli A., Sechi N., Lugliè A. (2014). Assessment of harmful algal species using different approaches: the case study of the Sardinian coasts. *Advances in Oceanography and Limnology*, 5: 60-78.
- Satta C.T., Pulina S., Padedda B.M., Penna A., Sechi N., Lugliè A. (2010). Water discoloration events caused by the harmful dinoflagellate *Alexandrium taylorii* Balech in a new beach of the Western Mediterranean Sea (Platamona beach, North Sardinia). *Advances in Oceanography and Limnology*, 1(2): 259-269.
- Sechi N., Fiocca F., Sannio A., Lugliè A. (2001). Santa Giusta Lagoon (Sardinia): phytoplankton and nutrients before and after waste water diversion. *Journal of Limnology*, 60(2): 194-200.
- Specchiulli A., Cilenti L., D'Adamo R., Fabbrocini A., Guo W., Huang L., Lugliè A., Padedda B.M., Scirocco T., Magni P. (2018). Dissolved organic matter dynamics in Mediterranean lagoons: The relationship between DOC and CDOM. *Marine Chemistry*, 202: 37-48.
- Stacca D., Satta C.T., Casabianca S., Penna A., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2015). Identification of *Chattonella* (Raphidophyceae) species in long-term phytoplankton samples from Santa Giusta Lagoon, Italy. *Scientia Marina*, vol. 80 (1): 17-25.
- Trebini F., Padedda B.M., Ceccherelli G., Luglié A., Sechi N. (2005a). Changes of nutrient concentrations and phytoplankton communities after morphological modification in the S'Ena Arrubia Lagoon (Central-Western Sardinia). *Chemistry and Ecology*, 21(6): 491-502.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Cinar M.E., García Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Froglio C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A., San Martín G., Giangrande A., Katagan T., Ballesteros E., Ramos-Esplà A., Mastrototaro F., Ocana O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. (2010). Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11: 381-493.

Riviste non ISI

- Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Bernardi Aubry F., Lugliè A., Sechi N., Socal G., Facca C. (2012). Utilizzo del fitoplancton per la valutazione della qualità ambientale della Laguna di Cabras (Sardegna occidentale, Italia). *Biologia Ambientale*, 26: 84-88.
- Brundu G., Stinca A., Angius L., Bonanomi G., Celesti-Grapow L., D'Auria G., Griffò R., Migliozzi A., Motti R., Spigno P. (2012). Pistia stratiotes L. and Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy), *Bulletin OEPP/EPPO* 42(3): 568-579.

-
- Diciotti R., Culurgioni J., Satta C.T., Camedda A., De Lucia G.A., Pulina S., Lugliè A., Brundu R., Fois N. (2018). First data on the appearance of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in Sardinia (western Mediterranean). XXVIII Congresso Società Italiana di Ecologia – Cagliari 12-14 settembre 2018.
- Diciotti R., Culurgioni J., Serra S., Trentadue M., Chessa G., Satta C.T., Caddeo T., Lugliè A., Sechi N., Fois N. (2017). Seasonal dynamic and distribution of the invasive species *Mnemiopsis leidyi* Agassiz (Ctenophora, Bolinopsidae) in three lagoons of the Gulf of Oristano (western Sardinia, Mediterranean Sea). XXIII Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia Cagliari, 26-29 settembre 2017.
- Facca C., Socal G., Bernardi Aubry F., Sfriso A., Acri F., Bianchi F., Ponis E. (2011). Il fitoplancton come elemento di qualità biologica ai fini dell'implementazione della Water Framework Directive (WFD, CE 2000/60) per le acque di transizione. Biologia Marina Mediterranea, 18 (1): 372-373.
- Iocola I., Pittalis D., Iannetta M., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A. (2011b). Bio-optical characterizzazione di Asinara Gulf sea waters in Sardinia (Italy) using both laser spectrofluorimeter and remote sensing data. In: 5th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone. Praga, CZ, 1-3/6/2011, p. 1-7.
- Iocola I., Pittalis D., Iannetta M., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A. (2011a). Caratterizzazione ambientale delle acque del Golfo dell'Asinara (Sardegna) attraverso l'uso di spettrofluorimetria laser e immagini telerilevate. In: Atti 15^a Conferenza Nazionale ASITA. Reggia di Colorno, 15-18 novembre 2011, pp.1285-1292.
- Lugliè A., Fiocca F., Ceccherelli G., Sechi N. (2001). Distribuzione temporale della composizione specifica del fitoplancton e dei principali parametri ambientali nello Stagno di Santa Giusta (Sardegna centro-occidentale). Biologia Marina Mediterranea (2001), 8 (1): 332-337.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Fiocca F., Sannio A., Sechi N. (2003b). The geographical distribution of *Alexandrium catenella* is extending to Italy! First evidences from the Tyrrhenian Sea. In: Steidinger A., Landsberg J.H., Tomas C.R., Vargo G.A. (eds.), Harmful Algae (2002). Proceedings of the X International Conference on Harmful Algae. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO: 329-331.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Sannio A., Fiocca F., Sechi N. (2003a). First record of the dinoflagellate *Alexandrium catenella* (Whedon & Kofoid) Balech (Dinophyta), a potential producer of paralytic shellfish poisoning, in Italian waters (Sardinia, Tyrrhenian Sea). Boccone, 16: 1045-1052.
- Lugliè A., Satta C.T., Pulina S., Bazzoni A.M., Padedda B.M., Sechi N. (2011). Harmful Algal Blooms in Sardinia. Biologia Marina Mediterranea, 18 (1): 2-9.
- Lugliè A., Sechi N., Oggiano G., Sanna G., Tapparo A. (2002). Ecological assessment of Santa Giusta Lagoon (Sardinia, Italy). Annali di Chimica, 92: 239-247.
- Lugliè A., Soru O., Vila M., Masò M., Satta C., Padedda B.M., Sechi N. (2006). Daily dynamics of phytoplankton in the Gulf of Olbia, paying particular attention to the *Alexandrium* genus (Dinophyceae). Biologia Marina Mediterranea, 13 (1): 1020-1024.
- Padedda B.M., Pulina S., Satta C.T., Lugliè A., Magni P. (2018). Eutrophication and nutrient fluxes in Mediterranean coastal lagoons. Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society: in print.
- Pittalis D., Iocola I., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A., Lugliè A., Ghiglieri G., Iannetta M. (2012). Fluorescence spectroscopy techniques for water quality monitoring. In: Greppi G.F., Mura S. (eds.), Biosensors and biotechnology for environmental monitoring. EDES, pp. 39-53.
- Satta C., De Falco G., Lugliè A., Padedda B.M., Pascucci V., Sechi N. (2008). Cisti di Dinoflagellati in sedimenti a diversa granulometria nel Golfo di Olbia. Atti Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 19 (II): 441-448.
- Sechi N. (1981). Lo stato trofico di alcuni stagni salmastri costieri della Sardegna, Boll. Soc. Sar. Sci. Nat. 21: 285-295.
- Sechi N., Volterra L., Aulicino F.A., Bonadonna L., Bagella G., D'amaddio P., Muresu M.C., Soggia G. (1987). Un caso di eutrofizzazione nel Golfo di Olbia. L'Igiene Moderna, 88: 126-136.

Sighicelli M., Iocola I., Pittalis D., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Iannetta M., Menecucci I., Palucci A., Fiorani L. (2014). An innovative and high-speed technology for seawater monitoring of Asinara Gulf (Sardinia-Italy). Open Journal of Marine Science, 4: 31-41.

Libri o capitoli di libro

Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Satta C.T., Bazzoni A.M., Sechi N. (2012). Ecosistemi marini della Sardegna. In Bertoni R. (eds.), La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia). Aracne Editrice, Roma, pp. 197-208.

Sechi N., Padedda B.M., Lugliè A. (2006). Gestione ecologica e territoriale di ambienti di transizione: lo Stagno di Cabras. In: Maciocco G., Pittaluga P. (eds), Il progetto ambientale in aree di bordo, pp. 311. Franco Angeli Editore, Milano: 207-237.

Trebini F., Padedda B.M., Ceccherelli G., Sechi N. (2005b). 4.6 S'Ena Arrubia Lagoon, western Sardinia. In Giordani G., Viaroli P., Swaney DP., Murray CN., Zaldívar JM., Marshall Crossland JI. (eds), Nutrient fluxes in transitional zones of the Italian coast. LOICZ Reports & Studies No. 28, ii+157 pages. Texel, the Netherlands. pp. 111-117.

Report

Wyatt T., Carlton J.T. (2002). Phytoplankton introductions in European coastal waters: why are so few invasions reported? CIESM Workshop Monographs, Monaco, 20: 41-46.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

Bazzoni A.M., Caddeo T., Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Sechi N., Lugliè A. (2015). Spatial distribution and multiannual trends of potentially toxic microalgae in shellfish farms along the Sardinian coast (NW Mediterranean Sea). Environmental Monitoring and Assessment, 187(3): 86.

Bazzoni A.M., Lai G.G., Mariani M.A., Facca C., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2017). Applicazione di indici di qualità ambientale basati sulle microalghe in ecosistemi acquatici mediterranei di acque dolci e di transizione (Sardegna, Italia). Biologia Ambientale, 31 (1): 1-5.

Bazzoni A.M., Mudadu A.G., Lorenzoni G., Arras I., Lugliè A., Vivaldi B., Cicotelli V., Sanna G., Tedde G., Ledda S., Alessio E., Marongiu E., Virgilio S. (2016). Occurrence of harmful algal species and shellfish toxicity in Sardinia (Italy). Italian Journal of Food Safety, 5(4): 194-199.

Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Lugliè A., Sechi N., Facca C. (2013). Water quality evaluation in Mediterranean lagoons using the Multimetric Phytoplankton Index (MPI): Study cases from Sardinia. Transitional Waters Bulletin, 7 (1): 64-76.

Corriero G., Pierri C., Accoroni S., Alabiso G., Bavestrello G., Barbone E., Bastianini M., Bazzoni A.M., Bernardi Aubry F., Boero F., Buia M.C., Cabrini M., Camatti E., Cardone F., Cataletto B., Cattaneo Vietti R., Cecere E., Cibic T., Colangelo P., De Olazabal A., D'onghia G., Finotto S., Fiore N., Fornasaro D., Fraschetti S., Giangrande A., Gravili C., Longo C., Lorenti M., Lugliè A., Maiorano P., Mazzocchi M.G., Mercurio M., Mastrototaro F., Mistri M., Monti M., Munari C., Musco L., Nonnis-Marzano C., Padedda B.M., Patti F.P., Petrocelli A., Piraino S., Portacci G., Pugnetti A., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Schiapparelli S., Scipione B., Sion L., Terlizzi A., Tirelli V., Totti C., Tursi A., Ungaro N., Zingone A., Zupo V., Basset A. (2015). Ecosystem vulnerability to alien and invasive species: a case study on marine habitats along the Italian coast. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, DOI: 10.1002/aqc.2550.

Diciotti R., Culurgioni J., Serra S., Trentadue M., Chessa G., Satta C.T., Caddeo T., Lugliè A., Sechi N., Fois N. (2016). First record of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora, Bolinopsidae) in Sardinia (S'Ena Arrubia Lagoon, Western Mediterranean): a threat for local fishery? Medit. Mar. Sci., 17/3: 714-719.

-
- Facca C., Bernardi Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A. (2014). Description of a Multimetric Phytoplankton Index (MPI) for the assessment of transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*, 79: 145-154.
- Giorgi F., Lionello P. (2008). Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Changes*, 63: 90-104.
- Klöpper S., John U., Zingone A., Mangoni O., Kooistra W.H.C.F., Cembella A.D. (2013). Phylogeny and morphology of a Chattonella (Raphidophyceae) species from the Mediterranean Sea: what is *C. subsalsa*? *Eur. J. Phycol.*, 48 (1): 79-92.
- Kröncke I., Neumann H., Dippner J.W., Holbrook S., Lamy T., Miller R., Padedda B.M., Pulina S., Reed D.C., Reinikainen M., Satta C.T., Sechi N., Soltwedel T., Suikkanen S., Lugliè A. (2019). Comparison of biological and ecological long-term trends related to northern hemisphere climate in different marine ecosystems. *Nature Conservation*, 34: 311-341.
- Lugliè A., Giacobbe M.G., Riccardi E., Bruno M., Pigozzi S., Mariani M.A., Satta C.T., Stacca D., Bazzoni A.M., Caddeo T., Farina P., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Milandri A. (2017). Paralytic Shellfish Toxins and Cyanotoxins in the Mediterranean: New Data from Sardinia and Sicily (Italy). *Microorganisms*, 5 (4): 72.
- Martín P., Sabatés A., Lloret J., Martin-Vide J. (2012). Climate modulation of fish populations: the role of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) in sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasiculus*) production in the north-western Mediterranean. *Climatic Change* 110, 925-939.
- Masseret E., Grzebyk D., Nagai S., Genovesi B., Lasserre B., Laabir M., Collos Y., Vaquer A., Berrebi P. (2009). Unexpected genetic diversity among and within populations of the toxic dinoflagellate *Alexandrium catenella* as revealed by nuclear microsatellite markers. *Applied and Environ. Microbiol.*, 75, 2037-2045.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta, C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of Total Environment*, 627: 373-387.
- Padedda B.M., Lugliè A., Ceccherelli G., Trebini F., Sechi N. (2010). Nutrient flux evaluation by the LOICZ biogeochemical model in Mediterranean lagoons: the case of Cabras Lagoon (Centre-west Sardinia). *Chemistry and Ecology*, 26(2): 147-162.
- Padedda B.M., Pulina S., Magni P., Sechi N., Lugliè A. (2012). Phytoplankton dynamics in relation to environmental changes in a phytoplankton-dominated lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Advances in Oceanography and Limnology*, 3: 147-179.
- Penna A., Battocchi C., Garcés E., Anglès S., Cucchiari E., Totti C., Kremp A., Satta C., Giacobbe M.G., Bravo I., Bastianini M. (2010). Detection of microalgal resting cysts in European coastal sediments using a PCR-based assay. *Deep-Sea Research, Part II*: 57: 288-300.
- Pugnetti A., Acri F., Bernardi Aubry F., Camatti E., Cecere E., Facca C., Franzoi P., Keppel E., Lugliè A., Mistri M., Munari C., Padedda B.M., Petrocelli A., Pranovi F., Pulina S., Satta C.T., Sechi N., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Torricelli P. (2013). The Italian Long-Term Ecosystem Research (LTER-Italy) network: results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems. *Transitional Water Bulletin*, 7(1): 43-63.

-
- Pulina S., Brutemark A., Suikkanen S., Padedda B.M., Grubisic L.M., Satta C.T., Caddeo T., Farina P., Sechi N., Lugliè A. (2016a). Effects of warming on a Mediterranean phytoplankton community. *Web Ecology*, 16-89/92.
- Pulina S., Padedda B.M., Satta C.T., Sechi N., Lugliè A. (2012). Long-term phytoplankton dynamics in a Mediterranean eutrophic lagoon (Cabras Lagoon, Italy). *Plant Biosystems*, 146: 259-272.
- Pulina S., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2011). The dominance of cyanobacteria in Mediterranean hypereutrophic lagoons: a case study of Cabras Lagoon (Sardinia, Italy). *Scientia Marina*, 75(1): 111-120.
- Pulina S., Satta C., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2018a). Seasonal variations of phytoplankton size structure in relation to environmental variables in three Mediterranean shallow coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 212: 95-104.
- Pulina S., Satta C.T., Lugliè A., Sechi N., Padedda B.M. (2018b). Dataset of seasonal mean volumes of phytoplankton cell size classes in Mediterranean shallow coastal lagoons. *Data in Brief*, 20: 337-344.
- Pulina S., Satta C.T., Padedda B.M., Bazzoni A.M., Sechi N., Lugliè A. (2017). Picophytoplankton Seasonal Dynamics and Interactions with Environmental Variables in Three Mediterranean Coastal Lagoons. *Estuaries and Coasts*, 40: 469-478.
- Pulina S., Suikkanen S., Satta C.T., Mariani M.A., Padedda B.M., Virdis T., Caddeo T., Sechi N., Lugliè A. (2016b). Multiannual phytoplankton trends in relation to environmental changes across aquatic domains: a case study from Sardinia (Mediterranean Sea). *Plant Biosystems*, 150(4): 660-670.
- Satta C., Anglès S., Garcés E., Lugliè A., Padedda B.M., Sechi N. (2010). Dinoflagellate cysts in recent sediments from two confined sites of the Western Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research, Part II*: 57: 256-267.
- Satta C.T., Anglès S., Garcés E., Sechi N., Pulina S., Padedda B.M., Stacca D., Lugliè A. (2014). Dinoflagellate cyst assemblages in surface sediments from three shallow Mediterranean lagoons (Sardinia, North Western Mediterranean Sea). *Estuaries and coasts*, 37(3):646-663.
- Satta C.T., Padedda B.M., Sechi N., Pulina S., Loria A., Lugliè A. (2017). Multiannual Chattonella subsalsa Biecheler (Raphidophyceae) blooms in a Mediterranean lagoon (Santa Giusta Lagoon, Sardinia Island, Italy). *Harmful Algae*, 67: 61-73.
- Satta C.T., Padedda B.M., Stacca D., Simeone S., De Falco G., Penna A., Capellacci S., Pulina S., Perilli A., Sechi N., Lugliè A. (2014). Assessment of harmful algal species using different approaches: the case study of the Sardinian coasts. *Advances in Oceanography and Limnology*, 5: 60-78.
- Satta C.T., Pulina S., Padedda B.M., Penna A., Sechi N., Lugliè A. (2010). Water discoloration events caused by the harmful dinoflagellate *Alexandrium taylorii* Balech in a new beach of the Western Mediterranean Sea (Platamona beach, North Sardinia). *Advances in Oceanography and Limnology*, 1(2): 259-269.
- Specchiulli A., Silenti L., D'Adamo R., Fabbrocini A., Guo W., Huang L., Lugliè A., Padedda B.M., Scirocco T., Magni P. (2018). Dissolved organic matter dynamics in Mediterranean lagoons: The relationship between DOC and CDOM. *Marine Chemistry*, 202: 37-48.
- Stacca D., Satta C.T., Casabianca S., Penna A., Padedda B.M., Sechi N., Lugliè A. (2015). Identification of Chattonella (Raphidophyceae) species in long-term phytoplankton samples from Santa Giusta Lagoon, Italy. *Scientia Marina*, vol. 80 (1): 17-25.
- Zenetos A., Gofas S., Verlaque M., Cinar M.E., García Raso J.E., Bianchi C.N., Morri C., Azzurro E., Bilecenoglu M., Froglio C., Siokou I., Violanti D., Sfriso A., San Martin G., Giangrande A., Katagan T., Ballesteros E., Ramos-Esplà A., Mastrototaro F., Ocana O., Zingone A., Gambi M.C., Streftaris N. (2010). Alien species in the Mediterranean Sea by 2010. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11: 381-493.

Riviste non ISI

- Bazzoni A.M., Pulina S., Padedda B.M., Bernardi Aubry F., Lugliè A., Sechi N., Socal G., Facca C. (2012). Utilizzo del fitoplancton per la valutazione della qualità ambientale della Laguna di Cabras (Sardegna occidentale, Italia). *Biologia Ambientale*, 26: 84-88.
- Brundu G., Stinca A., Angius L., Bonanomi G., Celesti-Grapow L., D'Auria G., Griffò R., Migliozi A., Motti R., Spigno P. (2012). Pistia stratiotes L. and Eichhornia crassipes (Mart.) Solms.: emerging invasive alien hydrophytes in Campania and Sardinia (Italy), *Bulletin OEPP/ EPPO* 42(3): 568-579.
- Diciotti R., Culurgioni J., Satta C.T., Camedda A., De Lucia G.A., Pulina S., Lugliè A., Brundu R., Fois N. (2018). First data on the appearance of *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896) in Sardinia (western Mediterranean). XXVIII Congresso Società Italiana di Ecologia – Cagliari 12-14 settembre 2018.
- Diciotti R., Culurgioni J., Serra S., Trentadue M., Chessa G., Satta C.T., Caddeo T., Lugliè A., Sechi N., Fois N. (2017). Seasonal dynamic and distribution of the invasive species *Mnemiopsis leidyi* Agassiz (Ctenophora, Bolinopsidae) in three lagoons of the Gulf of Oristano (western Sardinia, Mediterranean Sea). XXIII Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia Cagliari, 26-29 settembre 2017.
- Facca C., Socal G., Bernardi Aubry F., Sfriso A., Acri F., Bianchi F., Ponis E. (2011). Il fitoplancton come elemento di qualità biologica ai fini dell'implementazione della Water Framework Directive (WFD, CE 2000/60) per le acque di transizione. *Biologia Marina Mediterranea*, 18 (1): 372-373.
- Iocola I., Pittalis D., Iannetta M., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A. (2011b). Bio-optical characterizzazione di Asinara Gulf sea waters in Sardinia (Italy) using both laser spectrofluorimeter and remote sensing data. In: 5th EARSeL Workshop on Remote Sensing of the Coastal Zone. Praga, CZ, 1-3/6/2011, p. 1-7.
- Iocola I., Pittalis D., Iannetta M., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Sechi N., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A. (2011a). Caratterizzazione ambientale delle acque del Golfo dell'Asinara (Sardegna) attraverso l'uso di spettrofluorimetria laser e immagini telerilevate. In: Atti 15a Conferenza Nazionale ASITA. Reggia di Colorno, 15-18 novembre 2011, pp.1285-1292.
- Lugliè A., Satta C.T., Pulina S., Bazzoni A.M., Padedda B.M., Sechi N. (2011). Harmful Algal Blooms in Sardinia. *Biologia Marina Mediterranea*, 18 (1): 2-9.
- Padedda B.M., Pulina S., Satta C.T., Lugliè A., Magni P. (2018). Eutrophication and nutrient fluxes in Mediterranean coastal lagoons. *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society*: in print.
- Pittalis D., Iocola I., Fiorani L., Menicucci I., Palucci A., Lugliè A., Ghiglieri G., Iannetta M. (2012). Fluorescence spectroscopy techniques for water quality monitoring. In: Greppi G.F., Mura S (eds.), Biosensors and biotechnolgy for environmental monitoring. EDES, pp. 39-53.
- Satta C., De Falco G., Lugliè A., Padedda B.M., Pascucci V., Sechi N. (2008). Cisti di Dinoflagellati in sedimenti a diversa granulometria nel Golfo di Olbia. Atti Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia, 19 (II): 441-448.
- Sighicelli M., Iocola I., Pittalis D., Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Iannetta M., Menecucci I., Palucci A., Fiorani L. (2014). An innovative and high-speed technology for seawater monitoring of Asinara Gulf (Sardinia-Italy). *Open Journal of Marine Science*, 4: 31-41.

Libri o capitoli di libro

- Lugliè A., Padedda B.M., Pulina S., Satta C.T., Bazzoni A.M., Sechi N. (2012). Ecosistemi marini della Sardegna. In Bertoni R. (eds.), *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)*. Aracne Editrice, Roma, pp. 197-208.

Autori

Paolo Povero¹, Giorgio Bavestrello¹, Michela Castellano¹, Francesco Massa¹, Giulia Dapueto¹, Paolo Vassallo¹, Federico Betti¹, Marzia Bo¹, Giorgio Fanciulli², Sara Venturini², Valentina Cappanera², Pietro Campodonico², Silvia Cocito³, Tiziana Ciuffardi³, Marinella Abbate³, Mattia Barsanti³, Andrea Bordone³, Gabriella Cerrati³, Fabio Conte³, Ivana Delbono³, Roberta Delfanti³, Giuseppina Di Nallo³, Chiara Lombardi³, Matteo Nannini³, Federica Pannacciulli³, Andrea Peirano³, Giancarlo Raiteri³, Antonio Schirone³.

Affiliazione

¹ Università di Genova, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Corso Europa 26, 16132 Genova (GE).

² AMP Portofino, Viale Rainusso 1, 16038 S. Margherita Ligure (GE).

³ ENEA C.R. Ambiente Marino S. Teresa, Forte Santa Teresa, Loc. Pozzuolo, 19032 Lerici (SP).

DEIMS.ID: <https://deims.org/0b7dc506-1a46-4399-8d74-d547d8e2dcba>

Referente Macrosito: Paolo Povero.

Elenco dei Siti di ricerca del macrosito: Area marina del Promontorio di Portofino – IT15-001.M, Mar Ligure orientale – IT15-002.M

Tipologia di ecosistema: marino.

Citare questo capitolo come segue: Povero P., Bavestrello G., Castellano M. *et al.* (2021). IT15-M Mar Ligure, p. 509-529. DOI: 10.5281/zenodo.5584759. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il Mar Ligure è un bacino profondo nel settore più settentrionale del bacino occidentale del Mar Mediterraneo e mostra caratteristiche idrodinamiche e meteo-oceanografiche particolari. Le condizioni

idrodinamiche e meteo-oceanografiche prevalenti favoriscono uno scambio continuo di masse di acqua costiere e le dinamiche stagionali e interannuali delle masse d'acqua possono influenzare il clima locale, con conseguenze dirette e indirette sulle comunità planctoniche e bentoniche. Le coste del Mar Ligure pur con aree tra le più antropizzate tra le coste italiane con principali cause

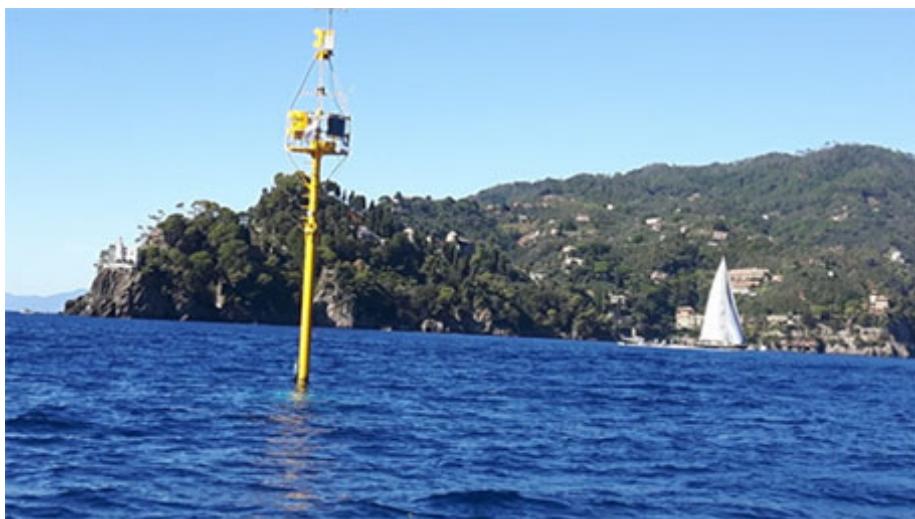


Fig. 1 - Promontorio di Portofino

di disturbo dovute allo sviluppo urbano litoraneo, alle attività portuali, alla costruzione di ferrovie litorali e autostrade, alla presenza di numerosi scarichi inquinati, presentano però numerose Aree Marine Protette (MPA) di grande rilevanza che, con l'istituzione del Santuario dei Cetacei, mostrano una particolare attenzione alla politica di protezione della Regione Liguria (Cattaneo Vietti *et al.* 2010; Ruggeri *et al.* 2006). La complessità del sistema Mar Ligure evidenzia la necessità di studi a lungo termine, basati

principalmente sull'analisi di quelle aree del Mar Ligure che sono state finora poco indagate. Solo studi adeguatamente indirizzati, che utilizzino approcci sperimentali con opportune scale spaziali e temporali, potranno permetter di capire il funzionamento degli ecosistemi marini



Fig. 2 - Mar Ligure orientale

liguri, di valutare le loro condizioni di salute e la dinamica delle principali variabili che influenzano la distribuzione delle singole specie (comprese le specie ad alto valore economico) e le comunità bentoniche (Bavestrello *et al.* 1995; Cerrano *et al.* 2000; Schiapparelli *et al.* 2007). Tali studi permetteranno, inoltre, di fornire validi strumenti per uno sviluppo dell'intero bacino suggerendo l'istituzione di appropriate misure di gestione sostenibile.

Nel dettaglio i principali filoni di ricerca del Macrosito Mar Ligure sono:

- studio struttura e dinamica variabili fisico-chimiche lungo la colonna d'acqua, comunità planctoniche, bentoniche ed ittiche, sedimentologia

-
- impatto attività antropiche in particolare subacquea, nautica da diporto, balneazione, turismo croceristico, pesca professionale e sportiva, acquacoltura
 - impatto del cambiamento climatico sugli ecosistemi marini
 - servizi ecosistemi e contabilità ambientale
 - sistemi informativi per la gestione ambientale (WEBGis, geoservizi, SDSS)

Abstract

The Promontory of Portofino is placed in a particularly anthropized coastal context, characterized by multiple activities (nautical tourism, diving, bathing, fishing). Since 2005, the Marine Protected Area has been a SPAMI (Specially Protected Area of Mediterranean Interest), RAC/SPA of UNEP. The Eastern Ligurian Sea site includes the *Porto Venere* Regional Nature Park and the *Cinque Terre* National Park alongside areas with an industrial footprint and a strong environmental impact (port of La Spezia, shipbuilding, fishing, aquaculture).

Area marina del Promontorio di Portofino

Autori

Paolo Povero¹, Giorgio Bavestrello¹, Michela Castellano¹, Francesco Massa¹, Giulia Dapueto¹, Paolo Vassallo¹, Federico Betti¹, Marzia Bo¹, Giorgio Fanciulli², Sara Venturini², Valentina Cappanera², Pietro Campodonico²

Affiliazione

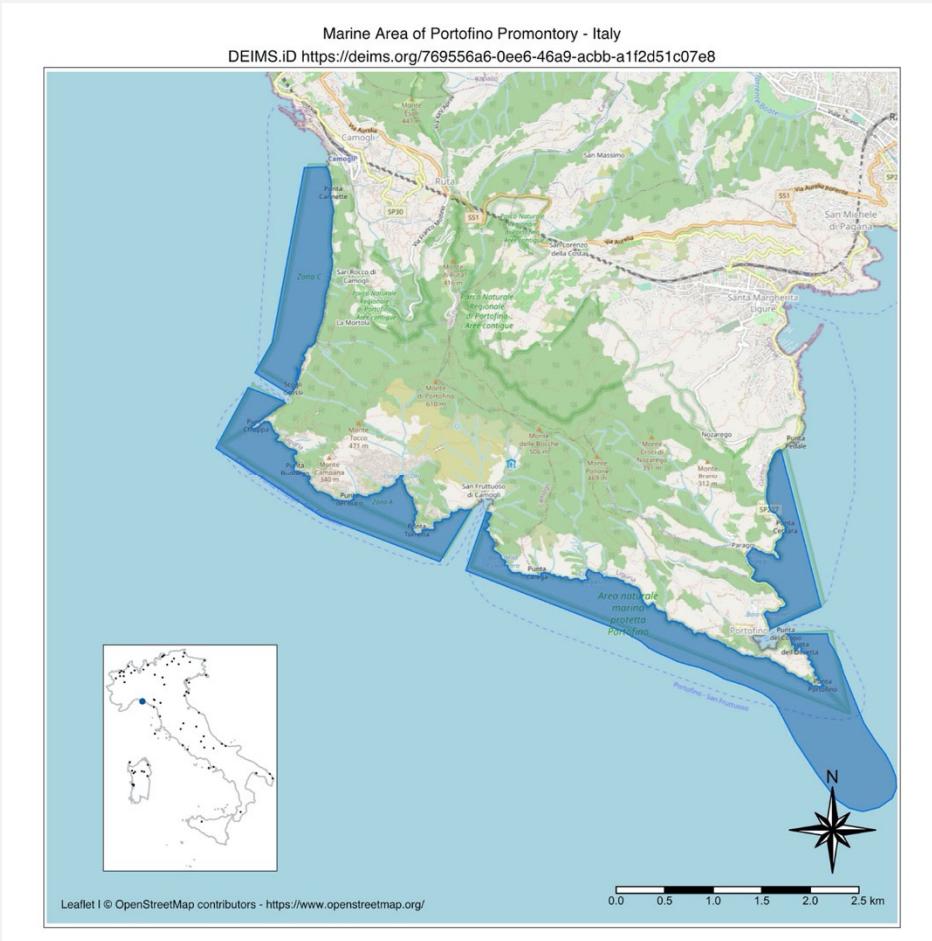
¹ Università di Genova, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Corso Europa 26, 16132 Genova (GE).

² AMP Portofino, Viale Rainusso 1, 16038 S. Margherita Ligure (GE).

Sigla: IT15-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/769556a6-0ee6-46a9-acbb-a1f2d51c07e8>

Responsabile sito: Paolo Povero e Riccardo Cattaneo Vietti



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito comprende la colonna d'acqua ed i fondali antistanti il Promontorio di Portofino che si estende nel Mar Ligure per oltre 3 chilometri, con uno sviluppo costiero di circa 15 chilometri (Fig. 3).

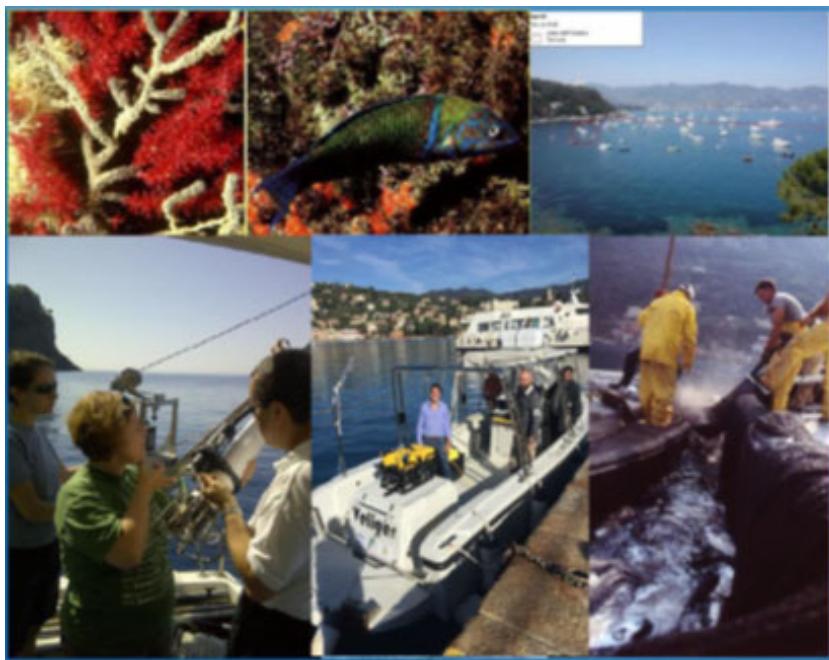


Fig. 3 - Attività nel sito

Particolarmente importante è la facies a corallo rosso, la principale del Mar Ligure. Sui fondali sabbiosi lungo i versanti occidentali e orientali del Promontorio sono invece presenti praterie di *Posidonia oceanica*, dove trovano rifugio e nutrimento moltissime specie.

Dal 1999 parte del sito fa parte dell'Area Marina Protetta di Portofino. Questa scelta protezionistica si basa non solo sull'elevata valenza ambientale dell'area, ma anche sull'importanza economica che questa riveste.

La zona è, infatti, inserita in un contesto costiero particolarmente antropizzato, caratterizzato da molteplici attività (turismo nautico, subacqueo, attività di pesca) e da una vasta area urbana. Dal 2005 l'Area Marina Protetta è un SPAMI (Specially Protected Area of Mediterranean Interest) riconosciuta dall'Ufficio RAC/SPA dell'UNEP di Tunisi. Dagli anni 80 si sono susseguiti studi ecologici sulle principali caratteristiche fisico – chimiche della colonna d'acqua e sulle comunità planctoniche, bentoniche e ittiche con base più regolare dal 1999. Particolare attenzione viene anche posta sul ruolo e l'impatto delle attività economiche, molto importanti nell'area ed in particolare sulla pesca sia professionale che sportiva. L'accesso ai dati storici è libero per quanto già pubblicato citando la fonte. L'accesso a quanto non pubblicato va concordato con l'Ente

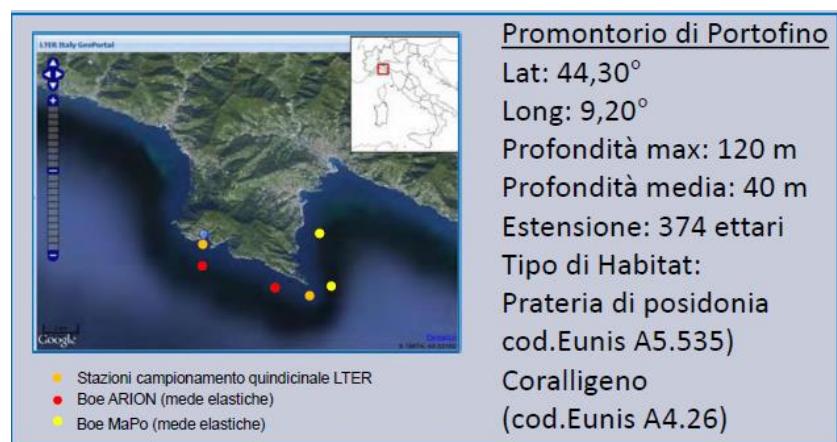


Fig. 4 - Caratteristiche del sito

che ha finanziato e/o eseguito la raccolta di dati. L'accesso alle strutture disponibili (imbarcazioni, sistemi di campionamento, laboratori, foresteria) è possibile previo accordo con l'Università degli Studi di Genova e/o la Direzione dell'Area Marina Protetta. I dati sono raccolti nel sistema informativo www.portofino.macisteweb.com.

Risultati

Il sito LTER Mar Ligure – Promontorio di Portofino risente della circolazione generale del Mar Ligure, ma anche della circolazione costiera e dell'effetto promontorio. L'acqua che circonda il Promontorio di Portofino è interessata da una corrente costiera principale che va da Est a Ovest

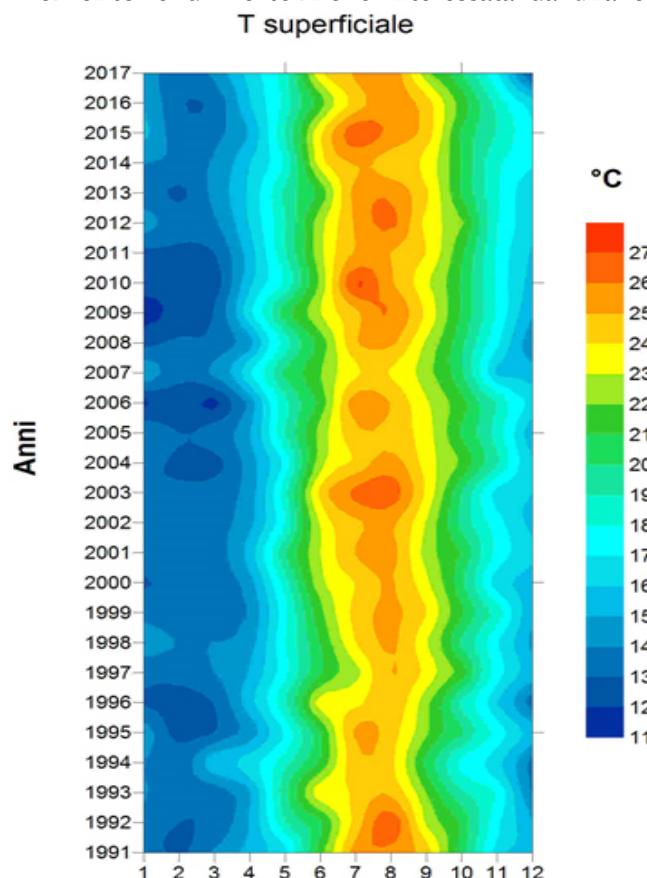


Fig. 5 - Sito LTER Promontorio di Portofino: andamento pluriennale della temperatura superficiale

(corrente ligure-provenzale), sebbene una controcorrente costiera e dei vortici su entrambi i lati del Promontorio si verificano in alcune circostanze, soprattutto guidate dai venti (Doglioli *et al.* 2004). Diversi corsi d'acqua insistono nel Golfo del Tigullio, tutti a carattere torrentizio; in particolare l'Entella, uno dei principali della Liguria, sfocia in mare vicino al Promontorio, anche se la portata media non è elevata (meno di $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in estate). Gli input continentali, insieme all'elevato livello di urbanizzazione della costa a est del Promontorio (es. elevato numero di abitanti che aumenta nel periodo estivo, turismo nautico, Venturini *et al.* 2016), rappresentano un ventaglio di possibili sorgenti di inquinamento per l'ambiente marino (Di Carro *et al.* 2018), ma anche una sorgente di nutrienti inorganici che aiutano lo sviluppo fitoplanctonico soprattutto nei mesi più piovosi.

Nell'area di ricerca in anni recenti si sta osservando un aumento di temperatura, pur con elevata variabilità interannuale (Fig. 5), che ha portato ad una accentuazione delle caratteristiche oligotrofiche dell'area con una diminuzione della biomassa fitoplanctonica registrata dagli anni 2000 (Parravicini *et al.* 2013) (Fig. 6).

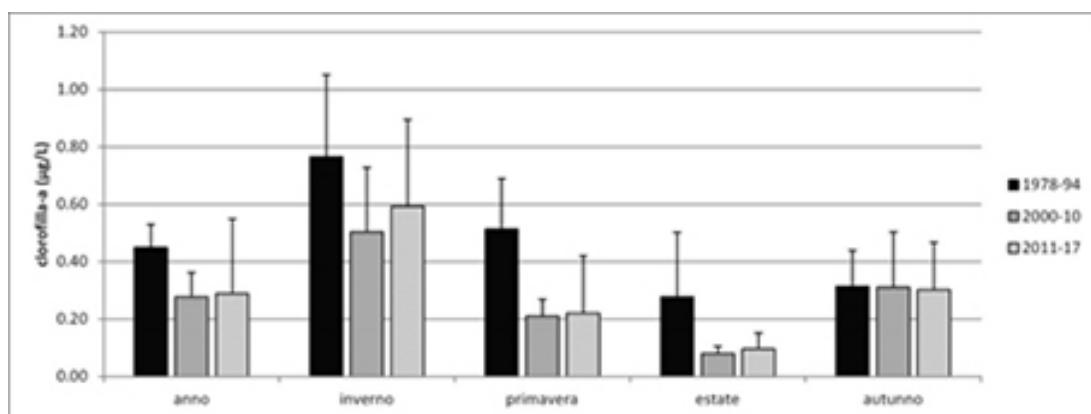


Fig. 6 - Sito LTER Promontorio di Portofino: andamento pluriennale della biomassa fitoplanctonica

Si sta osservando, inoltre, in un contesto di variabilità interannuale dello zooplancton (Fig. 7), una diminuzione di alcuni organismi chiave (*Temora stylifera* e *Centropages typicus*), ed un aumento di copepodi di taglia medio piccola (1 mm – 0,5 mm), insieme ad un aumento di organismi detritivori come le appendicolarie; entrambi gruppi adatti a sopravvivere in ambienti oligotrofici (Morabito *et al.* 2018). Lo scenario che si sta instaurando sembrerebbe tendere ad una struttura trofica plantonica dove la componente detritivora e microbica compensano la scarsa quantità di fitoplancton e quindi ridotta produzione primaria riciclando la materia organica intensificando processi come il microbial loop.

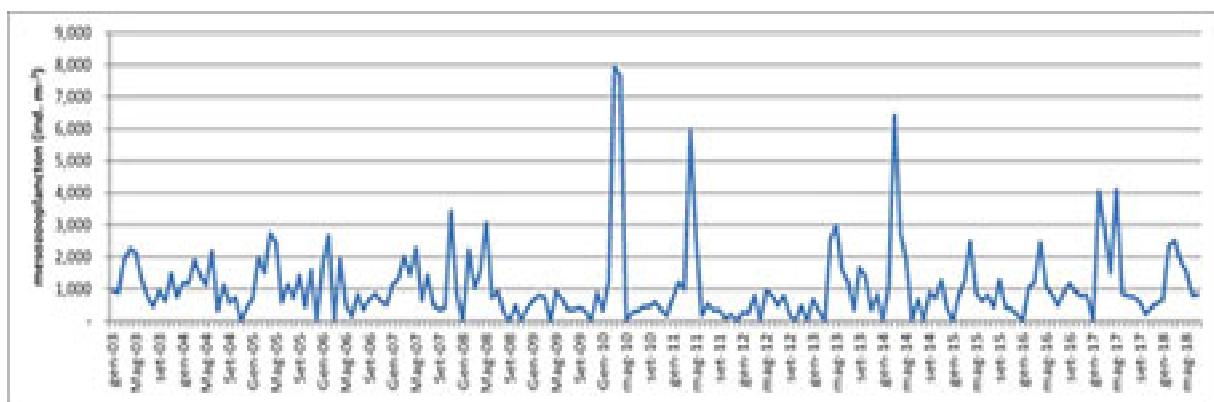


Fig. 7 - Sito LTER Promontorio di Portofino: andamento pluriennale dello zooplankton

Sono stati inoltre evidenziati cambiamenti qualitativi e quantitativi nelle catture dei pesci nell'antica Tonnarella di Camogli negli anni 2000 rispetto al passato (Fig. 8): in particolare si nota la diminuzione di specie boreali e l'aumento di carangidi di acque caldo-temperate insieme ad altre specie tipiche del Mediterraneo meridionale, legati al riscaldamento delle acque (Cattaneo Vietti *et al.* 2015).

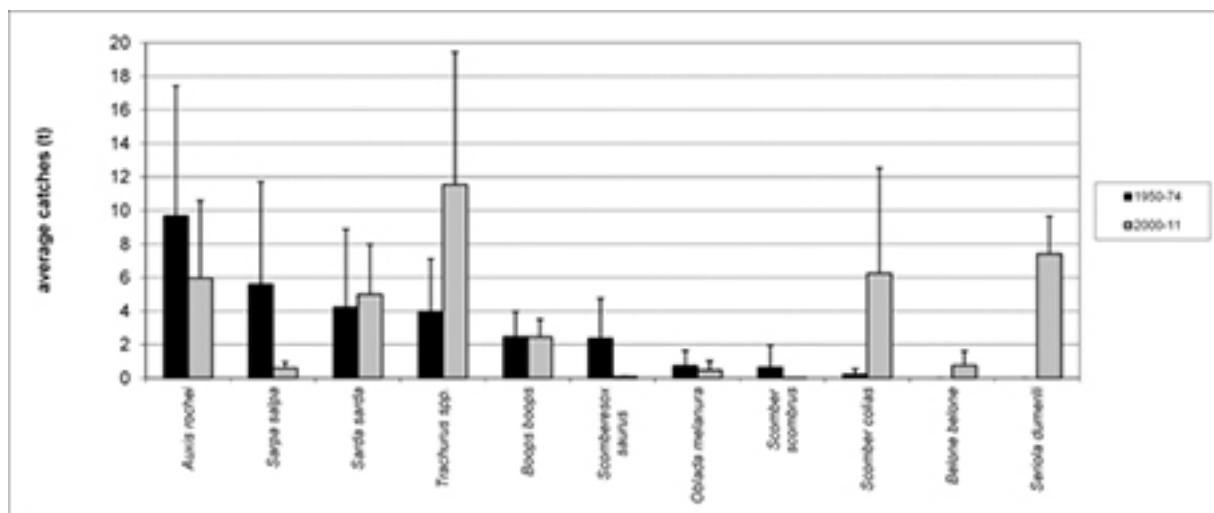


Fig. 8 - Sito LTER Promontorio di Portofino: Confronto del pescato nella Tonnarella di Camogli negli anni 2000 rispetto al periodo 1950-74

Studi sulla comunità bentonica hanno evidenziato come le modificazioni nella composizione delle comunità a idrozoi, nella distribuzione batimetrica e del periodo riproduttivo delle singole specie sono utili per valutare l'influenza del riscaldamento globale sull'ecosistema marino. Alcune specie presenti nel 1980 (Boero & Fresi 1986) erano scomparse nel 2004 (Puce *et al.* 2009), ma altre specie con affinità meridionale, mai registrate nell'area, sono diventate abbondanti negli ultimi campionamenti del 2017-18. I dati ottenuti hanno mostrato una progressiva diminuzione della diversità delle specie. Anche l'andamento stagionale del numero di specie della comunità è cambiato rispetto al 1980. In Figura 9 si

riporta l'andamento dei numeri di specie osservati tra 0 e 5 m di profondità che evidenzia come nel 1980 il massimo era raggiunto in autunno mentre nei campionamenti più recenti in inverno e in primavera.

Particolare attenzione è stata inoltre posta agli studi sui principali servizi ecosistemi che interessano il sito in un'ottica di sviluppo di modelli gestionali finalizzati ad uno sviluppo sostenibile dell'intera area di studio che coniuga in un contesto di elevato pregio naturalistico una potenziale crescita della pressione antropica che necessita di gestione oculata (Dapueto *et al.* 2015; Venturini *et al.* 2016, 2021; Paoli *et al.* 2017, 2018; Vassallo *et al.* 2017).

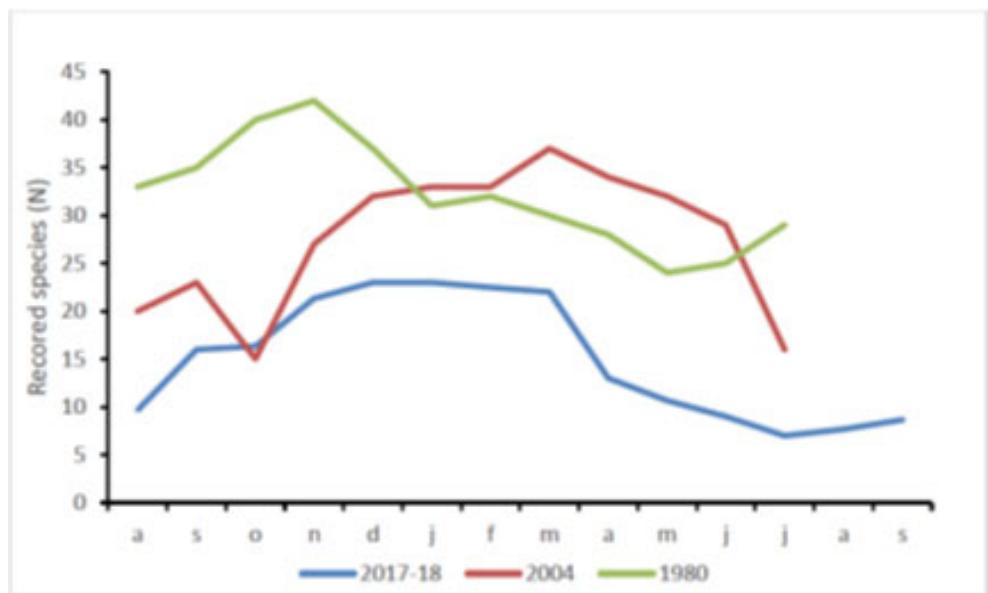


Fig. 9 - Sito LTER Promontorio di Portofino: Andamento mensile del numero di specie di idrozoi osservate sulla falesia

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Negli ultimi anni diversi progetti di ricerca sia nazionali che internazionali hanno permesso e permettono la continuità di attività di ricerca nel sito. Tra i più significativi: Progetto RIMA “Sviluppo di tecnologie e software per una Rete Integrata previsionale Mediterranea per la gestione dell’Ambiente marino e costiero” (MIUR-DM62617), SCHeMA project “Integrated in Situ Chemical Mapping Probe” (FP7, Ocean 2013), Progetto PIM – Piattaforma Integrata di Monitoraggio (POR-FESR), Progetto Contabilità ambientale nelle Aree Marine Protette Italiane (MATMM), Marine Strategy (MATMM), Progetto ARION “Sistemi per la Conservazione dei delfini costieri (tursiopi) in Mediterraneo” (LIFE+), MPA-DAPT project (Interreg MED Programme), progetto GIREPAM “Gestione Integrata delle Reti Ecologiche attraverso i Parchi e le Aree Marine” (Interreg Maritime), progetto NEPTUNE “Gestione sostenibile capitale naturale e fruizione” (Interreg Maritime), progetto RELIFE “Reintroduzione Patella ferruginea in Liguria” (LIFE+), progetto ROC POP “Restoration of Cystoseira populations” (LIFE+).

Attività di divulgazione

L’attività di divulgazione svolta in ambito territoriale ha coinvolto principalmente come parte attiva l’AMP Portofino e l’Università degli Studi di Genova. Gli ambiti in cui si sono svolte le attività sono stati, per quanto riguarda la formazione, il corso di laurea ed il dottorato di ricerca in Scienze del Mare. Inoltre nell’ambito del Festival del Mare, del Posidonia Festival e di altre manifestazioni turistico-culturale nel territorio ligure sono state presentate le attività di ricerca con particolare attenzione alle connessioni tra il territorio e la sua gestione ambientale in un’ottica di sostenibilità.

Prospettive future

Nel prossimo futuro si continueranno le attività di ricerca finalizzate al mantenimento delle serie storiche ad oggi in essere, grazie anche alla possibilità di utilizzare nuove strutture logistiche come la boa oceanografica MEDA2 ed il potenziamento dei sistemi di raccolta dati in collaborazione con diverse realtà produttive dell'area. In particolare verranno potenziate e sviluppate attività di modellizzazione e contabilità ambientale.

Abstract

The Portofino Promontory is located about 25 km east of Genoa in the Ligurian Gulf and represents the northernmost LTER site in the western Mediterranean Sea. Wind forcing, which is known to deeply influence the surface water movement, may spread the continental water from the Tigullio Gulf (in particular the Entella river) in the entire area or rapidly carry it offshore. The continental inputs together with the high level of urbanization of the eastern coast of the promontory represent a wide and notable range of potential sources of pollutants for the peculiar environment of the Portofino promontory, which is legally protected by the Marine Protected Area (MPA) of Portofino. The area has been investigated since the 80s and a more structured monitoring has been carried out since 1999. In particular studies focuses on the structure and dynamic of physical-chemical parameters in the water column, the planktonic, benthic and fishes communities, sedimentology and ecosystem service. The anthropic impacts such as diving, recreational boating, cruise ships, traditional and recreational fishery, have been also addressed because the environmental qualities of the area and the presence of several marinas make the Portofino Promontory highly visited, especially in the summer period. Data are stored in MACISTE WEBGis: www.portofino.macisteweb.com.

Mar Ligure Orientale

Autori

Silvia Cocito, Tiziana Ciuffardi, Marinella Abbate, Mattia Barsanti, Andrea Bordone, Gabriella Cerrati, Fabio Conte, Ivana Delbono, Roberta Delfanti, Giuseppina Di Nallo, Chiara Lombardi, Matteo Nannini, Federica Pannacciulli, Andrea Peirano, Giancarlo Raiteri, Antonio Schirone.

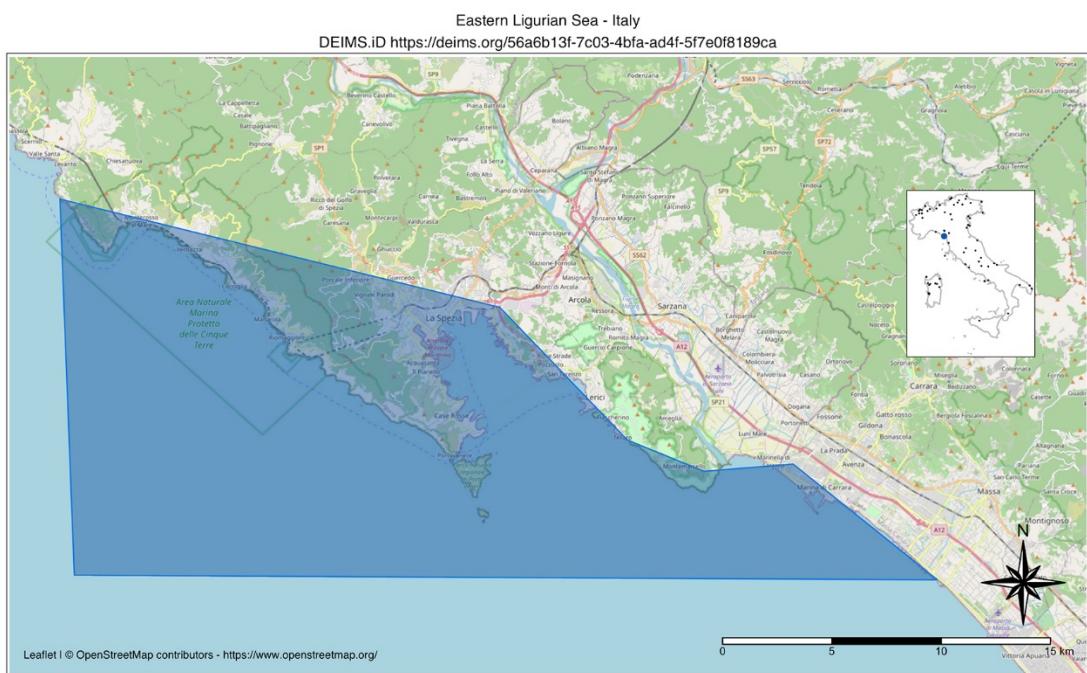
Affiliazione

ENEA C.R. Ambiente Marino S. Teresa, Forte Santa Teresa, Loc. Pozzuolo, 19032 Lerici (SP).

Sigla: IT15-002.M

DEIMS.ID: <https://deims.org/56a6b13f-7c03-4bfa-ad4f-5f7e0f8189ca>

Responsabile sito: Silvia Cocito, ENEA.



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il sito interessa la colonna d'acqua ed i fondali del Mar Ligure Orientale, estendendosi tra la foce del fiume Magra ed il promontorio di Monterosso al Mare (La Spezia) (Fig. 11).

La piattaforma continentale di questo tratto di mare, così come quella dell'intero arco ligure, è una fascia molto ristretta nella sua estensione da costa fino al ciglio di piattaforma. È caratterizzata inoltre



Fig. 10 - Attività nel sito

da un canyon sottomarino (Canyon di Levante) che incide la piattaforma al largo di Riomaggiore e prosegue subparallelo alla costa con orientamento prevalente E-O fino ai canyons di Genova. L'area costiera del Mar Ligure Orientale è direttamente influenzata dalle dinamiche di circolazione profonda a larga scala, caratterizzate da un flusso ciclonico est-ovest. In particolare il Mar Ligure Orientale è

alimentato dalle acque di circolazione che scorrono verso Nord risalendo i due versanti della Corsica: la corrente proveniente dal Mar Tirreno che porta acque più calde da Sud attraverso il Canale di Corsica e la corrente del Mediterraneo Occidentale che trasporta acque più fredde. A Nord della Corsica questi due flussi circolatori confluiscono e danno origine ad una corrente dalle proprietà intermedie. Variazioni stagionali contraddistinguono la circolazione del Ligure Orientale, che dopo un inverno caratterizzato da una singola geometria ciclonica a larga scala si trasforma dando origine a patterns di circolazione più complessi soprattutto in estate. Dal punto di vista anemometrico, i venti prevalenti sono da N e NE, mentre il libeccio, proveniente da SW, è responsabile della maggior parte delle violente mareggiate della riviera di Levante.

L'area è un sistema complesso nel quale convivono aree marine protette riconosciute patrimonio mondiale dell'UNESCO per il loro valore ambientale e paesaggistico (Parco Nazionale delle Cinque Terre, che include l'Area Marina Protetta istituita nel 1997, ed il Parco Naturale Regionale di Porto Venere, istituito nel 2001, che include anche l'Area di Tutela Marina)

accanto ad aree industriali e a forte impatto ambientale. Molto interessante dal punto di vista scientifico è inoltre la ricchezza in termini di biodiversità di flora e fauna marina (anche profonda), oltre alla localizzazione del sito all'interno del Santuario dei Cetacei Pelagos.

Le lunghe serie temporali di dati multidisciplinari acquisiti da ENEA e da CNR – ISMAR, centri di ricerca presenti sul territorio, consentono di definire le caratteristiche ambientali dell'area di studio, di analizzare la loro variabilità in relazione agli impatti antropici e climatici che si sono succeduti e definire lo stato ecologico degli ecosistemi costieri. CNR-ISMAR gestisce anche una rete radar ad alta frequenza (HF Radar) operativa dall'estate 2016 e consistente inizialmente nelle 2 stazioni di Monterosso al Mare

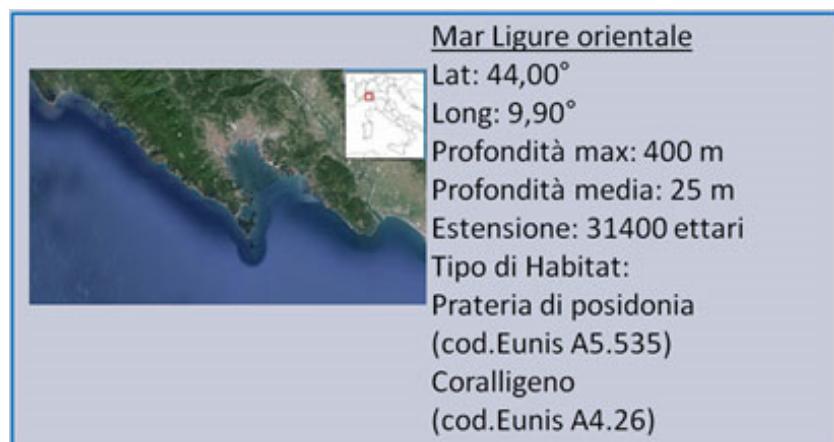


Fig. 11 - Caratteristiche del sito

e dell'isola del Tino, a cui si sono aggiunte di recente altre 2 stazioni a Viareggio e Portofino. Il sistema è in grado di fornire campi della velocità della corrente marina superficiale nel Mar Ligure (<http://radarhf.ismar.cnr.it/>), con frequenza oraria e range fino a 30-40 km dalla costa.

L'attività di ricerca ENEA continuativa nell'area è iniziata nei primi anni '60 per poi intensificarsi a partire dagli anni '70. I dati disponibili sono stati raccolti essenzialmente durante campagne oceanografiche svolte sull'intero areale del Golfo di La Spezia utilizzando strumenti di profilazione e sonde multi parametriche ad immersione, nel periodo dal 1961 ad oggi, con la presenza di gap temporali che ricoprono l'arco di più anni (Ciuffardi *et al.* 2013). A partire dall'anno 2008, le campagne di misurazione dei parametri chimico-fisici sono diventate stagionali sull'intera area del Golfo di La Spezia, con campionamenti effettuati a coordinate fisse sulla base del reticolato di campionamento storico.

All'interno del sito ricade anche l'area di studio delle campagne oceanografiche di tipo acustico LOGMEC (LOng-Term Glider Missions for Environmental Characterization), operative nel Mar Ligure a partire dal 2016, a cura del CMRE NATO (Centre for Maritime Research and Experimentation). Le campagne vengono condotte in collaborazione con numerosi istituti di ricerca, ENEA inclusa, ed istituzioni italiane e internazionali con l'obiettivo di studiare la variabilità ambientale e ottimizzare le procedure di caratterizzazione ambientale al fine di massimizzare i risultati oceanografici ottenibili dall'uso combinato di dati da satellite e da gliders.

Il Centro ENEA di S. Teresa dispone di una stazione meteorologica gestita dal Centro stesso a partire dal 1990 (Bordone 2018). I dati vengono raccolti secondo lo standard del WMO (World Meteorological Organization) ed archiviati.

Inoltre, fin dagli anni '80, ENEA studia i processi sedimentari nell'area costiera compresa tra la foce del Fiume Magra e Punta Mesco, tramite analisi granulometriche, mineralogiche e radiometriche dei sedimenti marini. Infatti, i radionuclidi naturali ed artificiali possono essere utilizzati come traccianti dei processi sedimentari, permettendo di effettuare datazioni dei sedimenti marini su una scala temporale di circa 100 anni.

Dal 1991 al 2014, con cadenza trimestrale o semestrale, sono stati raccolti dati sulla fenologia e sulle caratteristiche strutturali della prateria di *Posidonia oceanica* a Monterosso al Mare, nell'AMP delle Cinque Terre.

Dal 1991 al 2013 sono state effettuate campagne per il rilevamento dei cambiamenti del coralligeno tramite l'acquisizione di dati di ricoprimento, dati demografici, informazioni quali-quantitative e registrazione di eventi di mortalità correlati al riscaldamento del mare. Gli studi hanno riguardato sia l'AMP delle Cinque Terre in collaborazione con l'Università di Genova (dal 1973 disponibili anche informazioni qualitative) che il Golfo di La Spezia in collaborazione con l'Università di Pisa e di Aveiro. Altri studi sono stati indirizzati all'analisi delle dinamiche di colonizzazione e crescita in organismi bentici biocostruttori (1997-2005).

Dal 2007 al 2014 sono stati effettuati campionamenti lungo i litorali di Lerici e Porto Venere con l'obiettivo di studiare i fattori che influenzano la distribuzione e la fioritura di microalghe bentoniche potenzialmente tossiche.

Dal 2012 ad oggi, nell'ambito del progetto Tropical Signals della CIESM (The Mediterranean Science Commission), si sono monitorati pesci e macrodescrittori bentonici indicatori di cambiamenti climatici lungo transetti fissi nel Golfo di La Spezia.

L'accesso ai dati storici è libero per quanto già pubblicato citando la fonte. L'accesso a quanto non pubblicato va concordato con l'Ente che ha finanziato e/o eseguito la raccolta di dati. È possibile consultare il database e visualizzare i dati pubblici accedendo al sito web: <http://www.santateresa.enea.it>.

Principali risultati scientifici

La serie di sensori di temperatura installati a Porto Venere ha evidenziato un aumento di temperatura, con termocline estivo spostato verso profondità superiori negli ultimi anni, seppur con una certa variabilità interannuale (Fig. 12) (Ciuffardi *et al.* 2017).

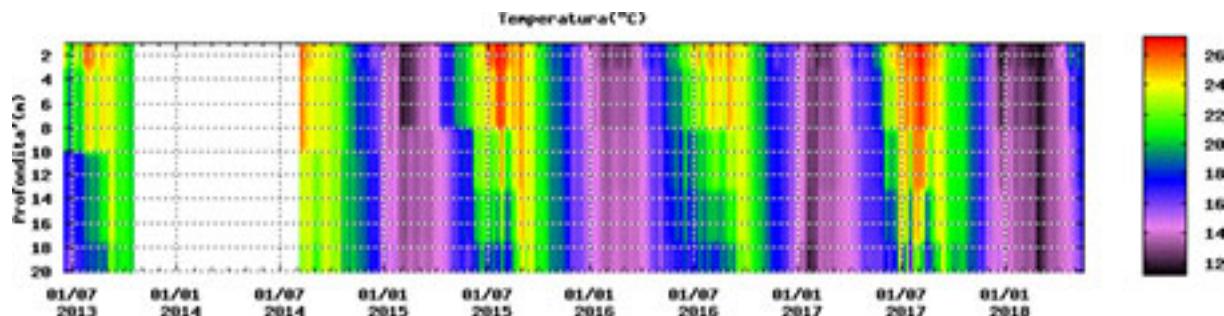


Fig. 12 - Sito LTER Mar Ligure Orientale: andamento pluriennale della temperatura lungo la colonna d'acqua-Boa S. Pietro

Tra maggio e ottobre 2017 è stata allestita una stazione di monitoraggio dei parametri chimico-fisici marini in corrispondenza della baia di S. Teresa. Confrontando i dati del periodo di studio con dati trentennali relativi alla temperatura superficiale del mare (SST) per l'area, si è evidenziato il verificarsi di due eventi di ondate di calore (Heat Wave), tra giugno e agosto 2017, con temperature superiori a 26.1°C (Lombardi *et al.* 2018).

La serie storica di dati sulle caratteristiche strutturali della prateria di *Posidonia oceanica*, il cui valore ecologico è paragonabile a quello delle foreste terrestri, ha mostrato che gli effetti del cambiamento climatico possono influenzare alcuni parametri della prateria. Il numero delle foglie per fascio e il ricoprimento della prateria hanno mostrato trend decadali positivi a tutte le profondità in accordo con l'innalzamento della temperatura superficiale del mare. Al contrario il ricoprimento epifitico delle specie sciafile ha mostrato un trend negativo relazionato alla minore piovosità e alla conseguente maggior trasparenza delle acque (Peirano *et al.* 2011).

Gli studi a lungo termine sulla gorgonia *Paramuricea clavata*, specie ‘amplificatrice’ della biodiversità marina, hanno dimostrato che gli stress termici dell’ultimo decennio non influenzano le popolazioni più profonde, mentre quelle superficiali subiscono morie a causa di temperature letali (25°C) che permangono per periodi relativamente lunghi nei primi strati d’acqua (Pilczynska *et al.* 2016). Lo studio genetico di 2 popolazioni ha stimato una distanza massima di dispersione larvale di 20-60 km e una forte connessione tra esemplari profondi e superficiali (Pilczynska *et al.* 2017), favorendo quindi il recupero delle popolazioni dopo eventi di mortalità indotti dal riscaldamento anomalo (Santangelo *et al.* 2015; Bramanti *et al.* 2017). La disponibilità di 12 anni di dati demografici ha consentito di prevedere che popolazioni colpite da mortalità dopo 7 anni possono raggiungere un nuovo equilibrio e si stabilizzano quando raggiungono una densità di polipi di circa 1/3 rispetto al valore di pre-mortalità (Fig. 13).

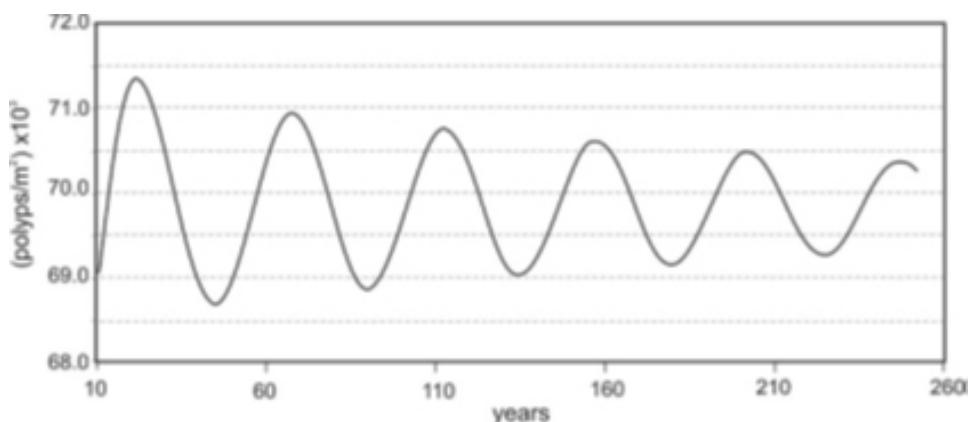


Fig. 13 - Sito LTER Mar Ligure Orientale: Simulazione del trend della popolazione di *Paramuricea clarata* nel Golfo di La Spezia dopo eventi di mortalità causati da anomalie termiche (da Santangelo et al. 2015)

I popolamenti coralligeni del Mesco sono risultati stabili fino agli anni '90 quando si è registrato uno shift dovuto a sostituzione di specie da parte di specie aliene e ad una omogeneizzazione biotica (Fig. 14) (Gatti et al. 2015). Il cambiamento è stato verosimilmente indotto dal riscaldamento del mare e dalla pressione antropica locale.

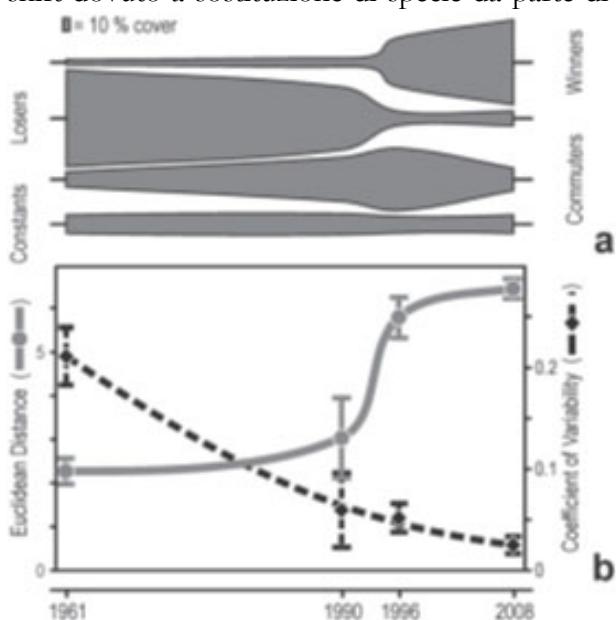


Fig. 14 - Sito LTER Mar Ligure Orientale: Analisi storica quantitativa del coralligeno del Mesco (Monterosso al Mare). a) Variazione del ricoprimento di quattro categorie di specie. b) distanza Euclidea tra i fotoquadrati utilizzati per il monitoraggio e il loro coefficiente di variabilità dal 1961 al 2008 (da Gatti et al. 2015)

anni '80 ad oggi, hanno messo in evidenza un ambiente influenzato dal Fiume Magra, ove sono presenti diverse aree con differenti velocità di sedimentazione (Delbono et al. 2016). Inoltre, negli ultimi anni, si è potuto evidenziare una netta diminuzione della frazione sabbiosa del trasporto solido del Fiume Magra.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Il progetto di monitoraggio dell'alga corallinacea *Ellisolandia elongata* è iniziato nel 2011 in collaborazione con l'Università di Pisa e successivamente con l'Università di Pavia. Scopo del progetto è la raccolta di dati di base sulla distribuzione e abbondanza dei principali generi di Corallinales, tra cui *E. elongata*, presenti lungo il piano intertidale dell'isola Palmaria.

Nel Golfo di La Spezia è stato avviato (2016-2018), in collaborazione con l'Università di Portsmouth ed il CNR e grazie ad un finanziamento della Royal Society (International Exchange Grant), il progetto: 'Will coralline algae reef mitigate climate change effects on associated fauna?'. Il progetto ha come obiettivi: 1) testare l'idoneità di micro-reef artificiali trapiantati in ambiente naturale che simulano struttura e proprietà dell'alga corallina *E. elongata* alla colonizzazione da parte di organismi marini; 2) testare l'effetto di mitigazione al cambiamento climatico esercitato dall'alga naturale sulla fauna associata.

Il progetto "Tropical Signals Program: monitoring macrodescriptor species of climate warming" della CIESM, il cui obiettivo è quello di valutare in ambiente marino gli effetti dei cambiamenti climatici a breve e a lungo termine su scala mediterranea utilizzando una serie di specie animali e vegetali quali macrodescrittori, è iniziato nel 2012 nell'area del Golfo della Spezia con il monitoraggio di presenza/assenza, variazioni in abbondanza e distribuzione delle specie selezionate (alghe, invertebrati bentonici e pesci). Nell'ambito del progetto è stata anche effettuata una esperienza di raccolta dati nell'area spezzina nell'ambito della "Citizen Science", tramite interviste ai pescatori locali (Local Ecological Knowledge), ai fini di raccogliere informazioni sulla presenza/assenza, incremento/decremento negli anni di alcune specie ittiche oggetto di pesca.

Nell'ambito del progetto RIMA (2013-2017), sono state effettuate una serie di campagne di misura mediante profili CTD. I dati raccolti sono stati utilizzati per la costruzione di matrici-dati per analisi EOF (Empirical Orthogonal Function), volte ad individuare le zone critiche rappresentative della variabilità locale, in modo da realizzare nuovi schemi di campionamento che facilitino l'assimilazione delle misure in modelli previsionali. Le misure hanno permesso di effettuare una comparazione sia qualitativa sia quantitativa con il modello del Mediterranean Forecasting System (MFS, <http://medforecast.bo.ingv.it/mfs-copernicus/>).

Attività di divulgazione

Sono stati realizzati laboratori didattici residenziali in Ecologia Marina in collaborazione con l'Università di Pavia rivolti a studenti di laurea magistrale in Scienze Biologiche e Scienze Naturali (annuali 2013-2017). Presso la sede spezzina (2014), in collaborazione con l'Ocean Acidification International Coordination Centre e la Scuola di Dottorato Internazionale MARES (Ecosystem Health and Conservation), è stato realizzato il corso internazionale 'Effects of ocean acidification and global warming on Mediterranean selected marine organisms (polychaetes and coralline algae) – in situ and laboratory studies for monitoring Future Oceans'.

ENEA ha partecipato ad iniziative di tipo divulgativo e di formazione sul territorio, fra queste: Festa della Marineria (2013, 2015), 'Un Mare di Scienza' (annuale), MIUR – settimana della cultura scientifica (annuale), 'Seafuture e Tecnologie Marine' (2016, 2018), settimana del Pianeta Terra (2015-2016), Maggio nei Parchi (2014), Lerici legge il Mare (2015), La Spezia 2020 – La città diventa smart (2017), incontri con i residenti (2017), progetto di educazione ambientale "M@ter 2.0 Pianeta Terra Mare" (2017) concluso con la pubblicazione del volume divulgativo "Occhi di mare", 'Fiera dell'Innovazione e Sostenibilità – progetto Interreg Marittimo STRATUS' (2018), organizzazione della conferenza 'Santuario Pelagos: una ricchezza del nostro territorio' (2018).

Prospettive future

Nel 2019 e nel 2020 sono stati installati 2 osservatori oceanografici per misure in continuo e a lungo termine di parametri fisici e biologici. L'iniziativa scaturisce dalla collaborazione tra DLTM (Distretto Ligure delle Tecnologie Marine) e Centri di Ricerca e Istituti operativi nell'area del sito del Mar Ligure Orientale (CNR, INGV, ENEA, Istituto Idrografico della Marina Militare). Uno dei due osservatori è collocato nel Canyon di Levante, ad una profondità di circa 600 m, equipaggiato con sensoristica dedicata al monitoraggio oceanografico e biologico off-shore (currentmetri, CTD, turbidimetro, trappole per sedimenti). Il sistema è stato sviluppato con l'obiettivo di contribuire anche alle attività di

EMSO (European Multidisciplinary Seafloor and water column Observatory), che ha nel Mar Ligure una delle due aree di interesse in Mediterraneo. Il secondo osservatorio è costituito da una stazione cablata situata su un fondale di 10 m nella baia di S. Teresa, dedicato al monitoraggio geofisico-oceanografico (sonda multiparametrica, gravimetro, videocamera) con trasmissione dati in tempo reale.

Un altro osservatorio locale riguarderà il progetto ENEA su *E. elongata* che continuerà a studiare e monitorare la componente chimico-fisica del mare insieme a quella ecologica, acquisendo i dati ambientali in continuo e su piccola scala, in modo da osservare gli effetti dei cambiamenti climatici sull'ecosistema associato all'alga. L'osservatorio impiegherà le stesse tipologie di monitoraggio, in termini di cadenze temporali e utilizzo degli strumenti di acquisizione dati, di altre istituzioni in modo da fornire dati ecologici confrontabili su ampia scala geografica a supporto di reti internazionali quali LTER.

Si realizzerà il monitoraggio di microplastiche, cotton fioc e macroplastiche derivate da oggetti usa-egetta, con particolare riguardo ai pellets, nelle spiagge del Golfo di La Spezia e alla foce del fiume Magra per valutare la potenziale diminuzione di una parte di tali inquinanti conseguente alla loro messa al bando.

Verrà inoltre ripreso nei litorali del Golfo di La Spezia il campionamento di microalghe bentoniche potenzialmente tossiche.

Abstract

The Eastern Ligurian Site is located between the mouth of the river Magra and Monterosso (Lat. 43.95-44.15°N; Lon. 9.64-10.05°E). The Site is particularly interesting from a scientific point of view, being placed in the Cetacean Sanctuary Pelagos and including marine protected areas recognized by UNESCO. Nevertheless, due to the presence of human activities producing high environmental impacts, it is a sensible area and requires careful management, supported by scientific evidence.

The research in the Site started in the 60s and intensified since the 70s. Historical data are available for the main chemical and physical parameters collected during oceanographic campaigns and at fixed monitoring sites through profiling and multi-parametric probes, although some gaps are present. Since the 80s, ENEA also studied recent (last 100 years) sedimentation rates in the area using radionuclides as tracers, along with particle size analysis and mineralogy.

Data was collected on phenology and structural features of *Posidonia oceanica* meadows at Monterosso (1991-2014) and on coverage, demographic and quali-quantitative information related to mortality due to sea warming, as well as on coralligenous communities and long-lived benthic species in the Cinque Terre MPA and in the Gulf of La Spezia (1991-2013). Other studies focused on analyzing the dynamics of colonization and growth of benthic constructors in the Gulf of La Spezia (1997-2005). The factors responsible for distribution and blooms of toxic benthic microalgae were also investigated in the Gulf (2007-2014). Since 2012, monitoring of fish and benthic macrodescriptors of climate changes was also carried out.

Data are stored in the ENEA MOIS database and are available upon request (from <http://www.santateresa.enea.it>).

Sitografia

http://www.iclerici.gov.it/pvw/app/default/pvw_img.php?sede_codice=SPME0039&doc=2217994
<http://www.santateresa.enea.it/index.html>
http://www.santateresa.enea.it/wwwste/osservatori/osservatorio_portovenere.html
<http://www.santateresa.enea.it/wwwste/posidonia/index.html>
<https://medclimalizers.wordpress.com>
<https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4596702/Synthetic-reefs-offer-buffer-climate-change.html>
<https://www.portofino.macisteweb.com/>
<https://www.portofinoamp.it>
<http://www.remare.org>

Bibliografia citata

- Bavestrello G., Bertone S., Cattaneo-Vietti R., Cerrano C., Gaino E., Zanzi D. (1995). Mass mortality of *Paramuricea clavata* (Anthozoa: Cnidaria) on Portofino Promontory Cliffs (Ligurian Sea). *Marine Life* 4: 15-19.
- Boero F., Fresi E. (1986). Zonation and evolution of a rocky bottom hydroid community. *Marine Ecology*, 7(2), 123-150.
- Bordone A. (2018). Dati meteorologici acquisiti dalla stazione ENEA di S. Teresa (SP). Rapporto annuale 2017 e comparazione con dati climatologici. Rapporto Tecnico, RT/2018/4/ENEA, ENEA, Roma.
- Bramanti L., Benedetti M.C., Cupido R., Cocito S., Priori C., Erra F., Iannelli M., Santangelo G. (2017). Demography of Animal Forests: The Example of Mediterranean Gorgonians. In: S. Rossi (ed.), *Marine Animal Forests*, pp. 1-20 DOI: 10.1007/978-3-319-17001-5-13-1.
- Cattaneo Vietti R., Albertelli G., Aliani S., Bava S., Bavestrello G., Benedetti Cecchi L., Bianchi C.N., Bozzo E., Capello M., Castellano M., Cerrano C., Chiantore M., Corradi N., Cocito S., Cutroneo G., Diviacco M., Fabiano M., Faimali M., Ferrari G.P., Gasparini M., Locritani L., Mangialajo L., Marin V., Moreno M., Morri C., Orsi Relini L., Pane L., Paoli C., Petrillo M., Povero P., Pronzato R., Relini G., Santangelo G., Tucci S., Tunisi L., Vacchi M., Vassallo P., Vezzulli L., Wurtz M. (2010). The Ligurian Sea: present status, problems and perspectives Chemistry and Ecology, 26 Supplement, 319-340.
- Cattaneo-Vietti R., Cappanera V., Castellano M., Povero P. (2015). Yield and catch changes in a Mediterranean small tuna trap: a warming change effect? *Marine Ecology* 36:155-166. DOI: 10.1111/maec.12127.
- Cerrano C., Bavestrello G., Bianchi C.N., Cattaneo-Vietti R., Bava S., Morganti C., Morri C., Picco P., Sara G., Schiaparelli S., Siccardi A., Sponga F. (2000). A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (North-western Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters* 3: 284-293.
- Ciuffardi T., Bordone A., Cerrati G., Schirone A., Raiteri G. (2017). Monitoraggio dei parametri fisici della colonna d'acqua: rapporto tecnico sui dati disponibili dal 2009 presso l'osservatorio ambientale nell'area di tutela marina del parco di Porto Venere. Rapporto tecnico sulle attività 2009-2017. Rapporto Tecnico, RT/2017/27/ENEA, ENEA, Roma.
- Ciuffardi T., Giuliani A., Barsanti M., Bordone A., Cerrati G., Di Nallo G., Picco P. (2013). Quarant'anni di dati oceanografici a cura del Centro Ricerche Ambiente Marino ENEA S. Teresa: il quadro del Golfo di La Spezia. Distribuzione storica dei dati dal 1973 al 2013. Rapporto Tecnico, RT/2013/19/ENEA, ENEA, Roma.

-
- Dapueto G., Massa F., Costa S., Cimoli L., Olivari E., Chiantore M.C., Federici B., Povero P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea Ocean & Coastal Management 116, 64-77.
- Delbono I., Barsanti M., Schirone A., Conte F., Delfanti R. (2016). ^{210}Pb mass accumulation rates in the depositional area of the Magra River (Mediterranean Sea, Italy). Continental Shelf Research, 124, 35-48.
- Di Carro M., Magi E., Massa F., Castellano M., Mirasole C., Tanwar S., Olivari E., Povero P. (2018). Untargeted approach for the evaluation of anthropic impact on the sheltered marine area of Portofino (Italy). Marine Pollution Bulletin 131, 87-94.
- Doglioli A.M., Griffa A., Magaldi M.G. (2004). Numerical study of a coastal current on a steep slope in presence of a cape: the case of the Promontorio di Portofino. J. Geophys. Res. 109: C12033.
- Gatti G., Bianchi C.N., Parravicini V., Rovere A., Peirano A., Montefalcone M., Massa F., Morri C. (2015). Ecological Change, Sliding Baselines and the Importance of Historical Data: Lessons from Combing Observational and Quantitative Data on a Temperate Reef Over 70 Years. PLoS ONE 10(2): e0118581. DOI: 10.1371/journal.pone.0118581.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. Science of the Total Environment Volume 627, 373-387.
- Paoli C., Povero P., Burgos E., Dapueto G., Fanciulli G., Massa F., Scarpellini P., Vassallo P. (2018). Natural capital and environmental flows assessment in marine protected areas: The case study of Liguria region (NW Mediterranean Sea). Ecological Modelling 368, 121-135.
- Paoli C., Vassallo P., Dapueto G., Fanciulli G., Massa F., Venturini S., Povero P. (2017). The economic revenues and the energy costs of cruise tourism. Journal of Cleaner Production, 166, 1462-1478.
- Parravicini V., Micheli F., Montefalcone M., Morri C., Villa E., Castellano M., Povero P., Bianchi C.N. (2013). Conserving Biodiversity in a Human-Dominated World: Degradation of Marine Sessile Communities within a Protected Area with Conflicting Human Uses. PLoS ONE 8(10): e75767. DOI: 10.1371/journal.pone.0075767.
- Peirano A., Cocito S., Banfi V., Cupido R., Damasso V., Farina G., Lombardi C., Mauro R., Morri C., Roncarolo I., Saldana S., Savini D., Sgorbini S., Silvestri C., Stoppelli N., Torricelli L., Bianchi C.N. (2011). Phenology of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: Medium and long-term cycles and climate inferences. Aq. Bot. 94: 77-92.
- Pilczynska J., Cocito S., Boavida J., Serrão E., Queiroga H. (2016). Genetic Diversity and Local Connectivity in the Mediterranean Red Gorgonian Coral after Mass Mortality Events. PLoS ONE 11(3): e0150590. DOI: 10.1371/journal.pone.0150590.
- Pilczynska J., Cocito S., Boavida J., Serrão E.A., Queiroga H. (2017). High genetic differentiation of the red gorgonian populations from the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. Mar. Biol. Res. 13(8): 854-861 <http://dx.doi.org/10.1080/17451000.2017.1312005>.
- Puce S., Bavestrello G., Di Camillo C.G., Boero F. (2009). Long-term changes in hydroid (Cnidaria, Hydrozoa) assemblages: effect of Mediterranean warming? Marine Ecology, 30(3), 313-326.
- Ruggieri N., Castellano M., Misic C., Gasparini G., Povero P. (2006). Seasonal and interannual dynamics of a coastal ecosystem (Portofino, Ligurian Sea) in relation to meteorological constraints. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 07774.

Santangelo G., Cupido R., Cocito S., Bramanti L., Priori C., Erra F., Iannelli M. (2015). Effects of increased mortality on gorgonian corals (Cnidaria, Octocorallia): different demographic features may lead affected populations to unexpected recovery and new equilibrium points *Hydrobiologia* 759: 171-187. DOI: 10.1007/s10750-015-2241-1.

Schiaparelli S., Castellano M., Povero P., Sartoni G., Cattaneo-Vietti R. (2007). A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology P.S.Z.N.* 28: 1-13.

Vassallo P., Paoli C., Buonocore E., Franzese P.P., Russo G.F., Povero P. (2017). Assessing the value of natural capital in marine protected areas: A biophysical and trophodynamic environmental accounting model *Ecological Modelling* 355, 12-17.

Venturini S., Massa F., Castellano M., Costa S., Lavarello I., Olivari E., Povero P. (2016). Recreational Boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A Quantitative Evaluation for a Sustainable Management. *Environmental Management* 57, 163-175.

Venturini S., Massa F., Castellano M., Fanciulli G., Povero P. (2021). Recreational boating in the Portofino Marine Protected Area (MPA), Italy: Characterization and analysis in the last decade (2006-2016) and some considerations on management. *Marine Policy*, 127, 103178. DOI: 10.1016/j.marpol.2018.06.006.

Prodotti macrosito Mar Ligure. Ultimi 5 anni

Lavori ISI

Bavestrello G., Bo M., Bertolino M., Betti F., Cattaneo-Vietti R. (2015). Long-term comparison of structure and dynamics of the red coral metapopulation of the Portofino Promontory (Ligurian Sea): A case-study for a Marine Protected Area in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology* 36, 1354-1363.

Bertolino M., Betti F., Bo M., Cattaneo-Vietti R., Pansini M., Romero J., Bavestrello G. (2016). Changes and stability of a Mediterranean hard bottom benthic community over 25 years. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 96, 341-350.

Betti F., Bavestrello G., Bo M., Asnaghi V., Chiantore M., Bava S., Cattaneo-Vietti R. (2017). Over 10 years of variation in Mediterranean reef benthic communities. *Marine Ecology Volume* 38, Article number e12439. DOI: 10.1111/maec.12439.

Bianchi C.N., Caroli F., Guidetti P., Morri C. (2018). Seawater warming at the northern reach for southern species: Gulf of Genoa, NW Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98, 1-12.

Cattaneo-Vietti R., Cappanera V., Castellano M., Povero P. (2015). Yield and catch changes in a Mediterranean small tuna trap: a warming change effect? *Marine Ecology* 36:155-166. DOI: 10.1111/maec.12127.

Dapueto G., Massa F., Costa S., Cimoli L., Olivari E., Chiantore M.C., Federici B., Povero P. (2015). A spatial multi-criteria evaluation for site selection of offshore marine fish farm in the Ligurian Sea *Ocean & Coastal Management* 116, 64-77.

Delbono I., Barsanti M., Schirone A., Conte F., Delfanti R. (2016). 210Pb mass accumulation rates in the depositional area of the Magra River (Mediterranean Sea, Italy). *Continental Shelf Research*, 124, 35-48.

Di Carro M., Magi E., Massa F., Castellano M., Mirasole C., Tanwar S., Olivari E., Povero P. (2018). Untargeted approach for the evaluation of anthropic impact on the sheltered marine area of Portofino (Italy). *Marine Pollution Bulletin* 131, 87-94.

Gatti G., Bianchi C.N., Montefalcone M., Venturini S., Diviacco G., Morri C. (2017). Observational information on a temperate reef community helps understanding the marine climate and ecosystem shift of the 1980-90s. *Marine Pollution Bulletin* 114: 528-538.

-
- Gatti G., Bianchi C.N., Parravicini V., Rovere A., Peirano A., Montefalcone M., Massa F., Morri C. (2015). Ecological Change, Sliding Baselines and the Importance of Historical Data: Lessons from Combing Observational and Quantitative Data on a Temperate Reef Over 70 Years. PLoS ONE 10(2): e0118581. DOI: 10.1371/journal.pone.0118581.
- Longobardi L., Bavestrello G., Betti F., Cattaneo-Vietti R. (2017). Long-term changes in a Ligurian infralittoral community (Mediterranean Sea): A warning signal? Regional Studies in Marine Science 14, 15-26.
- Losi V., Sbrocca C., Gatti G., Semprucci F., Rocchi M., Bianchi C.N., Balsamo M. (2018). Sessile macrobenthos (Ochrophyta) drives seasonal change of meiofaunal community structure on temperate rocky reefs. Marine Environmental Research, 142, 295-305.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi F., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. Science of the Total Environment Volume 627, 373-387.
- Paoli C., Povero P., Burgos E., Dapueto G., Fanciulli G., Massa F., Scarpellini P., Vassallo P. (2018). Natural capital and environmental flows assessment in marine protected areas: The case study of Liguria region (NW Mediterranean Sea). Ecological Modelling 368, 121-135.
- Paoli C., Vassallo P., Dapueto G., Fanciulli G., Massa F., Venturini S., Povero P. (2017). The economic revenues and the energy costs of cruise tourism. Journal of Cleaner Production, 166, 1462-1478.
- Pilczynska J., Cocito S., Boavida J., Serrão E., Queiroga H. (2016). Genetic Diversity and Local Connectivity in the Mediterranean Red Gorgonian Coral after Mass Mortality Events. PLoS ONE 11(3): e0150590. DOI: 10.1371/journal.pone.0150590.
- Pilczynska J., Cocito S., Boavida J., Serrão E.A., Queiroga H. (2017). High genetic differentiation of the red gorgonian populations from the Atlantic Ocean and the Mediterranean Sea. Marine Biology Research 13(8): 854-861 <http://dx.doi.org/10.1080/17451000.2017.1312005>.
- Prato G., Barrier C., Francour P., Cappanera V., Markantonatou V., Guidetti P., Mangialajo L., Cattaneo-Vietti R., Gascuel D. (2016). Assessing interacting impacts of artisanal and recreational fisheries in a small Marine Protected Area (Portofino, NW Mediterranean Sea). Ecosphere 7, Article number 1601. DOI: 10.1002/ecs2.1601.
- Santangelo G., Cupido R., Cocito S., Bramanti L., Priori C., Erra F., Iannelli M. (2015). Effects of increased mortality on gorgonian corals (Cnidaria, Octocorallia): different demographic features may lead affected populations to unexpected recovery and new equilibrium points *Hydrobiologia* 759: 171-187. DOI: 10.1007/s10750-015-2241-1.
- Vassallo P., Paoli C., Buonocore E., Franzese P.P., Russo G.F., Povero P. (2017). Assessing the value of natural capital in marine protected areas: A biophysical and trophodynamic environmental accounting model Ecological Modelling 355, 12-17.
- Venturini S., Massa F., Castellano M., Costa S., Lavarello I., Olivari E., Povero P. (2016). Recreational Boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A Quantitative Evaluation for a Sustainable Management. Environmental Management 57, 163-175.
- Venturini S., Massa F., Castellano M., Fanciulli G., Povero P. in press. Recreational boating in the Portofino Marine Protected Area (MPA), Italy: Characterization and analysis in the last decade (2006-2016) and some considerations on management. Marine Policy, DOI: 10.1016/j.marpol.2018.06.006.

Lavori non ISI

Massa F., Castellano M., Dapueto G., Olivari E., Cannata M., Povero P. (2017). Sharing of oceanographic data for long term ecological research of LTER Portofino site using ISTSOS (OGC). *Geoingegneria Ambientale e Mineraria* 151, 91-96.

Libri o capitoli di libro

Bramanti L., Benedetti M.C., Cupido R., Cocito S., Priori C., Erra F., Iannelli M., Santangelo G. (2017). Demography of Animal Forests: The Example of Mediterranean Gorgonians. In: S. Rossi (ed.), *Marine Animal Forests*, pp. 1-20 DOI: 10.1007/978-3-319-17001-5-13-1.

Report

Bordone A. (2018). Dati meteorologici acquisiti dalla stazione ENEA di S. Teresa (SP). Rapporto annuale 2017 e comparazione con dati climatologici. Rapporto Tecnico, RT/2018/4/ENEA, ENEA, Roma.

Ciuffardi T., Bordone A., Cerrati G., Schirone A., Raiteri G. (2017). Monitoraggio dei parametri fisici della colonna d'acqua: rapporto tecnico sui dati disponibili dal 2009 presso l'osservatorio ambientale nell'area di tutela marina del parco di Porto Venere. Rapporto tecnico sulle attività 2009-2017. Rapporto Tecnico, RT/2017/27/ENEA, ENEA, Roma.

Ciuffardi T., Giuliani A., Barsanti M., Bordone A., Cerrati G., Di Nallo G., Picco P. (2013). Quarant'anni di dati oceanografici a cura del Centro Ricerche Ambiente Marino ENEA S. Teresa: il quadro del Golfo di La Spezia. Distribuzione storica dei dati dal 1973 al 2013. Rapporto Tecnico, RT/2013/19/ENEA, ENEA, Roma.

Lombardi C., Raiteri G., Bordone A., Cerrati G., Peirano A., Cocito S., Pacella D., Claps G., Andreoli F., Gabellieri L., Adani M., Nannini M., Aliani S., Luchetta A., Cantoni C., Marchini A., Ruggero K., Ragazzola F. (2018). Will coralline algae reef mitigate climate change effects on associated fauna? A methodological approach to develop 'mimics' of coralline algae *Ellisolandia Elongata* for climate change studies. Rapporto Tecnico, RT/2018/6/ENEA, ENEA, Roma.

Autori

Elisa Camatti¹, Francesco Acri¹, Marco Anelli Monti², Fabrizio Bernardi Aubry¹, Mauro Bon³, Alessandro Buosi², Pierpaolo Campostrini⁴, Francesco Cavraro², Daniele Curiel⁵, Caterina Dabalà⁴, Chiara Facca², Stefania Finotto¹, Piero Franzoi², Irene Guarneri¹, Abdul-Salam Juhmani², Erica Keppel⁶, Matteo Morgantin⁴, Marco Pansera¹, Fabio Pranovi², Alessandra Pugnetti¹, Simone Redolfi Bristol², Alessandro Sarretta⁸, Luca Scapin², Anna Schroeder¹, Marco Sigovini¹, Adriano Sfriso², Andrea Augusto Sfriso⁷, Davide Tagliapietra¹, Yari Tomio², Marion Adelheid Wolf², Matteo Zucchetta⁹

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Arsenale – Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia, Italia.
- ² Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS), Via Torino 155, 30170 Venezia Mestre, Italia.
- ³ Museo di Storia Naturale di Venezia, Santa Croce 1730, 30135 Venezia, Italia
- ⁴ CORILA, San Polo 19, 30125 Venezia, Italia.
- ⁵ SELC Soc. Coop., Via dell'Elettricità 3/d, Marghera (Ve), Italia.
- ⁶ Smithsonian Environmental Research Center Edgewater, Maryland USA 21037.
- ⁷ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche, Via Fossato di Mortara 17, 44121 Ferrara, Italia
- ⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Sede Secondaria di Padova, Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova, Italy
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Torino 155, 30170 Venezia Mestre, Italia

DEIMS.ID: <https://deims.org/cda8c930-378e-44f7-82aa-ea58bf57b611>

Referente Macrosito: Elisa Camatti

Elenco dei Siti di ricerca del macrosito: sito unico

Tipologia di ecosistema: marino/acque di transizione

Citare questo capitolo come segue: Camatti E., Acri F., Anelli Monti M. *et al.* (2021). IT16-M Laguna di Venezia, p. 531-553. DOI: 10.5281/zenodo.5584761. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

La Laguna di Venezia è uno dei più importanti sistemi di transizione del Mediterraneo in cui, associati ad un'elevata urbanizzazione (città di Venezia e Chioggia, più isole minori), sono presenti un'intensa attività industriale e portuale ed un intenso traffico di navi ed imbarcazioni minori, per trasporto di merci e persone (Porto Marghera, stazione marittima di Venezia, porto commerciale di Chioggia).

Dal punto di vista geografico, la Laguna di Venezia è localizzata nel settore nordovest del Mare Adriatico tra le attuali foci del fiume Sile e del fiume Brenta ed è connessa con il mare attraverso tre bocche di porto (Lido, Malamocco e Chioggia). Si estende per circa 50 km di lunghezza e 10 km di ampiezza con una superficie del bacino di circa 550 km², di cui, all'incirca, l'80% è coperto da acqua, il 10% da barene (caratteristiche nel Mediterraneo per essere presenti quasi esclusivamente nell'Alto Adriatico) e circa il 5% da isole (escludendo i lidi). Più dell'85% della superficie lagunare è caratterizzata da profondità inferiori a due metri, mentre circa il 10% della superficie lagunare è costituita da canali più profondi di cinque metri (Tagliapietra *et al.* 2009). La presenza umana ha costantemente modificato l'originale struttura del bacino cosicché la laguna attuale può essere considerata come un “*human-oriented ecosystem*”, caratterizzato ancora da forti tratti di naturalità (Solidoro *et al.* 2010).



Fig. 1 - Il macrosito Laguna di Venezia (credits to Samantha Cristoforetti, ESA)

L'acqua marina proveniente dal bacino adriatico alimenta quattro sottobacini lagunari che sono divisi da tre fasce di spartiacque. I quattro sottobacini presentano delle caratteristiche alquanto diverse: il bacino settentrionale è ancora influenzato da fiumi di risorgiva, per cui le sue condizioni sono tutt'oggi vicine alle condizioni originali. Il bacino centro-settentrionale è fortemente caratterizzato dall'attività

umana, ospitando la città di Venezia e la zona industriale di Porto Marghera. Il bacino centro-meridionale è attraversato da un profondo canale artificiale che unisce la bocca di Malamocco con la zona industriale, mentre il bacino meridionale si contraddistingue per le sue caratteristiche più prettamente marine.

La marea ed i venti rappresentano le principali forzanti fisiche. Le maree lagunari sono miste, con predominanza semidiurna. Le maree sono le più ampie del Mediterraneo con una media di 61 cm (calcolata nel periodo 1986-2004). Nella seconda metà dello scorso secolo sono state apportate notevoli modifiche ai fondali per il passaggio delle navi e molti canali direttamente collegati alle bocche di porto si sono approfonditi naturalmente per il gioco di maree: è aumentata l'erosione e la frequenza degli eventi di acqua alta (convenzionalmente riferiti a marea >100 cm). Nell'ultima decade il macrosito è interessato anche dalla messa in opera di un imponente sistema di paratoie mobili (Sistema MOSE) contro il fenomeno dell'innalzamento del livello marino (Ferrarin *et al.* 2013).

Circa il 60% del volume d'acqua è ricambiato ad ogni ciclo mareasale, anche se il ristagno nelle aree più interne può arrivare anche a 60 giorni (Cucco e Umgiesser 2006). La maggior parte della Laguna di Venezia può essere classificata come mixo-eualina/mixo-polialina secondo il "Sistema Venezia" (Anonimo 1959), con una salinità media di circa 30 ed un range di variazione da condizioni marine (circa 37), in prossimità delle bocche di porto, a mesoaline, con influenze nelle aree più interne di apporti di acque dolci degli immissari (Zirino *et al.* 2014). A causa della bassa profondità della laguna, la temperatura dell'acqua segue le tendenze stagionali della temperatura dell'aria, con valori molto bassi durante l'inverno, anche se raramente congelanti, ed oltre 30°C durante l'estate.

Dal punto di vista biologico, le comunità bentoniche esistenti sono in gran parte riconducibili alla classica biocenosi "Lagunaire Euryhaline et Eurytherme (L.E.E.)" definita da Peres e Picard (1964). Tali comunità bentoniche sono caratterizzate da praterie a fanerogame marine (*Zostera noltei*, *Zostera marina*, *Cymodocea nodosa*, *Ruppia cirrhosa*), macroalghe (più di 300 specie, soprattutto Ulvaceae, Gracilariaeae, e Cladophoraceae), e più di 800 specie di invertebrati di substrati molli (anellidi policheti, molluschi gasteropodi e bivalvi, crostacei, echinodermi). Le comunità fitoplanctoniche sono costituite principalmente da diatomee e da fitoflagellati. Le comunità zooplanctoniche si contraddistinguono per la predominanza di copepodi e di diverse forme larvali quali bivalvi, echinodermi e crostacei bentonici. Le comunità neotoniche sono caratterizzate sia da specie residenti, sia da specie che trascorrono in laguna solo una porzione più o meno estesa del proprio ciclo vitale (migratori e visitatori occasionali). L'avifauna è dominata da comunità ornitiche nidificanti in praterie saline e svernanti in tutto il bacino lagunare (www.atlantedellalaguna.it).

L'ecosistema lagunare è condizionato da variabili ambientali caratterizzate da forti fluttuazioni, ma anche dagli impatti antropici dettati dalla elevata densità abitativa e produttiva della zona di gronda, dalla presenza nello specchio lagunare di agglomerati urbani sottoposti a intensi flussi turistici e ad impatti diretti come per esempio quelli legati alla pesca delle vongole (*Ruditapes philippinarum*), specie alloctona introdotta a fini alieutici nell'ultimo quarto del secolo scorso.

Tra gli eventi biologici rimarchevoli nel sito si possono citare: fioriture fitoplanctoniche stagionali, iperproliferazione di macroalghe, invasione di specie non indigene (NIS, "Non Indigenous Species") provenienti dall'acquacoltura, dal fouling e dalle acque di sentina delle navi commerciali e turistiche.

Le attività di ricerca LTER nella Laguna di Venezia sono rivolte alla comprensione della variabilità nel lungo periodo della struttura dell'ecosistema e delle sue comunità biologiche, dei rapporti tra le componenti dell'ecosistema e dei processi ecologici a queste collegate. Assume un ruolo di primo piano lo studio delle maggiori pressioni naturali e antropiche, tra le quali l'input di nutrienti di origine agricola ed urbana, l'attività industriale e portuale, il rilascio di inquinanti dai sedimenti, l'intenso traffico di navi ed imbarcazioni minori, la trasformazione e banalizzazione di morfologie ed habitat (Solidoro *et al.* 2010).

La Laguna di Venezia è un unico sito di ricerca a lungo termine all'interno del quale, in diverse aree di campionamento, vengono effettuati rilievi di variabili ambientali fisiche, chimiche e idrologiche, indagini sulla contaminazione di acque e sedimenti e sull'ecologia e distribuzione delle componenti della

biodiversità, in particolare per quanto riguarda le comunità fito- e zooplanktoniche, fito- e zoobentoniche, l'ittiofauna e l'avifauna, con focus particolare sulle specie non indigene e sulla pesca. Le differenti ricerche si inseriscono all'interno di un approccio trasversale e condiviso, rivolto alla valutazione degli effetti della variabilità naturale e dell'impatto antropico sulla struttura e funzionalità dell'ecosistema (rete trofica e cicli biogeochimici), e le ripercussioni sui servizi ecosistemici.

Abstract

The Lagoon of Venice covers a surface area of about 550 km², roughly 80% of which is covered by water, about 10% by salt marshes and 5% by islands. The mean depth of the water column is about 1.2 m, with only 5% of the lagoon deeper than 5 m. It is connected to the Adriatic Sea through three inlets (Lido, Malamocco, Chioggia), which allow tidal flushing twice a day. The mean tidal range is 61 cm (calculated on 1986-2004), the largest in the Mediterranean. The majority of the lagoon can be classified as mixoeuhaline/mixopolyhaline according to the “Venice System” (Anonymous 1959), with a mean salinity of about 30, ranging from marine (around 37), to mesohaline (5 – 18) near the bay-head river mouths (Zirino *et al.* 2014). Because of the shallowness of the lagoon, water temperature follows the seasonal trends of air temperature, with very low values during winter, although seldom freezing, to above 30°C during summer. From the biological point of view, the benthic communities of this meso/eutrophic ecosystem, mainly belong to the “Lagunaire Euryhaline et Eurytherme (L.E.E.)” biocenosis as defined by Peres and Picard (1964). These benthic communities are characterized by seagrass meadows (*Zostera noltei*, *Zostera marina*, *Cymodocea nodosa*), over than 300 species of macroalgae and over 800 species of macroinvertebrates. The phytoplankton communities are dominated by diatoms and phytoflagellates, while the zooplankton communities are characterized by the predominance of copepods and different larval forms of e.g. bivalves, echinoderms or benthic crustaceans. The nektonic communities are made both by resident species and by species that spend only a part of their life cycle in the lagoon (migratory and occasional visitors). The avifauna is characterized by ornithic communities nesting in salty grasslands and wintering throughout the whole lagoon basin.

The research activities in the Venice Lagoon, that include analyses of environmental parameters and the study of biodiversity and ecology of phyto- and zooplankton, phyto- and zoobenthos and ichthyo- and avifauna, are aimed at understanding the long-term variability of the structure and the relationships between the components of this ecosystem and the resulting processes.

Laguna di Venezia

Autori

Elisa Camatti¹, Francesco Acri¹, Marco Anelli Monti², Fabrizio Bernardi Aubry¹, Mauro Bon³, Alessandro Buosi², Pierpaolo Campostrini⁴, Francesco Cavraro², Daniele Curiel⁵, Caterina Dabalà⁴, Chiara Facca², Stefania Finotto¹, Piero Franzoi², Irene Guarneri¹, Abdul-Salam Juhmani², Erica Keppel⁶, Matteo Morgantin⁴, Marco Pansera¹, Fabio Pranovi², Alessandra Pugnetti¹, Simone Redolfi Bristol², Alessandro Sarretta⁸, Luca Scapin², Anna Schroeder¹, Marco Sigovini¹, Adriano Sfriso², Andrea Augusto Sfriso⁷, Davide Tagliapietra¹, Yari Tomio², Marion Adelheid Wolf², Matteo Zucchetta⁹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Arsenale – Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia, Italia.

² Università Ca' Foscari Venezia, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS), Via Torino 155, 30170 Venezia Mestre, Italia.

³ Museo di Storia Naturale di Venezia, Santa Croce 1730, 30135 Venezia, Italia.

⁴ CORILA, San Polo 19, 30125 Venezia, Italia.

⁵ SELC Soc. Coop., Via dell'Elettricità 3/d, Marghera (Ve), Italia.

⁶ Smithsonian Environmental Research Center Edgewater, Maryland USA 21037.

⁷ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche, Via Fossato di Mortara 17, 44121 Ferrara, Italia.

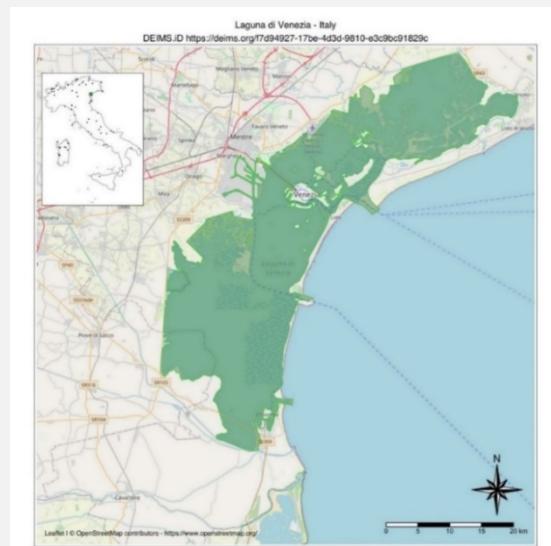
⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Sede Secondaria di Padova, Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova, Italy.

⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Torino 155, 30170 Venezia Mestre, Italia.

Sigla: IT16-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/f7d94927-17be-4d3d-9810-e3c9bc91829c>

Responsabile Sito: Elisa Camatti



Descrizione del sito e delle sue finalità

Vedi sopra (descrizione del macrosito)

Attività



Fig. 2 - Aree di campionamento del macrosito Laguna di Venezia (credits to Mauro Bastianini, CNR ISMAR)

il CNR di Venezia che si tenne lo storico “Simposio sulla classificazione delle acque salmastre” del 1958. In particolare, l’ecologia e la struttura delle comunità planctoniche vengono studiate dal CNR-ISMAR di Venezia fin dalla fine degli anni ’60 nell’ambito di vari progetti di ricerca e convenzioni. A partire dagli anni ’80, il Dipartimento di Scienze Ambientali dell’Università Ca’ Foscari Venezia (DSA-UNIVE) ha avviato indagini sullo stato chimico delle acque e dei sedimenti lagunari e sulle associazioni di macroalghe e fanerogame marine, soprattutto in relazione agli allora frequenti fenomeni distrofici legati agli effetti dell’eutrofizzazione; a partire dall’inizio degli anni ’90 è stata dedicata particolare attenzione anche all’ecologia e alla struttura della comunità neotonica e agli effetti sull’ecosistema dello sfruttamento delle risorse alieutiche. Ad oggi, il Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica dell’Università Ca’ Foscari Venezia (DAIS-UNIVE) prosegue gli studi ecologici sullo stato trofico e sulle componenti macrofitobentoniche e neotoniche, nonché sui dati di cattura provenienti dall’attività di pesca artigianale. I censimenti dell’avifauna acquatica svernante vengono svolti

Lo studio del macrosito Laguna di Venezia ha sempre trovato ampio spazio negli Istituti di Ricerca veneziani (Regio Comitato Talassografico, Centro nazionale di Studi Talassografici, Istituto di Biologia del Mare e Istituto per lo Studio della Dinamica delle Grandi Masse) che hanno dato origine a quelli che sono ora l’Istituto di Scienze Marine del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-ISMAR) e l’Università Ca’ Foscari di Venezia. Fu proprio presso

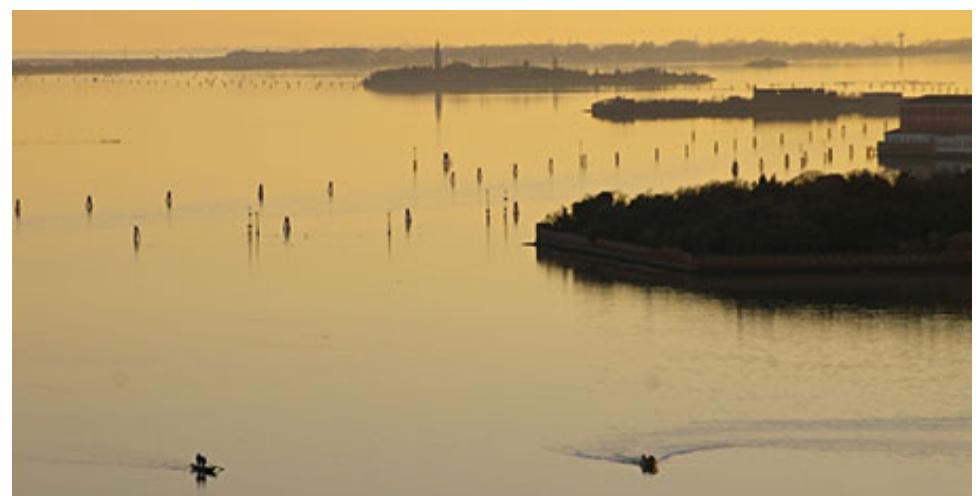


Fig. 3 - Aree di campionamento del macrosito Laguna di Venezia (credits to Mauro Bastianini, CNR ISMAR)

dall'Università di Venezia a partire dagli anni '90, in collaborazione con l'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e la Città Metropolitana di Venezia e proseguono ad oggi per opera anche del Museo di Storia Naturale di Venezia.

Negli ultimi anni, dato l'attuale sforzo di ricerca a titolo quasi sempre volontaristico, i dati minimi garantiti a lungo termine sul macrosito sono: dati fisici, chimici e idrologici forniti dalle centraline per il monitoraggio in continuo del Provveditorato alle Opere pubbliche di Veneto Trentino Alto Adige Friuli Venezia Giulia (*ex* Magistrato alle acque di Venezia) e dati biologici quali: biomassa, abbondanza numerica e tassonomia delle macroalghe, con frequenza di campionamento da settimanale a mensile, e misure di produzione primaria in stazioni ed annate diverse; abbondanza numerica e tassonomia del fito- e dello zooplancton, con frequenza di campionamento da mensile a stagionale; comunità neotonica, tramite monitoraggi stagionali in stazioni rappresentative e relative analisi della produzione alieutica. Vengono inoltre effettuati censimenti di avifauna acquatica svernante, di specie nidificanti coloniali nonché monitoraggi di specie introdotte.

Gli enti di ricerca coinvolti nelle suddette attività di ricerca del sito sono: CNR-ISMAR Venezia, DAIS-UNIVE, Museo di Storia Naturale di Venezia, Consorzio per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare di Venezia (CORILA) che svolge principalmente attività di collegamento tra le diverse identità coinvolte.

Risultati

Il sito LTER Laguna di Venezia nel corso degli anni ha dimostrato la sua peculiarità di area “hot-spot” per lo studio e la comprensione dei processi connessi ai cambiamenti locali e globali e alle loro ripercussioni sui servizi ecosistemici. Esempio paradigmatico è il crescente rinvenimento di specie non indigene proprie di varie comunità e livelli trofici, oltre a evidenze di cambiamenti nel tempo dei diversi comparti, abiotico e biotico.

La lunga serie di dati presa in esame ha permesso di delineare alcuni andamenti temporali significativi.

Lo stato trofico

Nel secolo scorso l'ambiente lagunare ha sofferto di due contrastanti pressioni che ne hanno fortemente modificato la normale struttura estuarina. Da una parte vi è stato un aumento del carico organico, legato a fenomeni di eutrofizzazione, con una conseguente incremento della saprobicità, che ha fortemente selezionato le specie all'interno della laguna (Tagliapietra *et al.* 2012; Solidoro *et al.* 2010), dall'altra vi è stato un aumentato apporto di acque marine dovuto allo scavo del Canale dei Petroli concomitante con una riduzione dell'apporto idrico fluviale. Ne è risultato così un ambiente fortemente saprobito, spostato verso condizioni tipiche della regione mesoalina e una corrispondente forte perdita delle aree tipicamente poli- ed oligoalpine. Tale ambiente è mantenuto vitale non tanto da processi autodepurativi quanto dal ricambio mareale e quindi in un equilibrio precario, soprattutto per le zone interne più difficilmente raggiungibili dalle maree e caratterizzate dall'accumulo di sedimenti pelitici (<63 µm) ricchi in sostanza organica.

Con particolare riferimento allo stato trofico degli ultimi 40 anni, i primi dati sulle concentrazioni di nutrienti nei sedimenti lagunari sono disponibili dal 1948 (Giordani-Soika & Perin 1974), mentre per le acque risalgono ai primi anni '60 (Cossu & De Fraja-Frangipane 1985). Nei sedimenti superficiali di tutta la laguna tra il 1948-49 e il 1983 le concentrazioni di fosforo totale (TP) sono aumentate di 18.9 volte (da $24 \pm 16 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ (mean \pm std) a $454 \pm 126 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$), poi è iniziata una lenta diminuzione (Sfriso *et al.* 2019). Similmente le concentrazioni di azoto totale (TN) sono variate da $1.00 \pm 0.86 \text{ mg g}^{-1}$ nel 1948-49 a $1.86 \pm 2.20 \text{ mg g}^{-1}$ nel 1968-73 per poi scendere a $0.69 \pm 0.75 \text{ } \mu\text{g g}^{-1}$ nel 2011. Variazioni più significative si sono osservate in laguna centrale soprattutto per quanto riguarda il fosforo organico (OP) e l'azoto totale che sono diminuiti del 40 e 71% rispettivamente (media di 34 stazioni: OP da $104 \text{ } \mu\text{g cm}^{-3}$; TN da 1.21 mg cm^{-3} a 0.35 mg cm^{-3}).

Significative diminuzioni sono state osservate anche per le concentrazioni di nutrienti nella colonna d'acqua. Particolarmente rilevante è stata la diminuzione della concentrazione di ammoniaca che nei canali industriali di Porto Marghera è passata da 2600-3800 µM negli anni 1962-64 a meno di 10 µM nel 2014 (Sfriso *et al.* 2019). Nel 2011 la media tardo-primaverile ed autunnale in tutta la laguna (118 stazioni) era di 7.99 ± 6.81 e 3.44 ± 3.80 µM, rispettivamente, mentre il fosforo reattivo (RP) era solamente di 0.14 ± 0.19 e 0.20 ± 0.20 µM.

In laguna centrale tra il 1987 e il 2014 nel periodo tardo primaverile l'RP è passato da una media di 0.76 µM (34 stazioni) a 0.19 µM (45 stazioni) mentre l'ammoniaca è variata tra 5.15 e 2.01 µM. Contemporaneamente la concentrazione di azoto inorganico disciolto (DIN) è passata da una media di 10.1 µM a 5.9 µM.

Similmente, con la diminuzione delle biomasse macroalgali (media 65 stazioni: 4.78 Kg m⁻² in peso fresco nel 1987, 0.11 kg m⁻² nel 1998 e 1.05 kg m⁻² nel 2014) il pH è passato da valori medi di 8.81 nel 1987 a 8.24 nel 2014. L'ossigeno disciolto da una saturazione del 274% nel 1987 a 113-150% negli anni successivi e la Chlorofilla-a da 3.61 ± 5.62 a 1.32 ± 1.58 µg dm⁻³ (Sfriso *et al.* 2019).

La comunità fitoplanctonica e le macroalghe

Nel decennio 1997-2007 ad un incremento della salinità è corrisposta una diminuzione del fosforo in tutte le matrici ambientali, delle specie azotate e dei silicati. A questa diminuzione ha fatto seguito un decremento della biomassa macroalgale, evidenziata da varie mappature di copertura macroalgale, e di quella fitoplanctonica mediante dati di clorofilla *a* e conteggi al microscopio. Per quanto riguarda l'andamento della temperatura, dei livelli di ossigeno disciolto e del pH non sono stati osservati variazioni significative. Un forte decremento di questi parametri era già stato rilevato durante la drastica diminuzione delle biomasse algali avvenute nei primi anni '90 (Sfriso *et al.* 2019). Il continuo monitoraggio ha altresì permesso di seguire particolari situazioni di stress ambientale quali ad esempio il periodo di siccità nell'estate del 2003 (Bernardi Aubry *et al.* 2013) e il fenomeno di ipossia nella parte centro-settentrionale della laguna nell'estate 2013 (Bastianini *et al.* 2014). L'analisi della serie temporale fitoplanctonica ha anche messo in luce come i popolamenti lagunari seguano un ciclo unimodale con un unico picco estivo legato al massimo di temperatura e di luce e poco influenzato dalla variazione dei macronutrienti disciolti mai limitanti la crescita delle microalghe. Accanto ad un *pool* di specie con ampia valenza ecologica e comuni a tutte le stazioni, sono state anche individuate specie poco abbondanti ma rappresentative di ogni area indagata (Bernardi Aubry *et al.* 2013; Bernardi Aubry *et al.* 2017). Il monitoraggio ha permesso inoltre di individuare nuove NIS arrivate in laguna negli ultimi anni (Mozetic *et al.* 2018). Per le macroalghe la laguna si è rivelata il sito del Mediterraneo più ricco di introduzioni, seconda solo alla laguna di Thau in Francia (Sfriso and Marchini 2014; Marchini *et al.* 2015). Infine, l'ampio *data set* ha consentito l'elaborazione di indici di qualità delle acque basati sulle macrofite (Sfriso *et al.* 2007, 2009, 2014; European Commission 2013, decisione della Commissione (UE) 2013/480 del 20 settembre 2013) e, più recentemente, sul fitoplancton in ottemperanza alle richieste della direttiva quadro sulle acque (Water Framework Directive 2000/60/EC; Facca *et al.* 2013, 2018) e incluso nella Decisione della Commissione (UE) 2018/229 del 12 febbraio 2018.

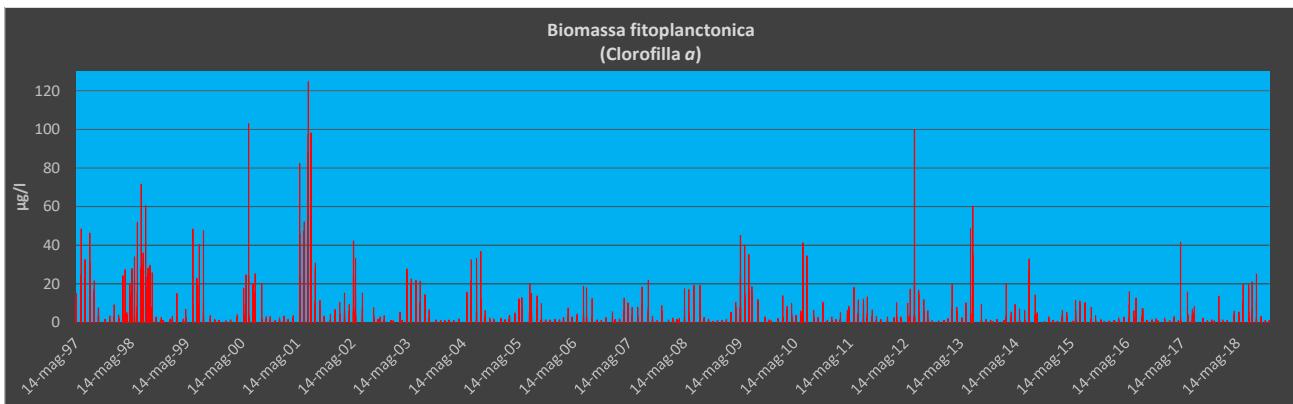


Fig. 4 - Andamento temporale della biomassa fitoplanctonica in Laguna di Venezia (1997-2018)

La prima mappatura delle biomasse macroalgali nella Laguna Veneta risale al 1980 (Sfriso and Facca 2007) mentre quella delle fanerogame marine al 1990 (Caniglia *et al.* 1990). Dal 1988 sono state studiate le variazioni temporali della biomassa in toto e di varie specie macroalgali e delle fanerogame marine in una trentina di stazioni. Gli ultimi accrescimenti su scala temporale riguardano alcune specie tra le più diffuse in laguna: *Uha rigida*, *Gracilaria longissima*, *Gracilaria gracilis* e *Agarophyton vermiculophyllum*, la specie macroalgale non indigena più abbondante in laguna (ca. 67.000 tonnellate in peso fresco nel 2014 su una biomassa algale totale di ca. 450.000 tonnellate) (Sfriso and Sfriso 2017; Sfriso *et al.* 2018). Attualmente, rispetto agli anni '80 le biomasse si sono drasticamente ridotte a meno del 10% e sono abbastanza stabili con piccole fluttuazioni stagionali. Tuttavia, la dominanza delle specie più abbondanti in passato è completamente cambiata con prevalenza delle alghe rosse sulle verdi e con la diffusione di numerose specie aliene. Infatti, la Laguna di Venezia è un hot-spot di macroalghe aliene con più di 30 specie verificate che rappresentano ca. il 32% della biomassa globale (Sfriso *et al.* 2018) anche se numericamente sono meno del 10% delle specie attualmente presenti (Sfriso and Curiel 2007).

La comunità zooplantonica

Sensibile alle variazioni delle condizioni ambientali (Hays *et al.* 2005), la comunità zooplantonica ha manifestato cambiamenti significativi della sua composizione soprattutto in termini di introduzioni di specie non indigene (NIS). A partire dal 1992, anno della sua prima segnalazione in laguna, il copepode *Acartia tonsa* è diventato dominante nelle aree interne e centrali del bacino, soprattutto nei periodi caldi (Comaschi *et al.* 2000; Camatti *et al.* 2006; Ferrarin *et al.* 2013; Camatti *et al.* 2019). A questo evento si è affiancata una drastica diminuzione di quelle che fino agli anni '80 erano invece le specie dominanti, *Acartia marginale* e *Paracartia latisetosa*, tipica quest'ultima degli ambienti più confinati (Camatti *et al.* 2001; Acri *et al.* 2004; Camatti *et al.* 2019). Dai monitoraggi di anni più recenti è emerso inoltre l'ingresso di altre NIS: tra queste, alcune specie appartenenti al gruppo dei copepodi (crostacei planctonici che costituiscono circa l'80% dell'intera comunità zooplantonica lagunare) ed al gruppo degli organismi gelatinosi, quali le meduse (Malej *et al.* 2017; Vidjak *et al.* 2018). Nel caso dei copepodi, oltre all'introduzione di *A. tonsa*, datata 1992, sono stati recentemente segnalati (2014) i copepodi *Pseudodiaptomus marinus* ed *Oithona davisae*. *Pseudodiaptomus marinus*, originario della regione indo-pacifica, è ben noto per la sua capacità invasiva e dal 2007 è stato segnalato in diversi siti europei. Si è diffuso ad un ritmo inaspettatamente veloce negli ultimi dieci anni. L'alto potenziale invasivo di *P. marinus* è supportato da specifici tratti biologici, ecologici e comportamentali (Sabia *et al.* 2015). Nessuna informazione, tuttavia, è disponibile sui possibili effetti dannosi sulle comunità zooplantoniche bentoniche e iperbentoniche. *Pseudodiaptomus marinus* è stato spesso indicato come adatto all'allevamento di massa come alimento negli allevamenti di acquacoltura ed è anche idoneo come specie bersaglio negli studi ecotossicologici. Tutti questi aspetti rendono questa specie di particolare interesse per i temi di ricerca ecologica a lungo termine, ma anche applicata. Anche la prima segnalazione di *O. davisae* in laguna è coerente con le caratteristiche della specie che vive in ambienti temperati. In diverse zone del

mondo, *O. davisiæ* è risultata essere una delle specie non indigene più abbondanti nelle acque di zavorra delle navi (Kasyan 2010; Lawrence and Cordell 2010; Vidjak *et al.* 2018). Per quanto riguarda gli organismi gelatinosi, dall'estate 2016 la Laguna di Venezia è interessata da intensi *bloom* di *Mnemiopsis leidyi*. Questo ctenoforo, originario delle coste atlantiche del continente americano, venne osservato solo una volta in Mare Adriatico, nell'ottobre 2005, per poi non venir più segnalato per oltre 10 anni. *M. leidyi* ricopre un ruolo importante nella rete trofica predando la componente planctonica, incluse le forme larvali di pesci anche di importanza commerciale come le sardine e le acciughe (Malej *et al.* 2017). Pur essendo inoffensivo per l'uomo, risulta notevolmente impattante a livello di attività commerciali andando ad intasare, nelle sue fasi di *bloom* estivi, le reti da pesca e riducendone drasticamente la relativa efficienza.



Fig. 5 - Le specie non indigene *Pseudodiaptomus marinus*, a sinistra, ed *Oithona davisiæ*, a destra (credits to Marco Pansera ed Elisa Camatti, CNR ISMAR)

La comunità macrozoobentonica

Seguire le variazioni a lungo termine delle comunità di invertebrati bentonici in un macrosito esteso oltre 500 chilometri quadrati non è una cosa semplice. Questa attività comporta un grande sforzo sia in termini di attività di campo sia, e soprattutto, nelle attività di laboratorio, necessitando tra l'altro di una vasta competenza tassonomica. È per questo che lo studio su ampia scala delle comunità macrozoobentoniche si basa da circa un ventennio su attività di monitoraggio condotte nell'ambito di studi per la riqualificazione ecologica della Laguna di Venezia legati alle opere di protezione dalle acque alte, oppure richiesti dalle direttive europee quali la Water Framework Directive, Dir. 2000/60/CE (Acri *et al.* 2012; Armeli Minicante *et al.* 2015). A questi nell'ultimo decennio si è aggiunta l'attività di monitoraggio semestrale delle comunità alle bocche di porto per verificare il possibile impatto dei cantieri delle barriere mobili, il cosiddetto MOSE (Magistrato alle Acque di Venezia – CORILA 2010-17; AA.VV. 2017).

La Laguna di Venezia, come tutti i sistemi estuarini, è scomponibile in zone fisiografiche diverse. Alla scala più ampia la zonazione riflette fortemente l'ambiente fisico plasmato dall'idrologia (in

particolare ricambio idrico e salinità), ma a mano a mano che aumenta la risoluzione geo-topografica emerge l'importanza dei fattori edafici e biologici, come la tessitura dei fondali, il contenuto in sostanza organica, la presenza di vegetazione. Su questa base concettuale nel primo decennio di questo secolo è stata prodotta una zonazione fisiografica su scale gerarchiche (Tagliapietra *et al.* 2011). Questa zonazione riflette bene la struttura di base della biodiversità lagunare con una progressiva riduzione della ricchezza specifica ed un aumento delle specie saprobiche spostandosi verso le zone più interne (Tagliapietra *et al.* 2012).



Fig. 6 - Le specie non indigene, partendo dall'alto, *Didemnum vexillum* a sinistra, *Teredo bartschi* al centro, e *Polycera hedgpethii* a destra, in basso a sinistra *Callinectes sapidus* e *Bursatella leachii* in basso a destra
(credits to Davide Tagliapietra, Marco Sigorini ed Irene Guarneri, CNR-ISMAR)

È ormai stato assodato come il continuo rimaneggiamento dei fondali legato alla diffusa pesca, spesso abusiva, della vongola filippina (*Ruditapes philippinarum*) abbia contribuito ad un “lavaggio” dei fondali con risospensione dei sedimenti, perdita della frazione fine (Pranovi *et al.* 2003; Pranovi *et al.* 2004; Sfriso *et al.* 2005) e concomitante ossidazione ed asporto della sostanza organica verso un *sinking* marino. Si è assistito così dall'inizio di questo secolo ad uno spostamento delle comunità verso configurazioni sempre più marine e diversificate al quale ha anche sicuramente contribuito la diffusione delle fanerogame marine (Tagliapietra *et al.* 2010, 2016, 2017). L'ambiente polialino, tipico delle lagune, risulta ancora più compromesso che in passato con possibile deterioramento di importanti funzioni lagunari quali quelle di *nursery*. Lo spostamento verso comunità tipiche di ambienti più eualini avviene però in maniera complessa all'interno del mosaico lagunare, al punto che, su scala lagunare, si può osservare la sostituzione di oltre la metà delle specie bentoniche rilevate in eventi di campionamento consecutivi. Gli eventi anossici non sono più ricorrenti e generalizzati come negli anni '70 ed '80, tuttavia sono stati osservati episodi anche gravi con forte interessamento della colonna d'acqua e morie di pesci che fanno pensare non solo a meccanismi asfittici ma anche a intossicazioni acute, probabilmente mediate da fenomeni putrefattivi a carico delle comunità bentoniche. Tra queste si

segnalano i letti di ostriche (*Crassostrea gigas*), recentemente in espansione. Le condizioni meno severe degli habitat bentonici lagunari rilevate in questi ultimi anni hanno probabilmente favorito la stabilizzazione di popolazioni di invertebrati alloctoni quali l'ascidia coloniale *Didemnum vexillum*, che in altre regioni del mondo è fortemente impattante sulle colture di bivalvi quali mitili e ostriche ma che in Laguna di Venezia sembra limitata dalle eccessive temperature estive (Tagliapietra *et al.* 2012; Ordóñez *et al.* 2015), la teredine *Teredo bartschi*, fortemente impattante sulle opere marittime in legno oppure il nudibranco *Polyvera hedgpethii* (Keppel *et al.* 2012), ma anche di specie già presenti da tempo, il cui rinvenimento era prima sporadico ed è ora comune, come per l'opistobranco *Bursatella leachii* o per grande granchio blu *Callinectes sapidus*. Per quanto molte di queste specie non indigene siano ritenute di origine subtropicale o tropicale, bisogna mantenersi cauti nell'attribuirne sommariamente l'espansione al cambiamento climatico, sia in quanto spesso non è assodato il loro areale di origine, sia in quanto i complessi processi biogeografici che portano alla loro diffusione e stabilizzazione non sono ancora pienamente chiariti.

La comunità nectonica

L'ambiente lagunare veneziano presenta una varietà di habitat le cui caratteristiche dipendono non solo dal già citato gradiente salino, ma anche da fattori bio-fisico-chimici peculiari di piccole aree in ciascuno dei 4 sottobacini. La distanza dal mare e la presenza di praterie di fanerogame ben strutturate favoriscono la diversità e la biomassa delle specie nectoniche che abitano la laguna (Scapin *et al.* 2018a). La famiglia dei signatidi, in particolare, è rappresentativa della biodiversità e dell'abbondanza della fauna



Fig. 7 - *Nerophis ophidion* in prateria a *Zostera marina*
(credits to DVS Digital Video, nell'ambito di LIFE SeResto LIFE12 NAT/IT/000331)

nectonica, essendo presenti in Laguna di Venezia 9 delle 10 specie segnalate nel bacino Mediterraneo. Osservazioni spaziali in 8 anni di campionamento hanno permesso di individuare le forzanti che determinano la scelta dell'habitat da parte delle singole specie. Si è visto, infatti, che mentre i generi *Nerophis* e *Hippocampus* e la specie *Syngnathus typhle* tendono ad evitare gli habitat non a fanerogame, preferendo praterie ben strutturate dominate o da *Cymodocea nodosa* o da *Zostera marina*, *Syngnathus abaster* è meno specialista e può essere abbondante anche nelle aree a macroalghe (Scapin *et al.* 2018b). Le specie di signatidi, individuate come specialistiche delle praterie, sono considerate "specie bandiera" per *Cymodocea nodosa* e *Zostera marina* e possono essere usate come indicatori dello stato di conservazione e, grazie ad un approccio predittivo, possono fornire informazioni sull'efficacia di interventi di ripristino

ecologico. Confrontando, infatti, i popolamenti di praterie ben strutturate già presenti in alcune aree del bacino lagunare con le osservazioni fatte durante attività di trapianto di fanerogame, è possibile ipotizzare quale possa essere il trend di ricolonizzazione delle nuove formazioni, non solo per i signatidi ma anche per altre specie tipiche di questi habitat, come *Zosterisessor ophiocephalus* e *Salaria parv* (Scapin *et al.* 2016). Sono state, inoltre, rilevate le caratteristiche floristiche (specie dominante, lunghezza delle foglie, densità delle piante e dei rizomi, etc.) che determinano la selezione dell'habitat da parte dei signatidi e l'importanza delle strutture di transizione tra un habitat e l'altro (bordo della prateria, sua estensione, tipologia di habitat confinanti; Scapin *et al.* 2018a). L'eterogeneo mosaico di habitat che caratterizza la laguna è, infatti, un fattore determinante per la diversità e la biomassa della fauna nectonica e la compromissione delle strutture morfologiche e delle biocenosi strutturanti è la principale causa di rischio per le specie non commerciali (Scapin *et al.* 2018a).

Le pluriannuali osservazioni spaziali, che hanno permesso di definire i rapporti tra specie e habitat, hanno fornito anche le informazioni necessarie alla definizione di un indice di qualità ecologica (Bioindicatore degli habitat dei pesci – HFBI, Habitat Fish Bio- Indicator) ai fini della *Water Framework Directive* 2000/60/EC (WFD2060/CE), incluso nella Decisione della Commissione (UE) 2018/229 del 12 febbraio 2018 (Franco *et al.* 2009; Catalano *et al.* 2017).

Per quanto attiene all'analisi delle serie di dati di pesca, si osserva che, a fronte di una elevata vulnerabilità potenziale della comunità nectonica ai cambiamenti climatici, poche sono le catture di specie termofile in ambiente lagunare (Pranovi *et al.* 2013).

L'avifauna

Passando all'ambiente aereo, il complesso delle zone umide della Laguna di Venezia costituisce un'area di eccezionale valore per lo svernamento degli uccelli acquatici, con valori medi per il quinquennio 2014-2018 pari a 488.000 individui totali, con un picco raggiunto nel 2017 di quasi 600.000 uccelli. Sulla base dei dati disponibili, la Laguna di Venezia costituisce la più importante zona umida italiana (Bon e Scarton 2012). Nell'arco degli ultimi vent'anni si è osservato un eccezionale incremento nel numero di uccelli (da 100.000 a circa 500.000) ed un aumento, di minore intensità, ma comunque molto rilevante, nel numero di specie. È molto probabile che anche le zone umide lagunari siano interessate dalle modifiche dei quartieri di svernamento che sono state già dimostrate in altri comprensori umidi europei, dove si è verificato un sensibile incremento di uccelli acquatici che un tempo svernavano più a sud. Con tutta probabilità ciò è da mettere in relazione all'incremento della temperatura invernale che si è osservato su vasti settori dell'Europa centro-occidentale. Altre cause sono invece dovute a situazioni estremamente localizzate, quali la gestione venatoria all'interno del comprensorio vallivo.

Qui di seguito si elencano i principali progetti, nonché le attività di monitoraggio nell'ambito dell'applicazione di Direttive europee e nazionali, all'interno dei quali negli anni si sono inserite le ricerche LTER del sito Laguna di Venezia:

- Attività di monitoraggio previste nell'ambito della *Water Framework Directive* (Dir. 2000/60/CE),
- Progetto CE LIFE-WATERS (1997-1999) sulla qualità delle acque lagunari,
- Bn-B13 CORILA ossia attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari, per tutti gli elementi di qualità per la caratterizzazione degli habitat vicini e degli scambi,
- Programma di attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia (MELa), MAV-CVN, Rete SAMANET per parametri ambientali,
- Progetti LIFE Lagoon Refresh (LIFE16 NAT/IT/000663) e SeResto (LIFE12 NAT/IT/000331),
- Progetto RITMARE: collegamenti con i monitoraggi in essere del consorzio internazionale OSD,
- Programmi di Ricerca CORILA (2000-2004, 2004-2007, rispettivamente “Stima dei flussi d'acqua delle sostanze organiche e inorganiche, disciolte e particellate, e degli organismi planctonici

-
- attraverso le tre bocche di porto della Laguna di Venezia” e “Struttura, dinamica e caratteristiche funzionali delle comunità biologiche dominate da macrofite e da alghe planctoniche nella Laguna di Venezia”),
- Progetto IPA Adriatico BALMAS (2013-2016) “Ipa Adriatic Cbc Programme-Ballast Water Management For Adriatic Sea Protection Balmas”, SOLVE-RITMARE (2016-2017) “Il plancton della Laguna di Venezia a supporto della costruzione di modelli concettuali e dell'utilizzo di strumentazione automatica”.

Il mantenimento del sito attraverso progetti di ricerca o attività riconosciute in ambito nazionale risulta ormai imprescindibile per poter garantire la continuazione della raccolta di dati e, quindi, la formazione di serie temporali continue e congruenti (Pugnetti *et al.* 2013).

Divulgazione

Alcuni degli enti coinvolti nelle attività di ricerca nel sito (Museo di Storia Naturale di Venezia, CNR ISMAR, Università Ca' Foscari) da anni sono impegnati nell'erogazione, progettazione ed ideazione di strumenti didattici, formativi e divulgativi di alto livello, con interventi di varie tipologie, dai seminari ai laboratori progettuali e dimostrazioni pratiche, rivolti alla cittadinanza e soprattutto alle scuole di primo e secondo livello. Tali attività hanno permesso di veicolare risultati e messaggi in campo ambientale e relativi al sito Laguna di Venezia in modo immediato ed efficace, nonché partecipativo (<https://msn.visitmuve.it>; <http://www.ismar.cnr.it>; <https://www.unive.it>). Tra queste, si ricorda il Cammino LTER 2016 (Bergami *et al.* 2018; Armeli Minicante *et al.* 2018), evento itinerante di comunicazione informale della scienza con l'obiettivo di divulgare e dare ampia visibilità alle attività della rete LTER, coinvolgendo, a vari livelli, la società civile. L'attività è consistita in una serie di percorsi naturalistici che hanno visto la Laguna di Venezia come meta finale di arrivo.

Le attività di divulgazione al pubblico tecnico e alla cittadinanza sono state parte integrante del progetto LIFE SeResto (LIFE12 NAT/IT/000331), il cui obiettivo principale è stato il ripristino delle fanerogame acquatiche nel SIC IT3250031 – Laguna di Venezia Settentrionale. Nei 52 mesi di progetto dal 2014 al 2018, sono state organizzate 4 conferenze, 5 visite guidate, 1 lezione all'anno a studenti universitari e vari seminari nelle scuole secondarie superiori. Sono stati, inoltre, realizzati 7 video che illustrano le attività di progetto dedicate non solo al ripristino ma anche al monitoraggio dello stato ecologico del bacino settentrionale. Il progetto ha avuto particolare divulgazione nel territorio perché uno dei partner era l'associazione non-profit Laguna Venexiana ONLUS, che si occupa di promuovere attività di ripristino ambientale tra “fruitori”, soprattutto amatoriali, dell'habitat lagunare.

Prospettive future

Uno dei prossimi obiettivi del macrosito sarà l'aggiornamento dello stato trofico, della produzione primaria e della tassonomia delle macrofite, del fitoplancton, dello zooplancton e della macrofauna bentonica ed ittica che dal 2018 si inseriscono anche nell'ambito del Programma di ricerca quadriennale Venezia2021 che avrà lo scopo di fornire agli enti gestori gli strumenti conoscitivi per comprendere gli effetti a breve, lungo e medio termine dell'attività di regolazione delle maree, indirizzando ove opportuno e possibile le eventuali misure aggiuntive di mitigazione.

Al fine di contribuire ad una sempre più esaustiva conoscenza relativa alla biodiversità del macrosito, nonché ad un corretto e tempestivo monitoraggio ed inquadramento della problematica legata all'introduzione e la diffusione di specie aliene invasive, ma anche a una miglior conoscenza delle specie autoctone, si intensificherà l'uso di tecniche più avanzate di biologia molecolare, come il DNA-barcoding e -metabarcoding, da affiancare alle metodologie classiche di indagine tassonomica (Schroeder *et al.* 2020). Verranno inoltre introdotte tecniche di stima di parametri funzionali delle comunità planctoniche mirate all'identificazione di geni (e funzioni) la cui espressione cambia nelle differenti condizioni, andando quindi ad individuare eventuali cambiamenti nella composizione della comunità rispetto ai diversi impatti antropici e alle numerose forzanti ambientali. Inoltre, sono iniziati

studi su contaminanti quali le nanoparticelle d'argento, elemento un po' meno tossico del mercurio, ma molto di più degli altri metalli e molto diffuso in laguna, e le microplastiche nei sedimenti e nel biota e di altri contaminanti emergenti. Le centraline multiparametriche esistenti (SAMANet), unitamente a quelle posizionate per il Programma di ricerca Venezia2021, rappresentano un'opportunità per fornire un costante quadro delle caratteristiche delle acque lagunari.

Comunque, alla luce del parallelismo delle attività a lungo termine previste dalla WFD 2000/60/CE e svolte sul sito LTER stesso, si andrà verso una proposta di accorpamento delle stesse e di approfondimento maggiore di certi processi. Alcune stazioni appartenenti alla rete di monitoraggio ai sensi della WFD2000/60/CE (complessivamente circa un centinaio di stazioni), considerate rappresentative di specifici ambienti lagunari, potrebbero essere selezionate con lo scopo di eseguire studi ecologici più approfonditi supportando l'interpretazione dei dati raccolti durante le campagne periodiche.

Obiettivo comune del macrosito sarà la creazione di conoscenze scientifiche integrate ed aggiornate, utili per la gestione sostenibile dell'ecosistema laguna di Venezia nonché per fornire risposte ed indicazioni "basate sulla conoscenza" per i decisori politici e le nuove politiche di pianificazione di interventi nell'area.

Abstract

The study of the LTER research site Lagoon of Venice has always found large space in the Venetian Research Institutes. Ecology and structure of planktonic communities have been studied by the CNR-ISMAR of Venice since the end of the 1960s. Since 1980, macroalgae and marine phanerogams have been studied by the Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics of the Ca' Foscari University of Venice (DAIS-UNIVE), while the ecology and structure of the nektonic community and the effects on the ecosystem of exploitation of fishery resources have been studied since the beginning of the 90s, and the censuses of wintering aquatic avifauna have been carried out since the 1990s, in collaboration with Institute for Environmental Protection and Research (ISPRA) and the Metropolitan City of Venice. The long-term data of the site are: physical, chemical and hydrological data, biological data such as biomass, numerical abundance and taxonomy and primary production of macroalgae and aquatic angiosperms; numerical abundance and taxonomy of phytoplankton, zooplankton and benthonic communities and of nektonic communities with related analyzes of fishery production; and censuses of wintering aquatic avifauna, colonial breeding species and monitoring of introduced species.

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Acri F., Bernardi Aubry F., Berton A., Bianchi F., Boldrin A., Camatti E., Comaschi A., Rabitti S., Socal G. (2004). Plankton communities and nutrients in the Venice Lagoon. Comparison between current and old data. Special Issue of the Journal of Marine Systems devoted to "Lagoon of Venice. Circulation, Water Exchange and Ecosystem Functioning". *Journal of Marine Systems* 51: 321-329, DOI: 10.1016/j.jmarsys.2004.05.019.
- Anonymous (1959). Final resolution. The Venice System for the Classification of Marine Waters according to salinity. *Archivio de Oceanografia e Limnologia* 11(suppl): 243-45.
- Bernardi Aubry F., Pugnetti A., Roselli L., Stanca E., Acri F., Finotto S., Basset A. (2017). Phytoplankton morphological traits in a nutrient enriched, turbulent Mediterranean microtidal lagoon (Lagoon of Venice, Northern Adriatic Sea). *Journal of Plankton Research*, DOI: 10.1093/plankt/fbx008.
- Bernardi Aubry F., Acri F., Bianchi F., Pugnetti A. (2013). Looking for patterns in the phytoplankton community of the Mediterranean microtidal Venice Lagoon: evidence from ten years of observations. *Scientia Marina*, 77 (1): 47-60.
- Camatti E., Pansera M., Bergamasco A. (2019). The Copepod *Acartia tonsa* Dana in a Microtidal Mediterranean Lagoon: History of a Successful Invasion. *Water* 11. <https://doi.org/10.3390/w11061200>.
- Cucco A., Umgiesser G. (2006). Modeling the Venice Lagoon residence time. *Ecol. Modell.* 193, 34-51. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.043>.
- Facca C., Bernardi-Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A. (2013). Description of a multimetric phytoplankton Index (MPI) for the assessment of transitional waters. *Marine Pollution Bulletin*, vol. 79:145-15479. pp. 145-154 (ISSN 0025-326X). DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.025.
- Franco A., Torricelli P., Franzoi P. (2009). A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons, *Marine Pollution Bulletin* 58, 1704-1717, ISSN: 0025-326X.
- Ferrarin C., Ghezzo M., Umgiesser G., Tagliapietra D., Camatti E., Zaggia L., Sarretta A. (2013). Assessing hydrological effects of human interventions on coastal system: numerical applications to the Venice Lagoon. *Hydrology and Earth System Sciences* 17 (5): 1733-1748, DOI: 10.5194/hess-17-1733-2013.
- Hays G.C., Richardson A.J., Robinson C. (2005). Climate change and marine plankton. *Trends Ecol. Evol.*, 20: 337-344. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.03.004>.
- Kasyan V.V. (2010). Holoplankton of ship ballast water in the port of Vladivostok. *Russ.Mar. Biol.* 36 (3), 167-175.
- Keppel E., Sigovini M., Tagliapietra D. (2012). A new geographical record of *Polyclera hedgpethi* Er. Marcus, 1964 (Nudibranchia: Polyceridae) and evidence of its established presence in the Mediterranean Sea, with a review of its geographical distribution, *Marine Biology Research* 8 (10): 969-981. DOI: 10.1080/17451000.2012.706306.
- Lawrence D. and Cordell J. (2010). Relative contributions of domestic and foreign sourced ballast water to propagule pressure in Puget Sound, Washington, USA. *Biological Conservation* 143: 700-709.
- Malej A., Tirelli V., Lučić D., Paliaga P., Vodopivec M., Goruppi A., Ancona S., Benzi M., Bettoso N., Camatti E., Ercolelli M., Ferrari C.R., Shiganova T. (2017). *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: here to stay? *Journal of Sea Research*, ISSN: 1385-1101.

-
- Marchini A., Ferrario J., Sfriso A., Occhipinti-Ambrogi A. (2015). Current status and trends of biological invasions in the Lagoon of Venice, a hotspot of marine NIS introductions in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, 17: 2943-2962.
- Mozetić P., Cangini M., Francé J., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bužančić M., Cabrini M., Cerino F., Calić M., D'adamo R., Drakulović D., Finotto S., Fornasaro D., Grilli F., Kraus R., Kužat N., Marić Pfannkuchen D., Ninčević Gladan Z., Pompei M., Rotter A., Servadei I., Skejić S. (2017). Phytoplankton diversity in Adriatic ports: Lessons from the Port Baseline Survey for the management of harmful algal species. *Marine Pollution Bulletin*, algal species. Mar. Pollut. Bull., <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.029>.
- Ordóñez V., Pascual M., Fernández-Tejedor M., Pineda M.C., Tagliapietra D., Turon X. (2015). Ongoing expansion of the worldwide invader *Didemnum vexillum* (Ascidiacea) in the Mediterranean Sea: high plasticity of its biological cycle promotes establishment in warm waters, *Biological invasions* 17 (7), 2075-2085.
- Pansera M., Camatti E., Schroeder A., Zagami G., Bergamasco A. (2021). The non-indigenous Oithona davisae in a Mediterranean transitional environment: coexistence patterns with competing species. *Scientific Reports*, 11, 8341. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87662-5>.
- Pranovi F., Libralato S., Raicevich S., Granzotto A., Pastres R., Giovanardi O. (2003). Mechanical clam dredging in Venice Lagoon: effects on ecosystem stability evaluated with a trophic mass-balance model. *Marine Biology* 143: 393-403.
- Pranovi F., Da Ponte F., Raicevich S., Giovanardi O. (2004). A multidisciplinary study of the immediate effects of mechanical clam-harvesting in the Venice Lagoon. *ICES Journal of Marine Science*, 61: 43-52.
- Pranovi F., Caccin A., Franzoi P., Malavasi S., Zucchetta M., Torricelli P. (2013). Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice lagoon. *Journal of Fish Biology*, 83: 847-863. DOI: [10.1111/jfb.12124](https://doi.org/10.1111/jfb.12124).
- Pugnetti A., Acri F., Bernardi Aubry F., Camatti E., Cecere E., Facca C., Franzoi P., Keppel E., Lugliè A., Mistri M., Munari C., Padella B.M., Petrocelli A., Pranovi F., Pulina S., Satta C.T., Sechi N., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Torricelli P. (2013). The Italian Long-Term Ecosystem Research (LTER-Italy) network: results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems. *Transitional Waters Bulletin* 7 (1), 43-63.
- Sabia L., Zagami G., Mazzocchi M., Zambianchi E., Uttieri M. (2015). Spreading factors of a globally invading coastal copepod. *Mediterranean Marine Science*, 16(2), 460-471. DOI: <http://dx.doi.org/10.12681/mms.1154>.
- Scapin L., Zucchetta M., Facca C., Sfriso A., Franzoi P. (2016). Using fish assemblage to identify success criteria for seagrass habitat restoration, *Web Ecology* 16, 33-36, ISSN: 1399-1183.
- Scapin L., Zucchetta M., Sfriso A., Franzoi P. (2018). Local habitat and seascape structure influence seagrass fish assemblages in the Venice lagoon: the value of conservation at multiple spatial scales. *Estuaries and Coasts*, vol. in press available on-line, ISSN: 1559-2731.
- Scapin L., Cavraro F., Malavasi S., Riccato F., Zucchetta M., Franzoi P. (2018b). Linking pipefishes and seahorses to seagrass meadows in the Venice lagoon: Implications for conservation, *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 28, 282-295.
- Schroeder A., Stanković D., Pallavicini A., Gionechetti F., Pansera M., Camatti E. (2020). DNA metabarcoding and morphological analysis-Assessment of zooplankton biodiversity in transitional waters. *Marine Environmental Research* 104946. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104946>.
- Sfriso A., Facca C., Marcomini A. (2005). Sedimentation rates and erosion processes in the lagoon of Venice. *Environment International*, 31(7), 983-992.
- Sfriso A., Facca C., Ghetti P.F. (2007). Rapid Quality Index (R-MaQI), based mainly on macrophyte associations, to assess the ecological status of Mediterranean transitional environments. *Chemistry and Ecology*, 23 (6), 1-11.

-
- Sfriso A., Facca C. (2007). Distribution and production of macrophytes in the lagoon of Venice. Comparison of actual and past abundance. *Hydrobiologia*, 577: 71-85.
- Sfriso A., Curiel D. (2007). Check-list of marine seaweeds recorded in the last 20 years in Venice lagoon and a comparison with the previous records. *Botanica Marina*, 50, 22-58.
- Sfriso A., Facca C., Ghetti P.F. (2009). Validation of the Macrophyte Quality Index (MaQI) set up to assess the ecological status of Italian marine transitional environments. *Hydrobiologia*, 617: 117-141.
- Sfriso A., Marchini A. (2014). Updating of non-indigenous macroalgae in the Italian Coasts. New introductions and cryptic species. *Biologia Marina Mediterranea*, 21 (1), 60-69.
- Sfriso A., Facca C., Bonometto A., Boscolo R. (2014). Compliance of the Macrophyte Quality index (MaQI) with the WFD (2000/60/EC) and ecological status assessment in transitional areas: The Venice lagoon as study case. *Ecological Indicators*, 46, 536-547.
- Sfriso A.A., Sfriso A. (2017). In situ biomass production of Gracilariaeae and *Ulva rigida*: The Venice Lagoon as study case. *Botanica Marina*, Special Issue Phycomorph, 60 (3), 271-283.
- Sfriso A., Buosi A., Mistri M., Munari C., Franzoi P., Sfriso A.A. (2019). Long-term changes of the trophic status in transitional ecosystems of the northern Adriatic Sea, key parameters and future expectations: The lagoon of Venice as a study case. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation*, 34, 193-215.
- Tagliapietra D., Sigovini M., Volpi Ghirardini A. (2009). A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. *Mar. Freshw. Res.* 497-509.
- Tagliapietra D., Keppel E., Sigovini M., Lambert G. (2012). First record of the colonial ascidian *Didemnum vexillum* Kott, 2002 in the Mediterranean: Lagoon of Venice (Italy). *BioInvasions Rec.* 1, 247-254. <https://doi.org/10.3391/bir.2012.1.4.02>.
- Tagliapietra D., Sigovini M., Magni P. (2012). Saprobity: A unified view of benthic succession models for coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 686: 15-28.
- Tagliapietra D., Pessa G., Cornello M., Zitelli A., Magni P. (2016). Temporal distribution of intertidal macrozoobenthic assemblages in a *Nanozostera noltii*-dominated area (Lagoon of Venice) *Marine Environmental Research* 114, 31-39.
- Vidjak O., Bojanic N., de Olazabal A., Benzi M., Brautovic I., Camatti E., Hure M., Lipej L., Lucic D., Pansera M., Pećarević M., Pestorović B., Pigozzi S., Tirelli V. (2018). Zooplankton in Adriatic port environments: Indigenous communities and non-indigenous species. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.055>.
- Zirino A., Elwany H., Neira C., Maicu F., Mendoza G., Levin L.A. (2015). Salinity and its variability in the Lagoon of Venice, 2000-2009. *Adv. Oceanogr. Limnol.* 5, 41. <https://doi.org/10.4081/aiol.2014.5350>.

Riviste NON ISI

- Bastianini M., Bernardi Aubry F., Acri F., Braga F., Facca C., Sfriso A., Finotto S. (2014). The Redentore fish die-off in the lagoon of Venice: an integrated view. *Riunione Scientifica Annuale Gruppo di Algologia – Società Botanica Italiana*, p. 35 libro degli abstract.
- Camatti E., Acri F., Bianchi F., Comaschi A. (2001). Variazioni pluriannuali nelle abbondanze del copepode *Acartia margalefi* Alcaraz in laguna di Venezia (1971-1999). *Biol. Mar. Medit.*, 8 (1): 523-528.
- Caniglia G., Borella S., Curiel D., Nascimbeni P., Paloschi F., Rismondo A., Scarton F., Tagliapietra D., Zanella L. (1990). Cartografia della distribuzione delle fanerogame marine nella laguna di Venezia. *Giornale Botanico Italiano*, 124(1), 212.

-
- Comaschi A., Acri F., Bianchi F., Bressan M., Camatti E. (2000). Temporal changes of species belonging to *Acartia* genus (Copepoda: Calanoida) in the northern basin of the Venice lagoon. *Boll. Mus. civ. Stor. nat. Venezia*, 50 (1999) 2000: 189-193.
- Giordani-Soika A., Perin G. (1974). L'inquinamento della laguna di Venezia: Studio delle modificazioni chimiche e del popolamento sottobasale dei sedimenti lagunari negli ultimi vent'anni. *Bollettino Museo Civico di Storia Naturale di Venezia*, 26(1), 25-68.
- Sfriso A., Buosi B., Wolf M.A., Sfriso A.A. (2018). Spreading of alien macroalgae in the Venice lagoon, the Italian hot-spot of non-indigenous species: biodiversity and Standig crop. *Biologia Marina Mediterranea*, 25 (1), 134-136.
- Tagliapietra D., Keppel E., Pessa G., Rismondo A., Sigovini M. (2010). Changes in benthic macroinvertebrate community in the Venetian Lagoon (Italy), *Rapp. Comm., int. Mer Médit.*, 39: 673.
- Tagliapietra D., Zanon V., Frangipane G. (2006). Zonazione abiotica e biodiversità bentonica in una laguna costiera, *Biologia Marina Mediterranea* (ISSN: 1123-4245) 13(2): 102-103.
- Tagliapietra D., Zanon V., Frangipane G., Umgieser G., Sigovini M. (2011). Physiographic zoning of the Venetian Lagoon., Scientific research and safeguarding of Venice, 2007-2010 Results. CORILA, Venice, 7:161-164.

Libri o capitoli di libro

- Bon M., Scarton F. (a cura di) (2012). Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia, pp. 198.
- Camatti E., Comaschi A., Socal G. (2006). Ciclo annuale del mesozooplancton. In (Guerzoni, S. Tagliapietra, D. eds.) *Atlante della laguna. Venezia tra terra e mare*. Marsilio Editori Venezia. 78-79.
- Pérès J.M., Picard J. (1964). Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station d'Endoume, 31 (47): 1-137.
- Solidoro C., Bandelj V., Cossarini G., Libralato S., Melaku Canu D., Aubry Bernardi F., Camatti E., Socal G., Tagliapietra D., Ciavatta S., Facca C., Pastres R., Sfriso A., Franzoi P., Pranovi F., Torricelli P., Raicevich S., Sigovini M. (2010). Response of Venice Lagoon Ecosystem to Natural and anthropogenic Pressures over the Last 50 Years, in 'Coastal Lagoons: Systems of Natural and Anthropogenic Change', edited by Hans Paerl and Mike Kennish, Marine Science Book Series, CRC press, Taylor and Francis UK. ISBN: 978-1-4200883-0-4.
- Tagliapietra D., Anelli Monti M., Checchin E., Curiel D., Miotti C., Pranovi F., Sigovini M. (2017). La comunità bentonica: breve storia alle bocche di porto, Benthic community at the Venice lagoon inlets: a brief history, in: Campostrini P., Dabalà C., Del Negro P., Tosi L. (editors), Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia, pp. 477. ISBN: 9788889405321 <http://www.monitoraggio.corila.it/documenti.html>, 353-374.

Report

- Catalano B., Penna M., Riccato F., Fiorin R., Franceschini G., Antonini C., Zucchetta M., Cicero A.M., Franzoi P. (2017). Manuale per la classificazione dell'Elemento di Qualità Biologica "Fauna Ittica" nelle lagune costiere italiane – Applicazione dell'indice nazionale HFBI (Habitat Fish Bio-Indicator) ai sensi del D.Lgs 152/2006. ISPRA, Manuali e Linee Guida, vol. 168/2017.
- Cossu A., De Fraja-Frangipane E. (1985). Stato delle conoscenze sullo inquinamento della laguna di Venezia – Progetto Venezia, Ministero dei Lavori Pubblici, Magistrato alle Acque, Consorzio Venezia Nuova, Venezia, 4 vol. I.
- European Commission (2013). Commission Decision of 20 September 2013 establishing, pursuant to Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council, the values of the Member

State monitoring system classifications as a result of the intercalibration exercise and repealing Decision 2008/915/EC (notified under document C (2013) 5915), pp. 47.

Facca C., Bernardi Aubry F., Giovanardi F., Ponis E. (2018). Multimetric Phytoplankton Index (MPI) per la valutazione dello stato ecologico dei sistemi di transizione dell'ecoregione Mediterranealinee. Guida implementazione della direttiva 2000/60/CE; linee guida per l'applicazione del Multimetric Phytoplankton Index (MPI) <http://www.sintai.isprambiente.it/>.

Magistrato alle Acque di Venezia – CORILA (2010-17). Studio B.6.72 B/5-12 - Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Macrozoobenthos. I Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova (Reports annuali dal 2010 al 2017).

Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Buosi A., Campolin M., Checchin E., Curiel D., Dabalà C., Dall'Angelo C., Dametto L., Dri C., Facca C., Fiorin R., Franzoi P., Keppel E., Miotti C., Riccato F., Scapin L., Sfriso A., Sfriso A., Sigovini M., Stocco M., Tagliapietra D., Zucchetta M. (2012). Piano di monitoraggio dei corpi idrici della laguna di Venezia finalizzato alla definizione dello stato ecologico, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE. CORILA – ARPAV. Relazione finale. pp. 118.

Armeli Minicante S., Buosi A., Cavraro F., Checchin E., Curiel D., Facca C., Fiorin R., Franzoi P., Miotti C., Riccato F., Scapin L., Sfriso A., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Zucchetta M. (2015). Piano di monitoraggio della laguna di Venezia ai sensi della Direttiva 2000/60/CE finalizzato alla definizione dello stato ecologico (D.Lgs. N. 152/2006 s.m.i.). II Ciclo di Monitoraggio, periodo 2013 – 2015. CORILA – ARPAV. Rapporto tecnico finale, pp. 158.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

Bernardi Aubry F., Pugnetti A., Roselli L., Stanca E., Acri F., Finotto S., Basset A. (2017). Phytoplankton morphological traits in a nutrient enriched, turbulent Mediterranean microtidal lagoon (Lagoon of Venice, Northern Adriatic Sea). Journal of Plankton Research, DOI: 10.1093/plankt/fbx008.

Bernardi Aubry F., Acri F., Bianchi F., Pugnetti A. (2013). Looking for patterns in the phytoplankton community of the Mediterranean microtidal Venice Lagoon: evidence from ten years of observations. Scientia Marina, 77 (1): 47-60.

Camatti E., Pansera M., Bergamasco A. (2019). The Copepod *Acartia tonsa* Dana in a Microtidal Mediterranean Lagoon: History of a Successful Invasion. Water 11. <https://doi.org/10.3390/w11061200>.

Facca C., Bernardi-Aubry F., Socal G., Ponis E., Acri F., Bianchi F., Giovanardi F., Sfriso A. (2013). Description of a multimetric phytoplankton Index (MPI) for the assessment of transitional waters. Marine Pollution Bulletin, vol. 79:145-15479, pp. 145-154 (ISSN 0025-326X), DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.025.

Franco A., Torricelli P., Franzoi P. (2009). A habitat-specific fish-based approach to assess the ecological status of Mediterranean coastal lagoons, Marine Pollution Bulletin 58, 1704-1717, ISSN: 0025-326X.

Ferrarin C., Ghezzo M., Umgieser G., Tagliapietra D., Camatti E., Zaggia L., Sarretta A. (2013). Assessing hydrological effects of human interventions on coastal system: numerical applications to the Venice Lagoon. Hydrology and Earth System Sciences 17 (5): 1733-1748, DOI: 10.5194/hess-17-1733-2013.

Keppel E., Sigovini M., Tagliapietra D. (2012). A new geographical record of *Polydora hedgpethi* Er. Marcus, 1964 (Nudibranchia: Polyceridae) and evidence of its established presence in the Mediterranean Sea, with a review of its geographical distribution, Marine Biology Research 8 (10): 969-981, DOI: 10.1080/17451000.2012.706306.

-
- Malej A., Tirelli V., Lučić D., Paliaga P., Vodopivec M., Goruppi A., Ancona S., Benzi M., Bettoso N., Camatti E., Ercolessi M., Ferrari C.R., Shiganova T. (2017). *Mnemiopsis leidyi* in the northern Adriatic: here to stay? Journal of Sea Research, ISSN: 1385-1101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2017.04.010>.
- Marchini A., Ferrario J., Sfriso A., Occhipinti-Ambrogi A. (2015). Current status and trends of biological invasions in the Lagoon of Venice, a hotspot of marine NIS introductions in the Mediterranean Sea. Biological Invasions, 17: 2943-2962.
- Mozetić P., Cangini M., Francé J., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Bužančić M., Cabrini M., Cerino F., Calić M., D'adamo R., Drakulović D., Finotto S., Fornasaro D., Grilli F., Kraus R., Kužat N., Marić Pfannkuchen D., Ninčević Gladan Z., Pompei M., Rotter A., Servadei I., Skejić S. (2017). Phytoplankton diversity in Adriatic ports: Lessons from the Port Baseline Survey for the management of harmful algal species. Marine Pollution Bulletin, algal species. Mar. Pollut. Bull., <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.12.029>.
- Ordóñez V., Pascual M., Fernández-Tejedor M., Pineda M.C., Tagliapietra D., Turon X. (2015). Ongoing expansion of the worldwide invader *Didemnum vexillum* (Asciidae) in the Mediterranean Sea: high plasticity of its biological cycle promotes establishment in warm waters, Biological invasions 17 (7), 2075-2085.
- Pranovi F., Caccin A., Franzoi P., Malavasi S., Zucchetta M., Torricelli P. (2013). Vulnerability of artisanal fisheries to climate change in the Venice lagoon. *Journal of Fish Biology*, 83: 847-863. DOI: 10.1111/jfb.12124.
- Pugnetti A., Acri F., Bernardi Aubry F., Camatti E., Cecere E., Facca C., Franzoi P., Keppel E., Lugliè A., Mistri M., Munari C., Padedda B.M., Petrocelli A., Pranovi F., Pulina S., Satta C.T., Sechi N., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Torricelli P. (2013). The Italian Long-Term Ecosystem Research (LTER-Italy) network: results, opportunities, and challenges for coastal transitional ecosystems. *Transitional Waters Bulletin* 7 (1), 43-63.
- Sabia L., Zagami G., Mazzocchi M., Zambianchi E., Uttieri M. (2015). Spreading factors of a globally invading coastal copepod. *Mediterranean Marine Science*, 16(2), 460-471. DOI: <http://dx.doi.org/10.12681/mms.1154>.
- Scapin L., Zucchetta M., Facca C., Sfriso A., Franzoi P. (2016). Using fish assemblage to identify success criteria for seagrass habitat restoration, *Web Ecology* 16, 33-36, ISSN: 1399-1183.
- Scapin L., Zucchetta M., Sfriso A., Franzoi P. (2018). Local habitat and seascape structure influence seagrass fish assemblages in the Venice lagoon: the value of conservation at multiple spatial scales. *Estuaries and Coasts*, vol. in press available on-line, ISSN: 1559-2731.
- Scapin L., Cavraro F., Malavasi S., Riccato F., Zucchetta M., Franzoi P. (2018b). Linking pipefishes and seahorses to seagrass meadows in the Venice lagoon: Implications for conservation, *Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems* 28, 282-295.
- Sfriso A., Facca C., Ghetti P.F. (2007). Rapid Quality Index (R-MaQI), based mainly on macrophyte associations, to assess the ecological status of Mediterranean transitional environments. *Chemistry and Ecology*, 23 (6), 1-11.
- Sfriso A., Facca C. (2007). Distribution and production of macrophytes in the lagoon of Venice. Comparison of actual and past abundance. *Hydrobiologia*, 577: 71-85.
- Sfriso A., Curiel D. (2007). Check-list of marine seaweeds recorded in the last 20 years in Venice lagoon and a comparison with the previous records. *Botanica Marina*, 50, 22-58.
- Sfriso A., Facca C., Ghetti P.F. (2009). Validation of the Macrophyte Quality Index (MaQI) set up to assess the ecological status of Italian marine transitional environments. *Hydrobiologia*, 617: 117-141.
- Sfriso A., Marchini A. (2014). Updating of non-indigenous macroalgae in the Italian Coasts. New introductions and cryptic species. *Biologia Marina Mediterranea*, 21 (1), 60-69.

-
- Sfriso A., Facca C., Bonometto A., Boscolo R. (2014). Compliance of the Macrophyte Quality index (MaQI) with the WFD (2000/60/EC) and ecological status assessment in transitional areas: The Venice lagoon as study case. *Ecological Indicators*, 46, 536-547.
- Sfriso A.A., Sfriso A. (2017). In situ biomass production of Gracilariaeae and *Ulva rigida*: The Venice Lagoon as study case. *Botanica Marina, Special Issue Phycomorph*, 60 (3), 271-283.
- Sfriso A., Buosi A., Mistri M., Munari C., Franzoi P., Sfriso A.A. (2019). Long-term changes of the trophic status in transitional ecosystems of the northern Adriatic Sea, key parameters and future expectations: The lagoon of Venice as a study case. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation*, 34, 193-215.
- Tagliapietra D., Sigovini M., Volpi Ghirardini A. (2009). A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. *Mar. Freshw. Res.* 497-509.
- Tagliapietra D., Keppel E., Sigovini M., Lambert G. (2012). First record of the colonial ascidian *Didemnum vexillum* Kott, 2002 in the Mediterranean: Lagoon of Venice (Italy). *BioInvasions Rec.* 1, 247-254. <https://doi.org/10.3391/bir.2012.1.4.02>.
- Tagliapietra D., Sigovini M., Magni P. (2012). Saprobitity: A unified view of benthic succession models for coastal lagoons. *Hydrobiologia*, 686: 15-28.
- Tagliapietra D., Pessa G., Cornello M., Zitelli A., Magni P. (2016). Temporal distribution of intertidal macrozoobenthic assemblages in a *Nanozostera noltii*-dominated area (Lagoon of Venice) *Marine Environmental Research* 114, 31-39.
- Vidjak O., Bojanić N., de Olazabal A., Benzi M., Brautović I., Camatti E., Hure M., Lipej L., Lučić D., Pansera M., Pećarević M., Pestorić B., Pigozzi S., Tirelli V. (2018). Zooplankton in Adriatic port environments: Indigenous communities and non-indigenous species. *Mar. Pollut. Bull.* <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.055>.
- Zirino A., Elwany H., Neira C., Maicu F., Mendoza G., Levin L.A. (2015). Salinity and its variability in the Lagoon of Venice, 2000-2009. *Adv. Oceanogr. Limnol.* 5, 41. <https://doi.org/10.4081/aiol.2014.5350>.

Riviste NON ISI

- Bastianini M., Bernardi Aubry F., Acri F., Braga F., Facca C., Sfriso A., Finotto S. (2014). The Redentore fish die-off in the lagoon of Venice: an integrated view. *Riunione Scientifica Annuale Gruppo di Algologia – Società Botanica Italiana*, p. 35 libro degli abstract.
- Sfriso A., Buosi B., Wolf M.A., Sfriso A.A. (2018). Spreading of alien macroalgae in the Venice lagoon, the Italian hot-spot of non-indigenous species: biodiversity and Standig crop. *Biologia Marina Mediterranea*, 25 (1), 134-136.
- Tagliapietra D., Keppel E., Pessa G., Rismondo A., Sigovini M. (2010). Changes in benthic macroinvertebrate community in the Venetian Lagoon (Italy), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 39: 673.
- Tagliapietra D., Zanon V., Frangipane G., Umgiesser G., Sigovini M. (2011). Physiographic zoning of the Venetian Lagoon., Scientific research and safeguarding of Venice, 2007-2010 Results. CORILA, Venice, 7:161-164.

Libri o capitoli di libro

- Bon M., Scarton F. (a cura di) (2012). Lo svernamento degli uccelli acquatici in provincia di Venezia (1993-2012). Provincia di Venezia, pp. 198.
- Solidoro C., Bandelj V., Cossarini G., Libralato S., Melaku Canu D., Aubry Bernardi F., Camatti E., Soccal G., Tagliapietra D., Ciavatta S., Facca C., Pastres R., Sfriso A., Franzoi P., Pranovi F.,

Torricelli P., Raicevich S., Sigovini M. (2010). Response of Venice Lagoon Ecosystem to Natural and anthropogenic Pressures over the Last 50 Years, in ‘Coastal Lagoons: Systems of Natural and Anthropogenic Change’, edited by Hans Paerl and Mike Kennish, Marine Science Book Series, CRC press, Taylor and Francis UK. ISBN: 978-1-4200883-0-4.

Tagliapietra D., Anelli Monti M., Checchin E., Curiel D., Miotti C., Pranovi F., Sigovini M. (2017). La comunità bentonica: breve storia alle bocche di porto, Benthic community at the Venice lagoon inlets: a brief history, in: Campostrini P., Dabalà C., Del Negro P., Tosi L. (editors), Il controllo ambientale della costruzione del MOSE. 10 anni di monitoraggi tra mare e laguna di Venezia, 477 pp. ISBN 9788889405321 <http://www.monitoraggio.corila.it/documenti.html>, pp. 353-374.

Report

Catalano B., Penna M., Riccato F., Fiorin R., Franceschini G., Antonini C., Zucchetta M., Cicero A.M., Franzoi P. (2017). Manuale per la classificazione dell’Elemento di Qualità Biologica “Fauna Ittica” nelle lagune costiere italiane – Applicazione dell’indice nazionale HFBI (Habitat Fish Bio-Indicator) ai sensi del D.Lgs 152/2006. ISPRA, Manuali e Linee Guida, vol. 168/2017.

Facca C., Bernardi Aubry F., Giovanardi F., Ponis E. (2018). Multimetric Phytoplankton Index (MPI) per la valutazione dello stato ecologico dei sistemi di transizione dell’ecoregione Mediterranealinee. Guida implementazione della direttiva 2000/60/CE; linee guida per l’applicazione del Multimetric Phytoplankton Index (MPI), <http://www.sintai.isprambiente.it/>.

Magistrato alle Acque di Venezia – CORILA (2010-17). Studio B.6.72 B/5-12 – Attività di rilevamento per il monitoraggio degli effetti prodotti dalla costruzione delle opere alle bocche lagunari. Macroattività: Macrozoobenthos. I Rapporto di Valutazione. Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova (Reports annuali dal 2010 al 2017).

Acri F., Bastianini M., Bernardi Aubry F., Buosi A., Campolin M., Checchin E., Curiel D., Dabalà C., Dall’Angelo C., Dametto L., Dri C., Facca C., Fiorin R., Franzoi P., Keppel E., Miotti C., Riccato F., Scapin L., Sfriso A., Sfriso A., Sigovini M., Stocco M., Tagliapietra D., Zucchetta M. (2012). Piano di monitoraggio dei corpi idrici della laguna di Venezia finalizzato alla definizione dello stato ecologico, ai sensi della Direttiva 2000/60/CE. CORILA – ARPAV. Relazione finale, pp. 118.

Armeli Minicante S., Buosi A., Cavraro F., Checchin E., Curiel D., Facca C., Fiorin R., Franzoi P., Miotti C., Riccato F., Scapin L., Sfriso A., Sfriso A., Sigovini M., Tagliapietra D., Zucchetta M. (2015). Piano di monitoraggio della laguna di Venezia ai sensi della Direttiva 2000/60/CE finalizzato alla definizione dello stato ecologico (D.Lgs. N. 152/2006 s.m.i.). II Ciclo di Monitoraggio, periodo 2013 – 2015. CORILA – ARPAV. Rapporto tecnico finale, pp. 158.

IT17-M STAZIONI DI RICERCA IN ANTARTIDE

Autori

Mariangela Ravaioli¹, Pierpaolo Falco^{2,11}, Paolo Povero³, Giorgio Budillon², Giancarlo Spezie², Stefano Aliani⁴, Filippo Azzaro⁵, Maurizio Azzaro⁵, Giorgio Bavestrello³, Caterina Bergami¹, Francesco Bolinesi⁶, Laura Canesi³, Marco Capello³, Lucilla Capotondi¹, Pasquale Castagno², Michela Castellano³, Giulio Catalano⁷, Riccardo Cattaneo Vietti³, Mariachiara Chiantore³, Francesca Chiarini¹, Stefano Cozzi⁷, Arturo De Alteris², Massimo De Stefano², Robert Dunbar⁸, Giannetta Fusco², Andrea Gallerani¹, Federico Giglio⁹, Patrizia Giordano⁹, Federica Grilli¹⁰, Rosabruna La Ferla⁵, Leonardo Langone⁹, Giovanna Maimone⁵, Olga Mangoni⁶, Francesco Massa³, Cristina Misic³, Enrico Olivari³, Elio Paschini¹⁰, Pierluigi Penna¹⁰, Aniello Russo^{10,11}, Vincenzo Saggiomo¹², Maria Saggiomo¹², Francesca Sangiorgi¹³, Stefano Schiaparelli¹⁴, Giovanni Zambardino²

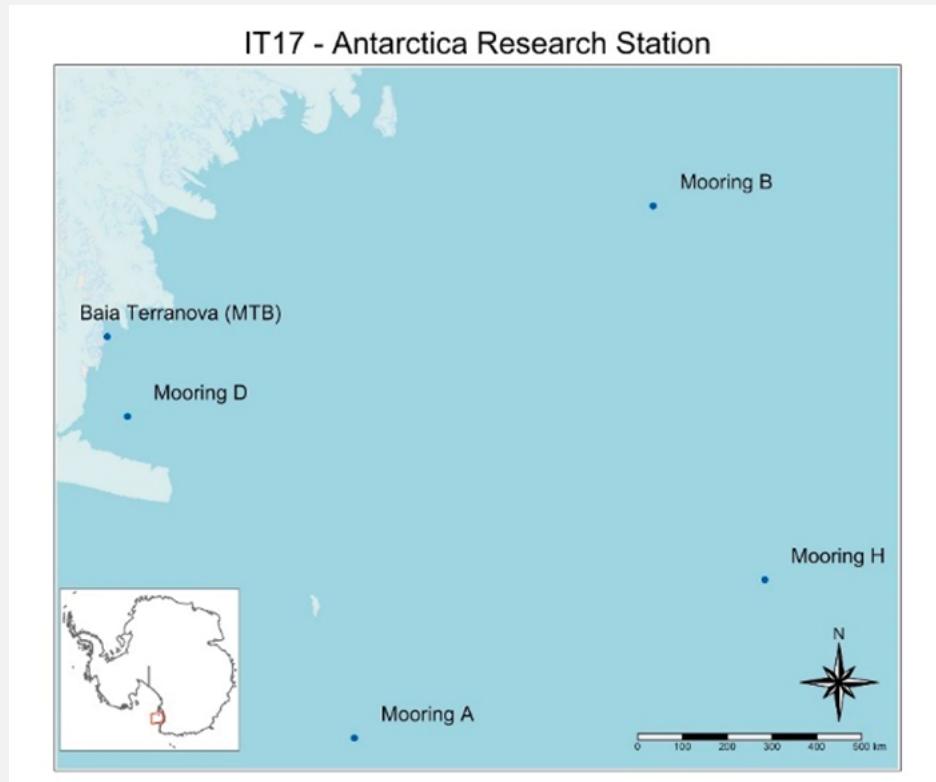
Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.
- ² Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Via Porzio 4, 80143 Napoli, Italia.
- ³ Università di Genova, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Corso Europa 26, 16132 Genova, Italia.
- ⁴ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Santa Teresa, 19032 Pozzuolo di Lerici, La Spezia, Italia.
- ⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Raineri 86, 98122 Messina, Italia.
- ⁶ Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Biologia, Via Mezzocannone 8, 80134 Napoli, Italia.
- ⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Area Science Park Basovizza, Edificio Q2, Strada Statale 14, km 163.5, 34149 Trieste, Italia.
- ⁸ Stanford University, Stanford, Environmental Earth System Science, California 94306, USA.
- ⁹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.
- ¹⁰ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (IRBIM), Largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona, Italia.
- ¹¹ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.
- ¹² Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, Villa Comunale, 80121 Napoli, Italia.
- ¹³ Utrecht University, Biomarine Sciences, Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, The Netherlands.
- ¹⁴ Museo Nazionale dell'Antartide, sezione di Genova, Viale Benedetto XV 5, 16132 Genova, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/a0df48f6-bd2b-42b2-919a-77cb41220440>

Referente Macrosito: Mariangela Ravaioli

Citare questo capitolo come segue: Ravaioli M., Falco P., Povero P. *et al.* (2021). IT17-M Stazioni di ricerca in Antartide, p. 555-588. DOI: 10.5281/zenodo.5584763. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.



Siti di ricerca:

- Mooring A, Southwestern Ross Sea, Ross Island, IT17-001-M
- Mooring B, North Central Ross Sea, Joides Basin – Antarctica, IT17-002-M
- Mooring D, Western Ross Sea, Terra Nova Bay Polynya, IT17-003-M
- Mooring H, Central Ross Sea, IT17-004-M
- Baia Terra Nova (MOA-BTN), IT17-005-M

Tipologia di ecosistema: marino/acque di transizione

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

L'Antartide è un continente con caratteristiche peculiari, infatti circa il 98% dell'area è coperto dai ghiacci della calotta antartica, con uno spessore medio di circa 1600 metri, che rendono questo continente il più freddo e inospitale del Pianeta. L'Antartide riveste un ruolo fondamentale nella regolazione del clima in quanto l'oceano che lo circonda è il motore della circolazione oceanica terrestre, che trasporta e ridistribuisce calore, nutrienti ed ossigeno nell'intero pianeta, interagendo anche sulla circolazione atmosferica e sulla fusione e formazione dei ghiacci.

Il macrosito Stazioni di Ricerca in Antartide fa parte della Rete LTER-Italia fin dalla sua costituzione nel 2006, ma il Mare di Ross e l'area costiera di Baia Terra Nova sono siti di ricerca su tematiche assai diversificate e condotte da Università e da Enti di Ricerca sia italiani che internazionali, sin dai primi anni Novanta. L'area che costituisce il macrosito si distingue da altre aree costiere della Terra Vittoria per l'elevata produzione primaria e abbondanza della comunità zooplanktonica e per la notevole ricchezza specifica delle comunità bentoniche. Il principale obiettivo degli studi in quest'area è l'acquisizione di serie storiche a lungo termine sulla comunità biotica nella zona di piattaforma del Mare di Ross e sulle relazioni con i flussi bio-geochimici e le caratteristiche chimico-fisiche della colonna d'acqua. Questi dati, molti dei quali sono stati raccolti grazie a catene strumentate (mooring) e durante campagne oceanografiche, sono fondamentali per migliorare i modelli biogeochimici esistenti e per fornire indicazioni sempre più precise sulle variazioni dell'ecosistema marino antartico in relazione ai cambiamenti climatici globali.

Il macrosito IT17-Stazioni di Ricerca in Antartide è costituito da quattro siti di ricerca, ognuno caratterizzato dalla presenza di un mooring (mooring A, B, D e H) e dal sito di ricerca di Baia Terra Nova.

I mooring presenti nei siti sono dotati sia di strumentazione oceanografica per misurare le caratteristiche fisico-chimiche delle masse d'acqua, sia di trappole di sedimento per lo studio del flusso di particolato in caduta verso il fondo del mare. Ciascun mooring è dotato di strumentazione posizionata su due livelli: uno vicino alla superficie per investigare i processi che avvengono nella zona fotica e uno in prossimità del fondale. La posizione degli ancoraggi è stata scelta a seconda degli specifici processi oggetto di indagine:

i mooring A e B hanno lo scopo principale di studiare il particolato marino di matrice silicea e non (costituito principalmente da resti di diatomee e *Phaeocystis antarctica*) e, più in generale, l'ecologia del plancton e sono stati infatti collocati in un'area di massima produzione primaria.

i mooring D ed H sono stati pensati per lo studio dei processi di formazione (in aree specifiche) e di trasporto delle masse d'acqua dal Mare di Ross verso l'Oceano Meridionale, con effetti importanti sulla circolazione oceanica globale.

Nel sito di ricerca di Baia Terra Nova le indagini sono principalmente rivolte all'evoluzione della struttura e della dinamica del comparto pelagico e bentonico in relazione alla copertura del ghiaccio marino. Nel sito vengono effettuati sia campionamenti di acqua che di sedimento al fine di studiare sia le variabili fisiche e chimiche sia le caratteristiche delle comunità planctoniche, bentoniche e ittiche.

Nel macrosito, nel corso degli anni e nell'ambito di numerosi progetti finanziati dal Programma Nazionale di Ricerca in Antartide (PNRA), sono stati prelevati più di 150 campioni di sedimento (carote, box core e bennate) sia nella zona di piattaforma continentale del Mare di Ross sia nella piana abissale tra la Nuova Zelanda e l'Antartide.

L'enorme quantità di dati fisici, chimici e biologici provenienti dagli ancoraggi e dal sito di ricerca di Baia Terra Nova costituisce un dataset molto prezioso che ha permesso, e permetterà anche in futuro, di comprendere i cambiamenti climatici nell'area del Mare di Ross.

Abstract

The Antarctic continent plays a fundamental role in the global climate system and its role is particularly important in a climate change scenario. Since the '90s, the Ross Sea and the coastal area of Terra Nova Bay have been chosen as specific and peculiar research sites for climatic investigations within the LTER (Long-Term Ecological Research) network. Studies have been conducted by both Italian and international Universities and research centres.

This macro-site area is characterized by abundant primary productivity, and zooplankton and benthonic communities. The objective of the research activities is the acquisition of long-term time series related to the biotic communities, the bio-geochemical fluxes and the physico-chemical parameters of the water column in the Ross Sea area. To this aim, four Moorings (A, B, D and H) were deployed to obtain the above-mentioned data, which will be very useful to improve the quality of the existing bio-geochemical models and to provide more precise information on the Antarctic marine ecosystem in relation to global climate change. In the Terra Nova Bay research site, the activities are devoted to the characterization of the relationship between the structure and the dynamic of the pelagic and benthonic communities and the ice cover.

Numerous physical, chemical and biological data were collected from the four Moorings, the water samples retrieved at the Terra Nova Bay site and the sediments samples. Such fundamental data allowed establishing an important starting point to better understand the climate change phenomena occurred in the last twenty years, and that will occur in the future, in the Ross Sea Area.

Mooring A: Southwestern Ross Sea, Ross Island

Autori

Mariangela Ravaoli¹, Stefano Aliani², Maurizio Azzaro³, Filippo Azzaro³, Caterina Bergami¹, Giorgio Budillon⁴, Lucilla Capotondi¹, Giulio Catalano⁵, Francesca Chiarini¹, Stefano Cozzi⁵, Robert Dunbar⁶, Pierpaolo Falco^{4,9}, Federico Giglio⁷, Patrizia Giordano⁷, Federica Grilli⁸, Rosabruna La Ferla³, Leonardo Langone⁷, Giovanna Maimone³, Elio Paschini⁸, Pierluigi Penna⁸, Aniello Russo^{9,8}, Francesca Sangiorgi¹⁰.

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.

² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Santa Teresa, 19032 Pozzuolo di Lerici, La Spezia, Italia.

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Raineri 86, 98122 Messina, Italia.

⁴ Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Via Porzio 4, 80143 Napoli, Italia.

⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Area Science Park Basovizza, Edificio Q2, Strada Statale 14, km 163,5, 34149 Trieste, Italia.

⁶ Stanford University, Stanford, Environmental Earth System Science, California 94306, USA.

⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Gobetti 101, 40129, Bologna Italia.

⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (IRBIM), Largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona, Italia.

⁹ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.

¹⁰ Utrecht University, Biomarine Sciences, Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, The Netherlands.

Sigla: IT17-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/86b6465c-b604-4efa-9145-0805f62216f4>

Responsabile sito: Mariangela Ravaoli

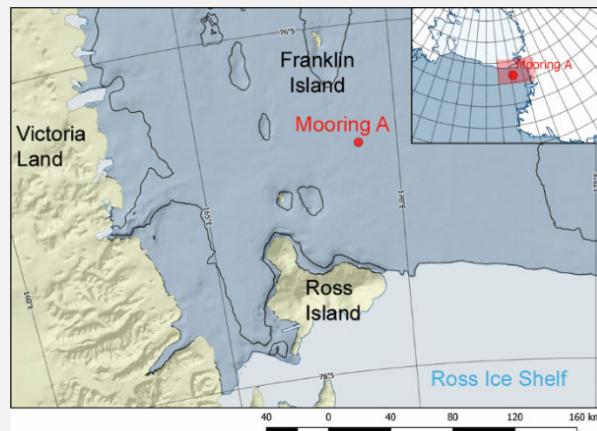


Fig. 1 - Posizione del Mooring A nel Mare di Ross

Descrizione del sito e delle sue finalità

Tematiche di ricerca LTER

Studio delle serie storiche a lungo termine della comunità biotica nella zona di piattaforma del Mare di Ross, studio dei flussi bio-geochimici.

Lo studio di lungo termine dei cicli biogeochimici e degli ecosistemi in ambiente antartico permette di approfondire le conoscenze sui cambiamenti nella componente biotica in relazione alla variabilità climatica in atto a scala globale, tra cui l'aumento della temperatura media e l'acidificazione delle acque oceaniche.

La zona sud-occidentale del Mare di Ross, al confine con l'*ice shelf* è particolarmente adatta per questo tipo di indagini in quanto è caratterizzata da alti tassi di produttività primaria, trovandosi all'interno di una zona che per prima si libera dai ghiacci stagionali a causa dei venti catabatici che spirano dal continente.

Dal 1991 e per più di 20 anni, in questo sito ($76^{\circ}42' S$ e $169^{\circ}04' E$) è stato operativo il mooring A che consiste in una catena oceanografica strumentata, che raccoglie dati relativi al particolato marino e ai parametri fisico-chimici della colonna d'acqua, per lo studio della sedimentazione recente e delle variazioni oceanografiche e ecologiche a scala da stagionale a pluridecennale. La particolare collocazione del mooring permette, inoltre, di registrare l'intensità dei flussi di acqua fredda in uscita dalla *Ross Ice Shelf*.

Il mooring, che si trova in una zona profonda circa 800 metri, è caratterizzato da due livelli di strumentazioni, alla profondità di circa 300 metri e 750 metri, ognuno costituito da una trappola di sedimento, un correntometro e da una sonda CTD (Conductivity, Temperature, Depth).

Il sito è operativo grazie a un programma di collaborazione tra Stati Uniti e Italia ed è gestito da CNR-ISMAR, CNR-ISP e CNR-IRBIM con la collaborazione dell'Università di Napoli Parthenope.

La sua posizione strategica permette di studiare l'estensione e la variabilità della copertura glaciale oltre che la disponibilità di nutrienti e gli effetti sulla produttività biologica e su altri processi riguardanti le comunità planctoniche e bentoniche. Tutti questi fattori hanno, infatti, importanti ripercussioni sui flussi di materiale biogenico dalle acque di superficie al fondale oceanico, che influenzano i cicli biogeochimici e contribuiscono al sequestro di carbonio sia lungo la colonna d'acqua che nel fondale.

In quest'area, particolare attenzione è rivolta ai processi di sedimentazione e ai flussi di particolato biogenico di matrice carbonatica e silicea. Inoltre, considerando i tassi di accumulo nei sedimenti di fondo, è possibile discriminare il flusso verticale effettivo (*rain rate*) dall'apporto orizzontale derivante dai processi di mobilizzazione di sedimento, potenzialmente attribuibile a fenomeni di risospensione e/o avvezione laterale (Langone *et al.* 1998; Frignani *et al.* 2000).

Nel sito di ricerca, le misure di produttività primaria sono state condotte, ogni tre anni, a partire dal 1991, discriminando tra produttività nuova e rigenerata e ottenendo una serie temporale di dati sulla distribuzione delle comunità di fitoplancton, micro-zooplankton e batterioplankton. Al fine di comprendere il destino della sostanza organica, sono stati stimati i tassi di biomassa e produzione batterica e di respirazione della comunità micribia lungo l'intera colonna d'acqua. Con le trappole di sedimento installate nel mooring sono stati condotti campionamenti a diverse scale temporali (scala giornaliera e mensile) di particolato organico e inorganico. Per quello che concerne la velocità delle correnti, la salinità, la temperatura e la torbidità dell'acqua, i dati sono stati misurati in maniera continuativa.

Sui sedimenti campionati dal fondale sono state effettuate analisi granulometriche, bio-stratigrafiche, mineralogiche e radiometriche. Sono stati inoltre analizzati i nutrienti (con particolare attenzione al ferro che è fattore limitante per la produzione primaria nel Mare di Ross) al fine di stimare le variazioni di produttività e di paleoproduttività dell'area.

A partire dal 1997 sono anche disponibili dati Lidar.

Le osservazioni nel punto A sono state purtroppo interrotte nel 2008. Da allora non è stato più possibile riposizionare il mooring anche per mancanza di fondi ad hoc per la acquisizione della strumentazione necessaria.

L'accesso ai dati storici è libero per quanto già pubblicato, previa citazione della fonte. L'accesso a quanto non pubblicato va concordato con gli Enti che hanno finanziato e/o eseguito la raccolta di dati.

Risultati

Le ricerche svolte in questa area sui flussi di particelle consentono di comprendere meglio i cicli biogeochimici che giocano un ruolo chiave nei processi di rilascio e sequestro della CO₂ atmosferica. Lo scopo principale è quello di comprendere la dinamica climatica attuale e passata al fine di effettuare corrette previsioni per il futuro.

Dall'analisi delle serie di dati ottenute è stato osservato che i flussi di particolato hanno una notevole variabilità stagionale con flussi elevati in estate e autunno e minimi in inverno e primavera (Chiarini *et al.* 2019). Inoltre, sebbene i flussi di particelle lungo la colonna d'acqua nelle regioni polari siano generalmente associati alle fioriture estive di fitoplancton, a volte risultato ritardati anche di tre mesi rispetto ai picchi di produttività primaria.

Si riporta nella Fig. 2 un esempio relativo all'anno 2005. Si noti come le trappole di fondo hanno raccolto materiale anche in periodi di completa copertura glaciale, probabilmente dovuti alla fusione parziale delle parti basali dell'ice shelf e/o dalle strategie di conservazione di molte specie che utilizzano il ghiaccio marino come substrato dove trascorrere i bui mesi invernali in attesa del ritorno della luce e il riavvio del processo di fotosintesi.

Nonostante la presenza di alcune interruzioni nell'acquisizione, principalmente dovute al transito dell'Iceberg B15 che ha interessato l'area per circa 4 anni, la serie temporale dei flussi biogeochimici è estesa e fornisce un primo quadro della variabilità interannuale nel settore sud-occidentale del Mare di Ross. Per esempio, il flusso del carbonio organico (OC), riportato in Fig. 3, varia negli anni con un fattore di circa 3.

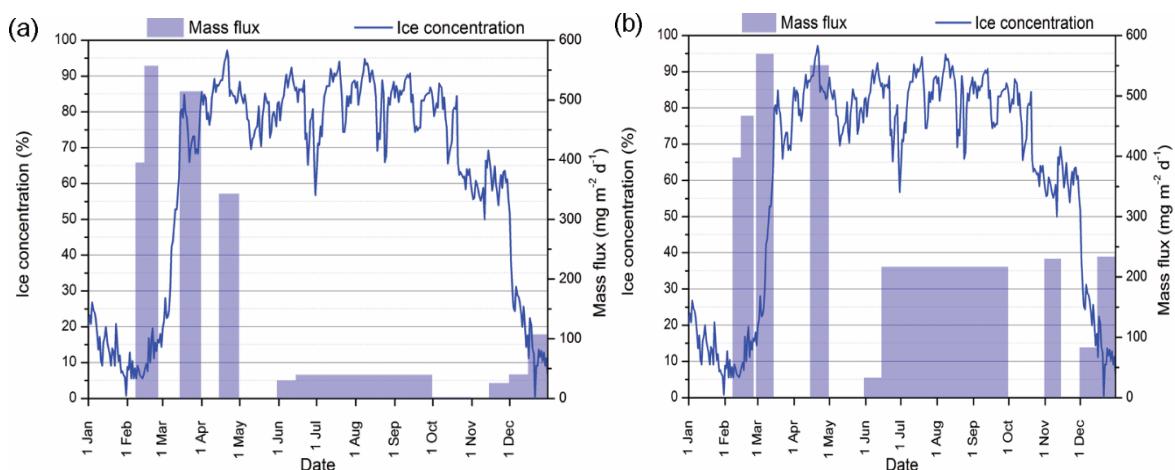


Fig. 2 - Flussi di massa e copertura glaciale misurati nel 2005 (a) nella trappola vicino alla superficie dell'oceano e (b) nella trappola vicino al fondale oceanico

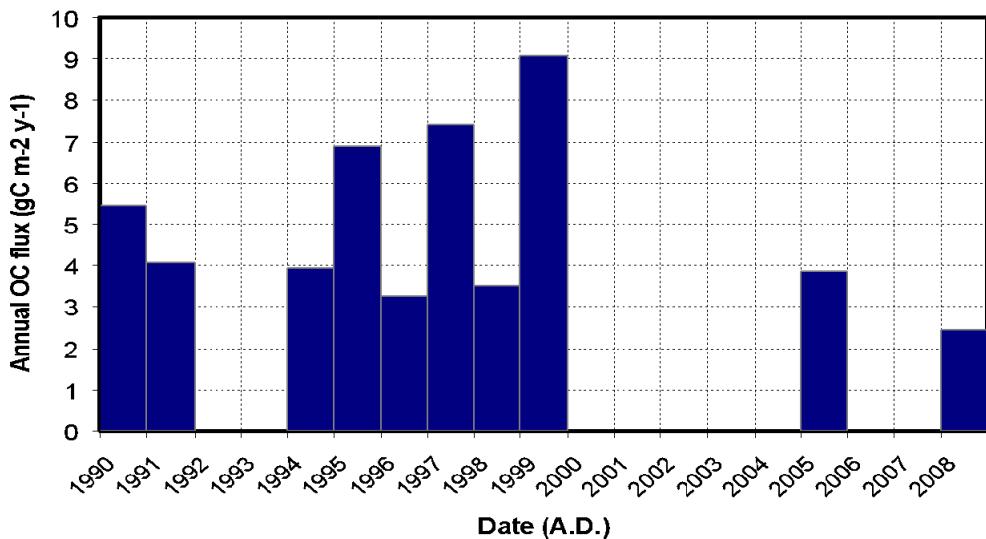


Fig. 3 - Flusso annuale di carbonio organico (OC) negli anni di campionamento nel Mooring A. Il gap tra il 2000 e il 2005 è dovuto alla presenza dell'Iceberg B15 che ha transitato nell'area del mooring A (in Langone L., Capotondi L., Sangiorgi F., Chiarini F., Dunbar R.B., Giglio F., Bergami C., Ravaioli M., Interannual variability of vertical particle fluxes in the Ross Sea (Antarctica), "La Rete LTER-Italia verso una infrastruttura aperta e sostenibile" (2018))

Per quanto riguarda la biogeochimica microbica, la comparazione dei dati osservati nei differenti anni ha evidenziato un'elevata variabilità delle biomasse e dei tassi metabolici, sia di produzione secondaria che di ossidazione della sostanza organica totale (disciolta e particellata). Tali riscontri dipendono principalmente dalla variabilità delle condizioni trofiche e dalla composizione della sostanza organica particellata. Confrontando i dati di ri-mineralizzazione microbica con quelli ottenuti dalle trappole di sedimentazione, è emerso che circa il 63% del carbonio organico respirato deriva dal pool di POC. Tuttavia, la relazione tra il basso flusso di carbonio attraverso il pool di DOC nella zona eufotica e l'altissima percentuale di POC ossidato nella zona afotica necessita di ulteriori approfondimenti.

Estendendo su scala annuale i risultati sulla ri-mineralizzazione, possiamo supporre che i microbi agiscano come sequestratori di CO₂ in primavera-estate e come fonte in autunno-inverno.

Gli studi eseguiti in quest'area sono iniziati con il progetto per il Sito Osservativo Mooring A (1991-1994) e proseguiti mediante i progetti di ricerca ROSS-MIZE (1994-1996), BIOSES I (1996-1998) e II (1999-2001), ABIOCLEAR (2001-2005), ROAVERRS (1997-1998) e VECTOR (2004-2007). Altri progetti di ricerca, che hanno coinvolto il sito di ricerca mooring e che sono stati finanziati nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA), sono:

- PNRA 2013/AN2.04, ROME: Ross Sea Mesoscale Experiment;
- PNRA 2016/A3_06, P-ROSE: biodiversità e funzionamento degli ecosistemi planctonici del mare di Ross nell'oceano meridionale in cambiamento;
- PNRA 2016/A3_00207, CELEBER: effetti della CDW sulla fusione del ghiaccio glaciale e sulla quantità di Fe nel Mare di Ross occidentale.

Le attività di ricerca condotte principalmente dall'Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna e dall'Istituto di Scienze Polari (ISP) di Bologna – CNR coinvolgono diverse istituzioni nazionali e internazionali:

- Dipartimento di Biologia Evolutiva Sperimentale, Università di Bologna, collaborazione incentrata sulla determinazione di specifici biomarcatori per lo studio delle variazioni ambientali nelle comunità fitoplanctoniche (dinoflagellati, primnesiofite) e sullo studio dei composti lipidici (steroli, stireni ecc..) e degli alcheni;

-
- Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma. La collaborazione prevede lo Studio microfaunistico delle associazioni di foraminiferi e stratigrafia isotopica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$);
 - Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, per la realizzazione di un modello ecologico mono-dimensionale, calibrato sui dati del mooring e con dati sperimentali e storici come input, destinato al chiarimento del circuito pelagico, dei flussi di CO_2 e dei processi bentonici all’interfaccia acqua-sedimento;
 - Department of Environmental Earth Systems Science, Stanford University, California CA, Stati Uniti d’America;
 - Utrecht University – Ricostruzioni di paleotemperatura;
 - Università degli Studi Parthenope di Napoli;
 - CNR IRBIM-Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine;
 - Stazione Zoologica Anton Dohrn, Napoli;
 - Università degli Studi di Trieste;
 - Università degli Studi di Genova;
 - Università Politecnica delle Marche;
 - Università Milano Bicocca;
 - Columbia University/LDEO;
 - NIWA, New Zealand;
 - AWI, Germany;
 - ODUUSC, USA;
 - ETH- Zurich.

Attività di divulgazione

La conoscenza dell’ambiente Antartico desta grande fascino e curiosità per le sue peculiarità a livello di ecosistema e di condizioni climatiche e in quanto risulta un laboratorio naturale ancora relativamente poco impattato dall’azione dell’uomo. La divulgazione delle attività scientifiche si è concretizzata in azioni molto diversificate in ambiti differenti: dalla scuola ai media, dall’allestimento di mostre alla realizzazione di filmati ed exhibit, da seminari a collegamenti in videoconferenza con le basi di Ricerca in Antartide.

ADOTTA UNA SCUOLA DALL’ANTARTIDE (AUSDA) – Attività di divulgazione della cultura scientifica nelle scuole mediante incontri/seminari e videoconferenze dal territorio antartico.

IL MARE ALLA FINE DELLA TERRA – Documentario sull’area del Mare di Ross girato in Antartide da CNR Web TV e trasmesso il 29/12/2016 su Rai Scuola.

Prospettive future

Essendo oramai largamente riconosciuta l’importanza scientifica dei dati acquisiti in questo sito, si sta lavorando nell’ambito del SOOS (Southern Ocean Observing System), settore del Mare di Ross, con diversi gruppi di ricerca di varie nazionalità, interessate a questa serie temporale, al fine di riposizionare l’ancoraggio e riiniziare l’acquisizione dei dati bruscamente interrotta nel 2010 dopo 16 anni di attività (1994-2010). Si proseguirà l’analisi e la pubblicazione dei risultati e il confronto con i dati dei altri mooring presenti nel Macrosito Antartico. Si sta procedendo alla messa a punto di una apposita banca dati in ambito PNRA denominata “NADC” a cui il sito contribuirà.

Abstract

Mooring A is located at $76^{\circ}42'\text{S}$, $169^{\circ}04'\text{E}$ in the south-western Ross Sea, an area characterized by the presence of a polynya and a water depth of about 800 m. This area is one of the most productive in the Ross Sea and it is highly representative of both productivity and sedimentary conditions

(sedimentary fluxes) of the southern sector of the Ross Sea. This site was operative from 1991 to 2010, in the context of a collaboration programme between U.S.A and Italy, managed by ISMAR, ISP, IRBIM – CNR, and with the participation of the University of Napoli Parthenope. Mooring A allows investigating the particle fluxes toward deep sediments and provides qualitative and quantitative estimations of the primary producers' biogenic component and allows studying the fate of the entire organic matter pool through the water column, in terms of bacterial biomass and Carbon remineralization. Data are available from 1991 to the end of 2009, and cover physical properties of sea water (temperature, salinity, turbidity, conductibility and currents), chemical analyses of sediments and particles (mass, bio-siliceous and organic carbon fluxes), stable isotopes and metals. Biotic active flux and composition data were obtained. Vertical (*rain rate*) and horizontal fluxes of both biogenic and lithogenic particles and direct measurements of primary productivity are obtained. Lidar data have been obtained since 1997.

Mooring B: North Central Ross Sea, Joides Basin - Antarctica

Autori

Mariangela Ravaoli¹, Stefano Aliani², Maurizio Azzaro³, Filippo Azzaro³, Caterina Bergami¹, Giorgio Budillon⁴, Lucilla Capotondi¹, Giulio Catalano⁵, Francesca Chiarini¹, Stefano Cozzi⁵, Robert Dunbar⁶, Pierpaolo Falco^{4,9}, Federico Giglio⁷, Patrizia Giordano⁷, Federica Grilli⁸, Rosabruna La Ferla³, Leonardo Langone⁷, Giovanna Maimone³, Elio Paschini⁸, Pierluigi Penna⁸, Aniello Russo^{9,8}, Francesca Sangiorgi¹⁰.

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Santa Teresa, 19032 Pozzuolo di Lerici, La Spezia, Italia.
- ³ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Raineri 86, 98122 Messina, Italia.
- ⁴ Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Via Porzio 4, 80143 Napoli, Italia.
- ⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Area Science Park Basovizza, Edificio Q2, Strada Statale 14, km 163,5, 34149 Trieste, Italia.
- ⁶ Stanford University, Environmental Earth System Science, Stanford, California, 94306 USA.
- ⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Italia.
- ⁸ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (IRBIM), Largo Fiera della Pesca, 60125 Ancona, Italia.
- ⁹ Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.
- ¹⁰ Utrecht University, Biomarine Sciences, Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, The Netherlands.

Sigla: IT17-002-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/1fb62b9c-4d5c-4f1f-8882-807032337de7>

Responsabile sito: Mariangela Ravaoli

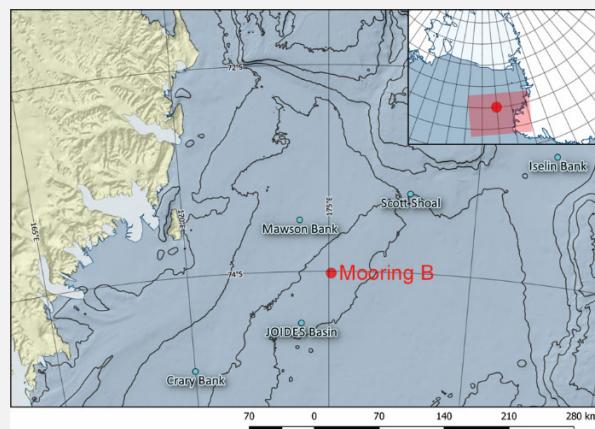


Fig. 4 - Posizione del Mooring B nel Mare di Ross

Descrizione del sito e delle sue finalità

Appartenenza ad altre reti di monitoraggio/ricerca:

Osservatorio Marino del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide – progetto MORSea (Marine Observatory in the Ross Sea – Resp. P. Falco)

Tematiche di ricerca LTER

Studio delle serie storiche a lungo termine della comunità biotica nella zona di piattaforma del Mare di Ross, studio dei flussi bio-geochimici e delle proprietà chimico-fisiche della colonna d'acqua.

L'Oceano Meridionale svolge un ruolo cruciale nel sistema oceanografico a scala globale infatti consente un enorme trasporto di massa, di calore e di altre proprietà tra tutti i bacini oceanici. La metà delle masse d'acqua del mondo si formano in questo oceano, come ad esempio l'Antarctic Intermediate Water (AAIW) e l'Antarctic Bottom Water (AABW).

Il mooring B si trova in un'area influenzata sia dalla presenza della Modified Circumpolar Deep Water (MCDW), una massa d'acqua relativamente calda, che dalla presenza di acque dense e fredde di piattaforma chiamate *High Salinity Shelf Water* (HSSW), che vengono prodotte principalmente nella polynya di Baia Terranova durante i mesi invernali. Nel dettaglio, il mooring B è situato nel settore occidentale della piattaforma continentale del Mare di Ross, nel punto più profondo del Bacino di Joides (74°01' S e 175°05' E), dove la profondità delle acque è di circa 600 m. Il Bacino di Joides ha un orientamento NE – SO ed è caratterizzato da fenomeni di accumulo di sedimenti fini di origine biogenica e di sedimenti più grossolani provenienti dagli alti morfologi limitrofi.

L'obiettivo principale del mooring B è lo studio dei flussi di particelle verso i sedimenti profondi, al fine di quantificare la componente biogenica proveniente dalla produzione primaria che, in questo sito, è dominata da alcune specie di diatomee.

Il mooring è equipaggiato con trappole di sedimento e strumentazione per l'analisi dei parametri fisici dell'acqua (correntometro e sonda CTD) su due livelli, una trappola si trova vicino alla zona fotica (a una profondità variabile di circa 250 m) e l'altra in prossimità del fondale (a circa 550 m).

I dati ottenuti consentono un'analisi dettagliata dei processi di sedimentazione attuali e del ciclo di carbonati e silicati biogenici lungo la colonna d'acqua, fornendo un bilancio di massa e permettendo di valutare quanto materiale proveniente dalla produzione primaria si preserva nei sedimenti di piattaforma.

Nella stessa area, sono stati effettuati campionamenti lungo la colonna d'acqua per lo studio della biogeochimica microbica per la quantificazione della biomassa batterica e dei tassi microbici di produzione eterotrofica e di respirazione della sostanza organica totale.

Al momento, sono disponibili serie temporali annuali relativamente agli anni 1995, 1996, 1998, 1999, 2004, 2005 e dal 2008 al 2019, che comprendono: produttività primaria (nuova e rigenerata); dati sulle comunità di fitoplancton, microzooplanton; dati di biomassa batterica e tassi di produzione eterotrofica e di ri-mineralizzazione microbica; dati mensili sul particolato organico e inorganico e dati biogeochimici associati; velocità delle correnti, salinità, temperatura e torbidità dell'acqua.

Durante le campagne oceanografiche sono stati prelevati anche campioni di sedimento dal fondale, sui quali sono state effettuate analisi granulometriche, bio-stratigrafiche, mineralogiche e radiometriche. Sono stati inoltre analizzati i nutrienti al fine di stimare le variazioni di produttività e di paleoproduttività dell'area.

A partire dal 1997 sono anche disponibili dati Lidar

L'accesso ai dati storici è libero per quanto già pubblicato, citando la fonte. L'accesso a quanto non pubblicato va concordato con gli Enti che hanno finanziato e/o eseguito la raccolta di dati.

Risultati

L'importanza degli studi sui flussi di particellato e sui parametri fisico chimici delle acque in quest'area sono fondamentali per avere un quadro relativo alle variazioni dei cicli biogeochimici passate, presenti e future.

La lunga serie temporale di dati raccolta dal 1996 al 2008 ha evidenziato l'alta variabilità stagionale e interannuale dei flussi biogeochimici nel Mare di Ross. Il massimo del flusso è stato registrato per ciascun anno circa uno o due mesi dopo il picco di concentrazione di Clorofilla-*a* nell'area e questo ritardo è stato associato al *grazing*, al rapporto di crescita dello zooplancton e alla velocità di caduta del particolato. Questi dati sono di notevole interesse per investigare i cambiamenti climatici su larga scala, in quanto l'Oceano Meridionale ricopre un ruolo chiave nel ciclo del carbonio atmosferico. Inoltre, data l'estensione quasi ininterrotta di dati raccolti nel tempo in questo sito, si sta cercando di correlare i risultati sui flussi biogeochimici con altri fenomeni ciclici su scala globale (Labbrozzi *et al.* 1998; Langone *et al.* 2000).

Nel sito sono stati anche effettuati studi sulla distribuzione del microzooplanocton (Foraminiferi planctonici) lungo la colonna d'acqua che, in questo sito, è influenzata dalla marcata stratificazione e da marcato termoclino. In quest'area, l'associazione è dominata da *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral), mentre sono stati osservati pochi esemplari di *Turborotalita quinqueloba*, *Neogloboquadrina pachyderma* (dextral) e *Neogloboquadrina dutertrei* (Bergami *et al.* 2008; Bergami *et al.* 2009).

Dall'analisi delle proprietà fisiche (temperatura potenziale, salinità e densità) dell'acqua di fondo, è stato possibile stabilire che l'HSSW entra, in determinate condizioni, nel Bacino di Joides scorrendo sul fondale, a causa della sua elevata densità. L'analisi della media giornaliera, stagionale e annuale dei dati di temperatura relativi alla HSSW permette alcune ulteriori considerazioni: la temperatura potenziale media negli ultimi 15 anni è di $-1.904 \pm 0.005^{\circ}\text{C}$ e raggiunge valori relativamente più elevati tra settembre e ottobre (tardo inverno australe), mentre temperature inferiori sono osservabili in primavera ed estate. Tuttavia, gli anni 1997 e 1999-2000 sono stati mediamente più caldi, mostrando quindi una variabilità interannuale. Gli anni dal 2000 al 2006 sono caratterizzati da un raffreddamento progressivo, con un valore minimo nel 2006, seguito da un trend di riscaldamento, ancora in corso, che potrà essere confermato grazie ai dati acquisiti nei prossimi anni.

Per quanto riguarda la biogeochimica microbica, la comparazione dei dati osservati nei differenti anni ha evidenziato l'elevata variabilità delle biomasse e dei tassi metabolici – sia di produzione secondaria che di ossidazione della sostanza organica totale. Anche in questo sito, tali riscontri dipendono principalmente dalla variabilità delle condizioni trofiche e dalla composizione della sostanza organica particellata più che dalle caratteristiche idrologiche. In contrasto con quanto accade nei mari temperati, dove è la sostanza organica discolta a sostenere i tassi di rimineralizzazione nel biota profondo, nel Mare di Ross i tassi degradativi sono sostenuti principalmente dalla sostanza organica particolata.

Le ricerche nel sito mooring B sono iniziati a partire da dicembre 1994 nel contesto dei **progetti** italiani ROSS-MIZE, BIOSES0, ABIOCLEAR e VECTOR. Il Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca) ha inoltre finanziato diversi progetti nell'area:

- PNRA 2009/B.09, MORSea Osservatorio marino nel Mare di Ross;
- PNRA 2013/AN2.04, ROME: Ross Sea Mesoscale Experiment;
- PNRA 2016/A3.02, BEDROSE: biodiversità e funzionamento degli ecosistemi bentonici profondi del Mare di Ross, alla luce dei cambiamenti climatici in corso nell'Oceano Meridionale;
- PNRA 2016/A3_06, P-ROSE: biodiversità e funzionamento degli ecosistemi planctonici del mare di Ross nell'oceano meridionale in cambiamento;
- PNRA 2016/A3_00207, CELEBER: effetti della CDW sulla fusione del ghiaccio glaciale e sulla quantità di Fe nel Mare di Ross occidentale.

Le attività di ricerca presso il Mooring B sono condotte principalmente dall’Istituto di Scienze Marine (ISMAR) di Bologna e dall’Istituto di Scienze Polari (ISP) di Bologna – CNR coinvolgono diverse istituzioni nazionali e internazionali:

- Dipartimento di Biologia Evolutiva Sperimentale, Univ. Bologna, collaborazione su la determinazione di specifici biomarcatori per lo studio delle variazioni ambientali nelle comunità fitoplanctoniche (dinoflagellati, primnesiofite) e sullo studio dei composti lipidici (steroli, stireni ecc..) e degli alcheni;
- Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma. La collaborazione prevede lo Studio microfaunistico delle associazioni di foraminiferi e stratigrafia isotopica ($\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$);
- Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Università di Bologna, per la realizzazione di un modello ecologico mono-dimensionale, calibrato sui dati del mooring e con dati sperimentali e storici come input, destinato al chiarimento del circuito pelagico, dei flussi di CO₂ e dei processi bentonici all’interfaccia acqua-sedimento;
- Department of Environmental Earth Systems Science, Stanford University, California CA, USA
- Utrecht University – Ricostruzioni di paleotemperatura;
- Università degli Studi Parthenope di Napoli;
- CNR IRBIM-Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine
- Stazione Zoologica Anton Dohrn, Napoli;
- Università degli Studi di Trieste;
- Università degli Studi di Genova;
- Università Politecnica delle Marche;
- Università Milano Bicocca;
- Columbia University/LDEO;
- NIWA, New Zealand;
- AWI, Germany;
- ODUUSC, USA;
- ETH – Zurich.

Attività di divulgazione

ADOTTA UNA SCUOLA DALL’ANTARTIDE (AUSDA) – Attività di divulgazione della cultura scientifica nelle scuole mediante incontri/seminari e videoconferenze dal territorio antartico.

IL MARE ALLA FINE DELLA TERRA – Documentario sull’area del Mare di Ross girato in Antartide da CNR Web TV e trasmesso il 29/12/2016 su Rai Scuola.

Prospettive future

Il sito è parte dell’Osservatorio Marino del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide – progetto MORSea. Le serie temporali già acquisiti saranno il più possibile, in quanto, solo disponendo di serie che si estendano su scale multidecadali, è possibile caratterizzare la variabilità di medio e lungo periodo dei processi caratteristici dell’oceano e della sua interazione con l’atmosfera. Sarà inoltre fondamentale assicurare la prosecuzione delle misure sia tramite l’aggiornamento della strumentazione esistente sia con l’integrazione di nuova strumentazione. Saranno favorite le collaborazioni con programmi di altre nazioni, per sopperire alla mancanza di mezzi navali italiani per il trasporto di ricercatori e strumentazione I dati collezionati dal mooring confluiranno in banche dati ufficiali. Una prima iniziativa è già in atto nell’ambito del Southern Ocean Observing System (SOOS). Relativamente ai dati e ai campioni raccolti proseguirà l’analisi, l’elaborazione dei dati e la stesura di lavori scientifici. Si sta procedendo alla messa a punto di una apposita banca dati in ambito PNRA denominata “NADC” a cui il sito contribuirà.

Abstract

The mooring B survey site, deployed at 74°01'S, 175°05'E, is located in the Joides Basin, north-western Ross Sea, where the water depth is about 600 m. The Joides Basin is characterized by a NE – SW orientation and fine sediments accumulate in the central part from adjacent banks. Intrusions of Modified Circumpolar Deep Water, which brings warm waters to the area where sea ice occurs, and High Salinity Shelf Water, from the polynya of Terra Nova Bay, also influence the area of the mooring B. This site is operative since 1994 and is jointly managed by U.S.A and Italy (co-participation of ISMAR – ISP – IRBIM – CNR and University of Napoli Parthenope). The purposes of this site is the characterization of the particulate fluxes downward to sea floor and qualitative/quantitative estimations of the primary productivity biogenic component. Data acquisition has started in 1994, which provides physical properties of sea water (temperature, salinity, turbidity, conductibility and currents), chemical analyses of sediments and particles (mass, bio-siliceous and organic carbon fluxes), stable isotopes and metals, vertical and horizontal fluxes of both biogenic and lithogenic particles and primary productivity direct measurements. The distribution of bacterial metabolism and organic matter degradation was also studied with to understand the fate of the carbon pool through the water column nearby the mooring B. Biotic data on the active fluxes were also obtained. Lidar data have been obtained since 1997.

Mooring D: Western Ross Sea, Terra Nova Bay Polynya

Autori

Giorgio Buidlon¹, Pasquale Castagno¹, Arturo De Alteris¹, Massimo De Stefano¹, Pierpaolo Falco^{1,2}, Giancarlo Spezie¹, Giovanni Zambardino¹.

Affiliazione

¹ Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli (NA), Italia.

² Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.

Sigla: IT17-003-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/b4121cd7-8b02-4872-b1d2-516d1c02056a>

Responsabile sito: Pierpaolo Falco

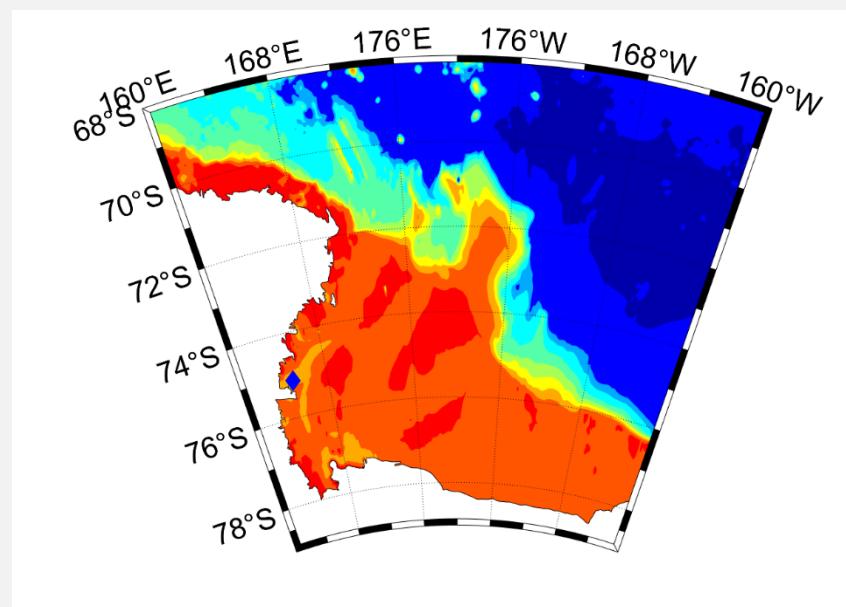


Fig. 5 - Mappa del Mare di Ross e posizione del mooring D

Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Mooring D è situato nel Mare di Ross occidentale, nell'area di Baia Terra Nova (BTN da qui in avanti), alla latitudine di 75°08'S e longitudine di 164°31'E, ad una profondità di circa 1150 m ed è lungo 630 m.

Le attività di acquisizione iniziano nel 1994 nell'ambito del progetto CLIMA (Climatic Long-term Interaction for Mass balance in Antarctica), P.I. Giancarlo Spezie. Dal 2009 il sito fa parte dell'Osservatorio Marino nel Mare di Ross (MORSea) del PNRA.

Il sito venne individuato come il centro della polynya invernale (area della superficie marina libera dal ghiaccio all'interno di una zona ricoperta di ghiaccio marino) che grazie alla coincidenza di una serie di fattori geografici (topografia del fondale oceanico, geometria delle linee di costa, orografia delle coste), fattori atmosferici ed oceanici (forza, direzione e frequenza dei venti e delle correnti), e fattori legati alle interazioni aria-ghiaccio-mare (flussi di calore all'interfaccia, umidità, sostanze chimiche) si forma nell'area di BTN. Nella polynya di BTN, a causa all'intenso raffreddamento superficiale e al rilascio di sale (causato della formazione di ghiaccio marino e che va ad addizionarsi all'acqua sub-superficiale incrementandone la salinità e la densità), avviene la produzione delle acque dense di piattaforma che sono caratterizzate da un'elevata salinità e una temperatura prossima al punto di congelamento superficiale. Questa massa d'acqua, definita High Salinity Shelf Water (HSSW), svolge un ruolo fondamentale nella formazione delle acque di fondo antartiche (AABW) che alimentano il ramo inferiore della circolazione termoalina globale e che inoltre contribuiscono al sequestro di anidride carbonica e nell'immagazzinamento di calore da parte dell'oceano.

L'obiettivo primario del sito quindi è quello di studiare la variabilità interannuale delle caratteristiche fisiche e geochimiche delle HSSW che si formano nella polynya. Per cui dal 1994, vengono misurate temperatura, salinità e corrente marina a diverse quote. Inoltre, viene misurato il flusso del particellato mediante l'utilizzo di trappole di sedimento posizionate lungo il cavo del mooring. Le misure sono registrate con una frequenza che va da 1 ogni 10 minuti (misure di T e S) ad 1 ogni ora (misure di corrente). I dati raccolti subiscono un procedimento di controllo di qualità e depositati nella banca dati del Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope" disponibili su richiesta al responsabile del progetto. I dati misurati dal 2009 sono fruibili sul sito <http://morsea.uniparthenope.it/>. Mentre, i dati dal 1995 al 2011 sono stati consegnati al SOOS (Southern Ocean Observing System) e saranno a breve disponibili sulla banca dati pubblica del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) con un relativo DOI.

Circa ogni due anni vengono compiuti cicli di gestione e manutenzione del sito. A seguito del recupero del mooring, il personale scientifico provvede a scaricare i dati acquisiti dagli strumenti, effettua la manutenzione di ogni parte della catena (strumenti e componenti di marineria) ed infine procede alle operazioni di rimessa a mare per avviare un nuovo ciclo di misure.

Risultati

Le serie temporali acquisite dal mooring D rappresentano allo stato attuale le serie storiche (sia per le informazioni dinamiche e termoaline, sia per i flussi biogeochimici) più lunghe e continue esistenti in quest'area. Grazie a tali serie è stato possibile valutare la variabilità a diverse scale temporale delle caratteristiche termoaline.

In Figura 6 viene mostrata la serie temporale della salinità misurata in prossimità del fondo, che mette in evidenza sia la variabilità stagionale che quella interannuale.

Inoltre, grazie all'utilizzo dei dati del mooring D sono stati studiati i processi di formazione delle HSSW nell'area della polynya (Rusciano *et al.* 2013).

Rusciano *et al.* (2013) hanno dimostrato, per la prima volta, che il funzionamento della polynya e la produzione di HSSW non dipende solo dall'intensità dei venti catabatici, ma principalmente dalla durata del singolo evento.

I processi di formazione della polynya e quindi di produzione di HSSW sono stati anche analizzati mediante simulazioni numeriche che hanno utilizzato i dati del mooring D sia per la validazione dei risultati che per lo studio della variabilità del volume di HSSW prodotta (Sansiviero *et al.* 2017). Infine, i dati dei mooring hanno consentito di integrare (a vario livello) i data set utilizzati per diversi lavori presentati in un numero speciale riguardo i processi di mesoscalo nel mare di Ross (McGillicuddy *et al.* 2017). Ma soprattutto i dati dei mooring forniscono un supporto notevole alla descrizione della variabilità a scala di bacino.

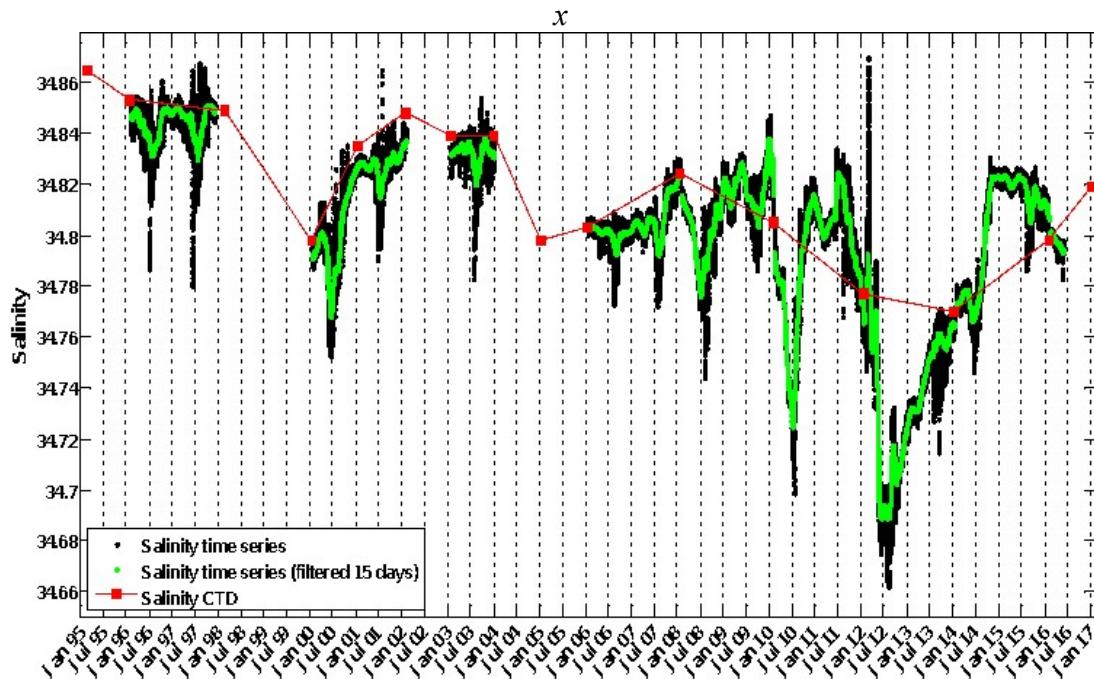


Fig. 6 - Serie temporale della salinità registrata sul mooring D alla profondità prossima al fondo. In nero la salinità misurata, in verde la serie temporale filtrata con una media mobile di 15 giorni e in rosso sono mostrati le misure registrate sul fondo nella stessa posizione del sito con l'utilizzo della sonda CTD durante le diverse campagne estive effettuate a Baia Terra Nova

Attività di divulgazione

- Budillon G. (2015). "Southern Ocean and sea ice in a warming world". Conferenza Nazionale sulla Ricerca in Antartide, Roma 20-21 ottobre 2015, Accademia Nazionale dei Lincei.
- Capello M., Cutroneo L., Budillon G., Tucci S. (2015). "The results of twenty years of dimensional analyses of bottom-particle samples from sediment traps in an Antarctic polynya (Ross Sea, Antarctica)". Aquatic Sciences Meeting, Aquatic Sciences: Global And Regional Perspectives – North Meets South, 22-27 February 2015 Granada, Spagna.
- Azzaro M., Zaccione R., Azzaro F., Maimone G., Cosenza A., Castagno P., Armeli E., Rivaro P., La Ferla R. (2017). "Community level physiological profiles and extracellular enzymatic activities in the Circumpolar Deep Water (CDW) of the Ross Sea". XII SCAR Biology Symposium, Leuven (Belgio) 10-14 July 2017.
- Castagno P., Falco P., Dinniman M.S., Spezie G., Budillon G. (2016). "Temporal variability of the Circumpolar Deep Water inflow onto the Ross Sea continental shelf". CCAMLR – Symposium on the Ross Sea Ecosystem, 13 July 2016, Bologna, Italia.
- Castagno P., Falco P., Spezie G., Budillon G. (2016). "Temporal variability of the Circumpolar Deep Water inflow onto the Ross Sea continental shelf". Ocean Sciences Meeting 2016, 21-26 February 2016, New Orleans, Louisiana, USA.
- Rivaro P., Langone L., Ianni C., Giglio F., Aulicino G., Cotroneo Y., Spezie G., Saggiomo M., Mangoni O. (2016). "Mesoscale variability in the carbonate system chemistry and CO₂ air-sea fluxes of the

-
- Ross Sea (Antarctica) shelf area". XXXIV Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) meeting, Kuala Lumpur, 20-30 August 2016.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2015). "Long term variability of Antarctic bottom water precursors and climate indexes in the Pacific sector of the Southern Ocean". Science Symposium on Climate 2015, 19-20 novembre 2015, Roma, Italia.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2014). "Interannual variability of the Ross Sea shelf waters from 1995 to 2012". Ocean Sciences Meeting 2014. 23-28 febbraio 2014, Honolulu, Hawaii, USA.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2013). "Interannual variability of the Ross Sea shelf waters and correlation with climate indices". IAPSO-2013, 22-26 luglio 2013, Gothenburg, Svezia.
- Sansiviero M., Morales Maqueda M.Á., Flocco D., Fusco G., Budillon G. (2013). "Seasonal and interannual variability of the sea ice formation in Terra Nova Bay polynya (Antarctica) – Preliminary modelling results". XXI Congresso dell'AIOL, 23-26 Settembre 2013, Lignano Sabbiadoro (UD), Italia.

Prospettive future

Il contributo delle serie temporali nella comprensione della variabilità dei principali parametri oceanografici è del tutto cruciale. Solo disponendo di serie che si estendano su scale multidecadali, è possibile caratterizzare la variabilità di medio e lungo periodo dei processi caratteristici dell'oceano e di come l'oceano e l'atmosfera interagiscano influenzando la variabilità del clima. Ovviamente il sito di misura, considerando il ruolo fondamentale che svolge nella produzione di "source water" delle AABW, amplifica l'importanza di ottenere misure in continuo nel tempo. Grazie anche alle osservazioni raccolte dal mooring D è stato possibile caratterizzare cicli con periodicità di circa 5-7 anni della salinità delle HSSW e soprattutto l'inversione del freshening osservato dall'inizio delle osservazioni fino al 2014; dal 2015, la salinità è cresciuta fino a valori comparabili a quelli di inizio anni '90 (Castagno *et al.* 2019). È quindi essenziale assicurare la prosecuzione delle misure con un impegno volto prima di tutto al continuo aggiornamento della strumentazione esistente ed integrazione di nuova strumentazione che permetta di associare più variabili capaci approfondire la conoscenza dei processi di interesse. Si pensa in futuro infatti di dotare il mooring di sensori per la misura della CO₂, campionatori di acqua in continuo per successive analisi in laboratorio e soprattutto una sonda profilante autonoma. Recentemente sono stati introdotte sonde con sensori di O₂, poste al fondo del mooring al fine di avere un parametro in più che possa mettere in evidenza i processi di convezione e di diffusione delle HSSW. Si richiederanno quindi, anche in assenza di mezzi italiani che consentano di trasportare in loco i ricercatori e tecnici per la manutenzione del mooring, collaborazioni con programmi di altre nazioni. Sul fronte disponibilità dei dati si compiranno tutti i passi necessari per far confluire i dati misurati dal mooring, in banche dati ufficiali. Una prima iniziativa è già in atto nell'ambito del Southern Ocean Observing System (SOOS). Si sta procedendo alla messa a punto di una apposita banca dati in ambito PNRA denominata "NADC" a cui il sito contribuirà.

Abstract

Mooring D is situated in Terra Nova Bay (TNB) in the western sector of the Ross Sea (latitude 75°08'S and longitude 164.31'E) at a depth of 1150 m. Mooring D was first deployed in 1994 in the framework of the CLIMA (Climatic Long-term Interaction for Mass balance in Antarctica) project. Now, it is part of the Marine Observatory in the Ross Sea (MORSea) project funded by PNRA (National Research Program in Antarctica). The mooring is situated in the central part of the winter polynya, where the Antarctic Bottom Water's precursor, HSSW, is formed by cooling and brine released during sea ice formation. Temperature, salinity and ocean current together with ocean particle fluxes are also measured at different depth.

Mooring H: Central Ross Sea

Autori

Giorgio Buidlon¹, Pasquale Castagno¹, Arturo De Alteris¹, Massimo De Stefano¹, Pierpaolo Falco^{1,2}, Giancarlo Spezie¹, Giovanni Zambardino¹.

Affiliazioni

¹ Università degli Studi di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Centro Direzionale Isola C4, 80143 Napoli (NA), Italia.

² Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Via Brecce Bianche, 60131 Ancona, Italia.

Sigla: IT17-004-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/63a444a3-22e1-44fe-a7e3-7982366a2c1b>

Responsabile sito: Pierpaolo Falco

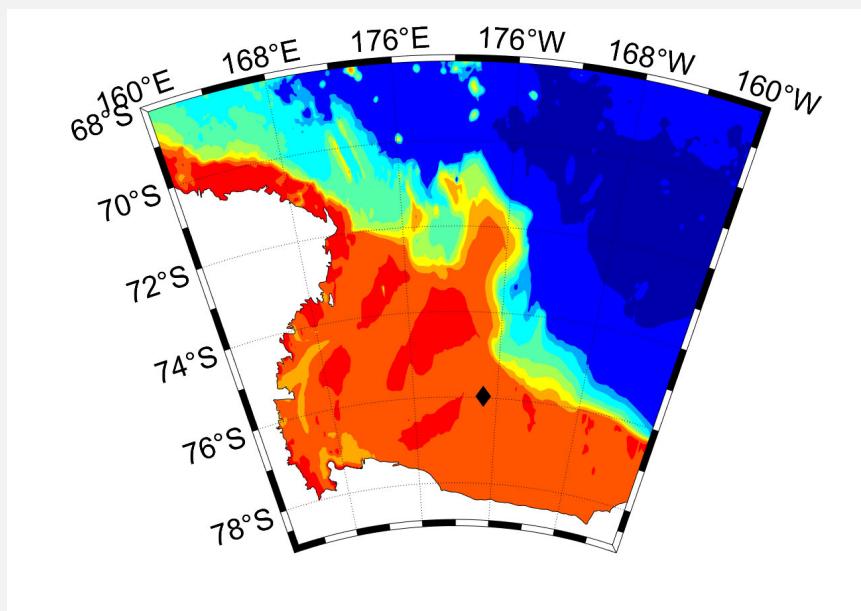


Fig. 7 - Mappa del Mare di Ross e posizione del mooring H

Descrizione del sito e delle sue finalità

Il Mooring H è situato nella zona centrale del Mare di Ross, al centro del Bacino del Glomar Challenger (Glomar Challenger Trough – GCT) alla latitudine di 75°57'S e longitudine di 177°18'O. Il mooring era posizionato ad una profondità di circa 615 m ed era lungo 315 m. L'attività di acquisizione del mooring H iniziano nel 1995 nell'ambito del progetto CLIMA (Climatic Long-term Interaction for Mass balance in Antarctica), P.I. Giancarlo Spezie. Dal 2009 il sito fa parte dell'Osservatorio Marino nel Mare di Ross (MORSea) del PNRA.

Il sito venne individuato al centro del Bacino del GCT a circa 100 km dal limite della piattaforma continentale al fine di intercettare il flusso verso nord delle acque dense prodotte sulla piattaforma continentale che una volta raggiunto la scarpata continentale partecipano alla formazione delle acque di fondo antartiche (AABW). Le acque di piattaforma intercettate dal sito H sono la High Salinity Shelf Water (HSSW) caratterizzata da una elevata salinità e che si forma nelle polynye del Mare di Ross (Baia Terra Nova e Ross Ice Shelf) a causa del rilascio di sale durante la formazione del ghiaccio marino. L'altra massa d'acqua è la Ice Shelf Water (ISW). La ISW si forma a partire dalla HSSW che incuneandosi sotto la piattaforma di ghiaccio di Ross ne fonde la parte basale modificandone le proprietà termoaline diminuendo sia la salinità sia la temperatura e portando alla formazione della ISW la quale è caratterizzata da una temperatura inferiore al punto di congelamento superficiale.

Quindi l'obiettivo primario del sito è quello di valutare il flusso di queste masse d'acqua e di analizzarne la variabilità delle caratteristiche fisiche. Per cui a partire dal 1995 sono state misurate temperatura, salinità e componente zonale della corrente marina a diverse quote. Le misure sono registrate con una frequenza che va da una ogni 30 minuti ad 1 ogni ora a seconda della sonda. Le osservazioni nel punto H sono state purtroppo interrotte nel 2008. Da allora non è stato più possibile riposizionare il mooring anche per mancanza di fondi ad hoc per la acquisizione della strumentazione necessaria.

I dati raccolti hanno subito un procedimento di controllo di qualità e depositati nella banca dati del Dipartimento di Scienze e Tecnologie dell'Università degli Studi di Napoli "Parthenope". Inoltre, sono stati consegnati al Southern Ocean Observing System (SOOS) e saranno a breve disponibili sulla banca dati pubblica del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) con un relativo DOI.

Fino al 2008 sono stati compiuti (in concomitanza con gli altri mooring) cicli di manutenzione del sito ogni due anni circa. Il mooring, secondo prassi, è stato recuperato, scaricati i dati misurati e compiuta la manutenzione di tutte le parti, dagli strumenti alle componenti di marineria, ed infine riposizionato in modo da avviare un nuovo ciclo di misure.

Risultati

Le misure al sito H sono fondamentali al fine di analizzare la variabilità ad alta e a bassa frequenza delle acque dense di piattaforma che andranno a formare la AABW e a ventilare l'Oceano Meridionale. Eventuali variazioni nelle caratteristiche di queste masse d'acqua hanno ripercussioni importanti sulla stratificazione dello strato abissale, il sequestro di anidride carbonica e lo stoccaggio di calore da parte dell'oceano e soprattutto sul ramo inferiore della circolazione termoalina globale.

Le serie temporali della temperatura potenziale acquisita sul fondo del mooring H (Fig. 8) mette in evidenza l'alternarsi sul fondo tra la ISW (temperatura al di sotto della temperatura di congelamento superficiale) e HSSW (temperatura prossima a quella di congelamento superficiale).

Inoltre, la Fig. 8 mostra come la temperatura sul fondo subisca fluttuazioni a diverse scale temporali, da quella diurna a quella stagionale. Il segnale filtrato (media mobile con finestra di 15 giorni; linea verde) evidenzia una variabilità stagionale con temperature più alte verso maggio-giugno (autunno) e quelle più basse verso settembre (fine inverno). A scale temporali maggiori è evidente un generale riscaldamento, ma soprattutto un cambiamento repentino nel segnale di temperatura durante l'estate australe 2001/02 che passa dai -1.92 °C ai -1.9 °C per poi mantenersi costante fino al 2007. È

importante notare anche che fino all'estate 2001/02 la serie temporale presenta oscillazioni più ampie alle alte frequenze rispetto al periodo successivo al cambiamento osservato.

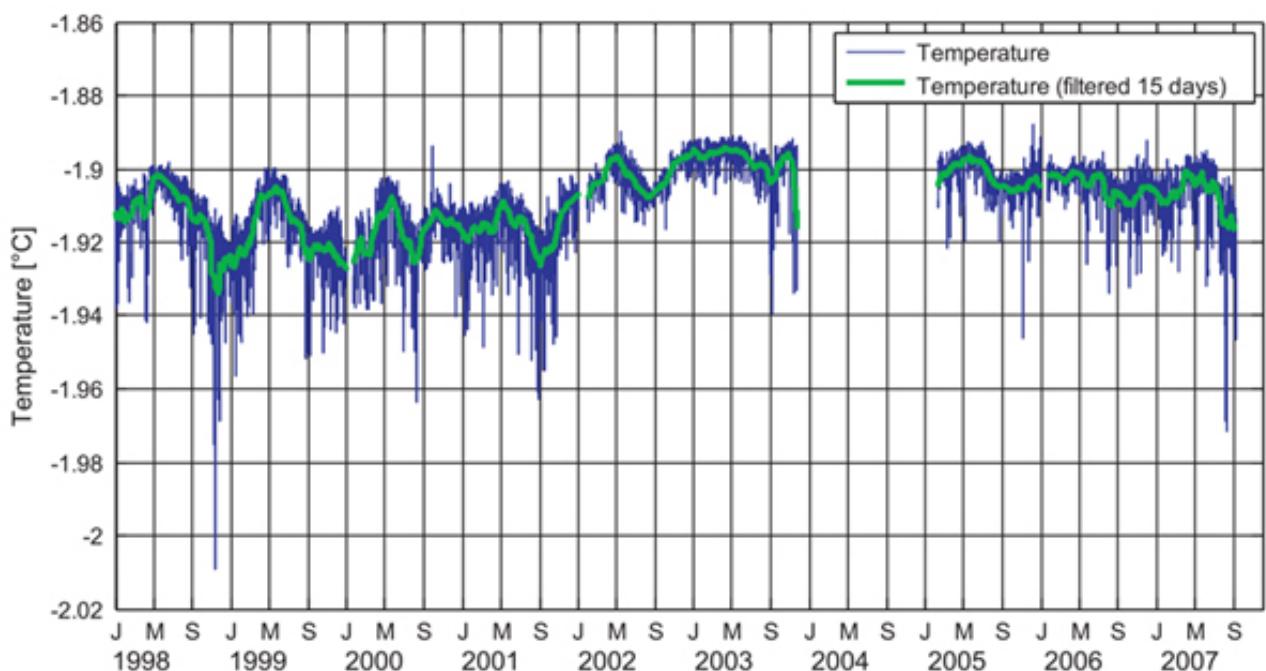


Fig. 8 - Serie temporale della temperatura potenziale registrata sul mooring H nello strato profondo (circa 20 m dal fondo). In blu la temperatura potenziale oraria; in verde la serie temporale filtrata con una media mobile di 15 giorni. (da Budillon et al. 2011)

Budillon et al. 2011 mediante l'analisi di frequenza della serie temporale di salinità mostrano una diminuzione sia nei valori più alti di salinità registrati (la salinità passa dai 34.76 nel 1998 ai 34.72 nel 2006), sia nei valori di salinità registrati con maggiore frequenza (la salinità passa da 34.75 nel 1998 a 34.71 nel 2006). In entrambi i casi la salinità diminuisce di circa 0.04 dal 1998 al 2006 in accordo con il freshening delle acque di piattaforma in altre aree del Mare di Ross.

Attività di divulgazione

- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2015). "Long term variability of Antarctic bottom water precursors and climate indexes in the Pacific sector of the Southern Ocean". Science Symposium on Climate 2015, 19-20 novembre 2015, Roma, Italia.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2014). "Interannual variability of the Ross Sea shelf waters from 1995 to 2012". Ocean Sciences Meeting 2014. 23-28 febbraio 2014, Honolulu, Hawaii, USA.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2013). "Interannual variability of the Ross Sea shelf waters and correlation with climate indices". IAPSO-2013, 22-26 luglio 2013, Gothenburg, Svezia.
- Castagno P., Budillon G., Spezie G. (2012). "Interannual variability of the shelf waters in the central Ross Sea and correlation with SAM and NINO3.4 indexes". IPY-2012, 22-27 aprile 2012, Montreal, Canada.
- Budillon G., Castagno P., Aliani S., Spezie G. (2011). "Thermohaline variability and Antarctic Bottom Water formation at the Ross Sea shelf break". IUGG-2011. 28 giugno-07 luglio 2011, Melbourne, Australia.
- Budillon G., Castagno P., Aliani S., Spezie G. (2010). "Mixing processes, thermohaline variability at the slope front in the central sector of the Ross Sea". IPY-2010, 8-12 giugno 2010, Oslo, Norvegia.

Castagno P., Budillon G., Aliani S., Spezie G. (2009). "Cambiamenti a lungo termine e produzione di acque di fondo nel Mare di Ross – Antartide". Environment Including Global Change, 5-9 Ottobre 2009, Palermo, Italia.

Budillon G., Castagno P., Bergamasco A., Aliani S., Spezie G. (2009). "Long term changes and front behavior at the Ross Sea shelf break (Antarctica)". MOCA-09. 19-29 luglio 2009, Montreal, Canada.

Castagno P., Budillon G. (2009). "Interannual variability of shelf waters at the Ross Sea shelf break". Gordon Research Conference in Polar Marine Science, 15-20 marzo 2009, Barga (LU), Italia.

Prospettive future

Negli ultimi anni la comunità scientifica ha riconosciuto la necessità dell'utilizzo di queste serie temporali di dati ai fini non solo della descrizione della variabilità temporale delle principali masse d'acqua investigate (HSSW e ISW), ma anche per la validazione ed inizializzazione di modelli climatici su breve e/o brevissimo termine (relativi alle prossime decine di anni), anche a causa dell'accelerazione dei processi legati ai cambiamenti climatici globalmente osservati. I risultati osservati fino al 2007 hanno evidenziato la modifica dei valori caratteristici delle ISW, segno questo che qualcosa era cambiato nel meccanismo di formazione e/o nelle caratteristiche della HSSW che si modificano nella cavità del Ross Ice Shelf dando luogo alla formazione delle ISW. L'interruzione delle misure è stata pertanto traumatica, interrompendo così un flusso di informazioni che avrebbero sicuramente consentito di comprendere più a fondo le modifiche in atto nelle caratteristiche delle masse d'acqua di piattaforma prodotte nel mare di Ross. In tale contesto e per questi motivi, è fondamentale ripristinare il mooring H.

Abstract

Mooring H is situated in the middle of the Glomar Challenger Trough in the central sector of the Ross Sea (latitude 75°57' S & longitude 177°18' W) at a depth of 615 m. Mooring H was first deployed in 1995 in the framework of the CLIMA (Climatic Long-term Interaction for Mass balance in Antarctica) project. Now, it is part of the Marine Observatory in the Ross Sea (MORSea) project funded by PNRA (National Research Program in Antarctica). The mooring is located in the central part of one of the main through, where the dense shelf waters flowing northwards arriving at the shelf break and mixing with water of circumpolar origin forms the Antarctic Bottom Water. The mooring has been deployed at this position in order to evaluate the northward flow of the dense shelf water and to study the thermohaline features and variability of these water masses. The data (temperature, salinity and currents) are available from 1995 to 2008, at different depths.

Baia Terra Nova

Autori

Paolo Povero¹, Michela Castellano¹, Enrico Olivari¹, Francesco Massa¹, Cristina Misic¹, Mariachiara Chiantore¹, Laura Canesi¹, Stefano Schiaparelli^{1,4} Olga Mangoni², Francesco Bolinesi², Vincenzo Saggiomo³, Maria Saggiomo³.

Affiliazioni

¹ Università di Genova, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Corso Europa 26, 16132 Genova (GE).

² Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Biologia, Via Mezzocannone 8, 80134 Napoli (NA).

³ Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli, Villa Comunale, 80121 Napoli (NA).

⁴ Museo Nazionale dell'Antartide, sezione di Genova, Viale Benedetto XV 5, 16132 Genova, Italia.

Sigla: IT17-005-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/7fb8e2c6-b11f-41a7-b494-44ceeb3bed2d>

Responsabile sito: Paolo Povero



Fig. 9 - Mappa del Mare di Ross e posizione della stazione Baia Terra Nova

Descrizione del sito e delle sue finalità

L'Italia è presente in Antartide dal 1985 con la base di ricerca Mario Zucchelli situata nella Baia Terra Nova (Fig. 10 e 11), tra il ghiacciaio Campbell e Cape Russell nella Terra Vittoria (Mare di Ross).



Fig. 10 - Stazione Mario Zucchelli

L'area, caratterizzata da una falesia di 9 km di lunghezza, è una delle poche zone costiere deglaciate in tutto il Mare di Ross ed è interessata da forti venti catabatici che influenzano la dinamica delle acque costiere con la formazione della Polynya di Baia Terra Nova (BTN) (Budillon *et al.* 2009).

Il mosaico di ecosistemi marini presenti (polynya, aree marginali ai ghiacci, ed aree di mare aperto) rappresenta un laboratorio ideale per lo studio delle caratteristiche biologiche ed ecologiche costiere antartiche, e per lo studio dei potenziali effetti dei cambiamenti climatici su larga scala. La polynya di BTN, infatti, è uno dei sistemi più produttivi dell'Oceano Meridionale, ed è caratterizzata da comunità planctoniche e bentoniche di notevole

ricchezza specifica che contribuiscono in modo significativo ai flussi di carbonio ed energia tra l'atmosfera e il comparto oceanico (Catalano *et al.* 2009).

Dal 2004 l'area costiera a sud della Base ha ottenuto lo status di Antarctic Specially Protected Area, (ASPA n. 161). Scopo dell'ASPA è quello di proteggere gli ambienti marini costieri che mostrano caratteristiche ecologiche peculiari di grande interesse scientifico. Gli ecosistemi marini di BTN sono stati oggetto di ricerche ecologiche condotte su lungo periodo (serie storiche) a partire dal 1987 nell'ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).

Lo studio è centrato soprattutto sulla valutazione delle variabili fisiche, chimiche e biologiche (comunità planctoniche, bentoniche ed ittiche) (Chiantore *et al.* 2000; Fabiano *et al.* 1997; Granata *et al.* 2009; Misic *et al.* 2006; Povero *et al.* 2003, 2006; Pusceddu *et al.* 2009; Vacchi *et al.* 2012). Particolare attenzione viene posta all'evoluzione della struttura e della dinamica del comparto pelagico e bentonico in relazione alla copertura del ghiaccio marino (Guglielmo *et al.* 2000).

I risultati ottenuti costituiscono una preziosa informazione per la comprensione delle problematiche legate al Global Change, e per le previsioni a breve e medio termine.

L'accesso ai dati storici è disponibile al pubblico per i dati già pubblicati, mentre per i dati ancora in fase di elaborazione va concordato con gli enti che hanno finanziato e/o eseguito le ricerche. Per quanto concerne le facilities disponibili quali ad esempio imbarcazioni, sistemi di campionamento, laboratori, ecc. si rimanda al programma nazionale di ricerche in Antartide (PNRA).



Fig. 11 - Base di ricerca Mario Zucchelli

Risultati

Grazie alle diverse spedizioni PNRA, a Baia Terra Nova è stato possibile svolgere campionamenti di acqua e benthos durante l'estate anche nell'ambito di progetti non sviluppati specificatamente in quest'area.

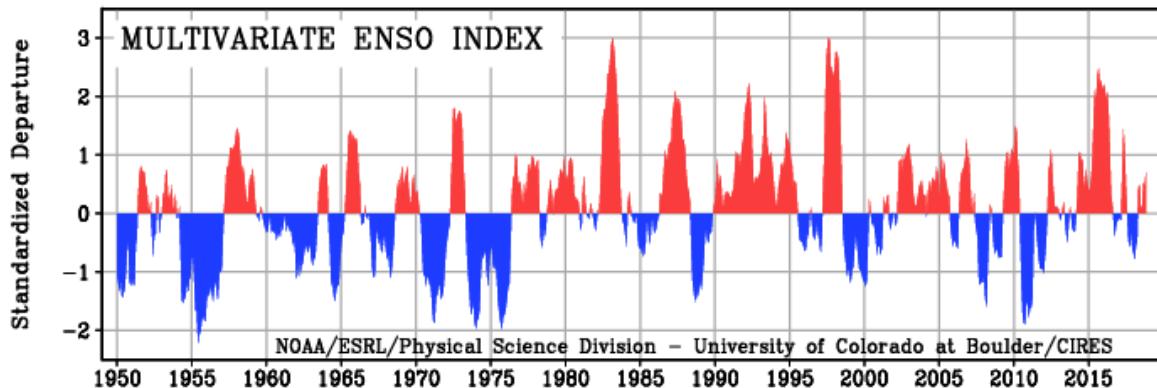


Fig. 12 - Evoluzione pluriennale dell'indice ENSO (MEI)

Per questo le principali variazioni interannuali delle variabili fisiche e biologiche sono state ampiamente condizionate dai periodi di campionamento (legate anche all'operatività del mezzo nautico). Inoltre, la dinamica del pack-ice, che guida i processi di produzione primaria e quindi la struttura delle comunità, risente della variabilità meteo-climatica globale (es. Multivariate ENSO index-MEI, Fig. 12) e delle dinamiche locali come ad esempio la presenza di grossi iceberg nell'area (Arrigo *et al.* 2002).

I molteplici studi condotti sulle comunità planctoniche a Baia Terra Nova (BTN) hanno evidenziato che nell'area pelagica gli elevati livelli di produzione biologica sono temporalmente limitati alla primavera e all'inizio dell'estate australe (Mangoni *et al.* 2017, 2018; Misic *et al.* 2017; Saggiomo *et al.* 2002) ma risultano essere fortemente influenzati dalla permanenza della copertura del pack-ice (Mangoni *et al.* 2004). Negli ultimi anni sono stati osservati elevati valori di biomassa fitoplanctonica non accompagnati da elevata efficienza trofica, che suggeriscono alterazioni rilevanti nella produttività estiva del Mare di Ross.

Di seguito vengono riportati i valori medi nella stazione PTF, registrati nell'ambito del progetto LTER-BTN, per le variabili fisiche, chimiche e biologiche della colonna d'acqua.

I primi 50 m della colonna d'acqua evidenziano una elevata variabilità legata soprattutto al periodo di campionamento e alle dinamiche di scioglimento dei ghiacci (Fig. 13 e Fig. 14).

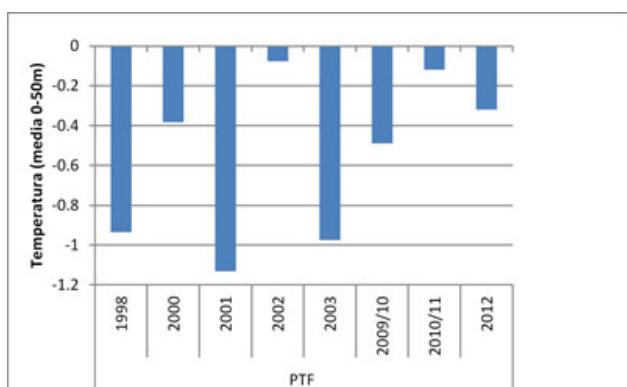


Fig. 13 - Evoluzione pluriennale della temperatura a BTN stazione costiera PTF durante il periodo di campionamento

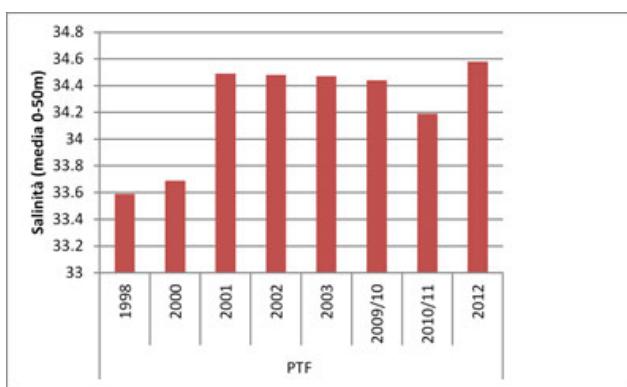


Fig. 14 - Evoluzione pluriennale della salinità a BTN stazione costiera PTF durante il periodo di campionamento

Tale variabilità è stata accompagnata da cambiamenti in termini di biomassa (Fig. 15) e composizione specifica delle fioriture fitoplanctoniche. La distribuzione dei principali gruppi funzionali ha mostrato anomalie significative, come ad esempio nell'estate australe 2009/10 (Mangoni *et al.* 2019) e 2016/17, quando sono state registrate fioriture coloniali di *Phaeocystis antarctica* in un'area e in una stagione caratterizzate di solito dalla prevalenza di diatomee (Mangoni *et al.* 2017; Smith *et al.* 2010). La comunità mesozooplanktonica riscontrata nei differenti anni evidenzia la prevalenza di copepodi, in particolare

di piccola taglia come *Oithona* spp. e *Oncaeidae* spp., molluschi pteropodi e policheti. (Fig. 16).

Gli studi sull'ecologia e sulla composizione specifica delle microalghe simpagiche rivelano la presenza di un super-bloom concentrato in uno strato di pochi centimetri di ghiaccio all'interfaccia ghiaccio-acqua ($>250 \text{ mg Chla m}^{-2}$) (Guglielmo *et al.* 2000; Mangoni *et al.* 2009a). Quando possibile è stata inoltre studiata la dinamica a partire dalle condizioni di copertura del pack per proseguire con le acque libere, ed è stata studiata la comunità simpatrica e il suo

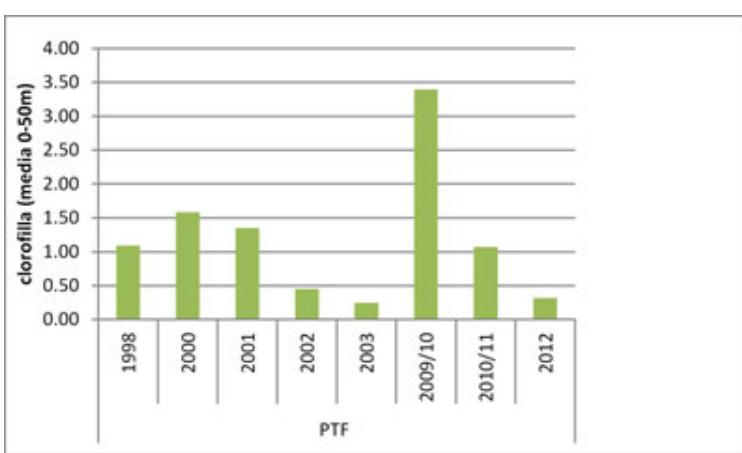


Fig. 15 - Evoluzione pluriennale della biomassa fitoplanctonica a BTN stazione costiera PTF durante il periodo di campionamento

possibile ruolo nell'innescare le fioriture allo scioglimento dei ghiacci (Mangoni *et al.* 2009 a, b; Saggiomo *et al.* 2017). Diversi progetti finanziati dal PNRA hanno permesso le attività presso il sito LTER di BTN. In particolare, negli ultimi anni dopo i progetti LTER MOA-BTN altri programmi hanno permesso attività nel sito per quanto riguarda la raccolta di variabili fisiche, chimiche e biologiche a lungo termine, tra i quali CEFA, ACAB, RoME, P-ROSE, NanoPANTA.

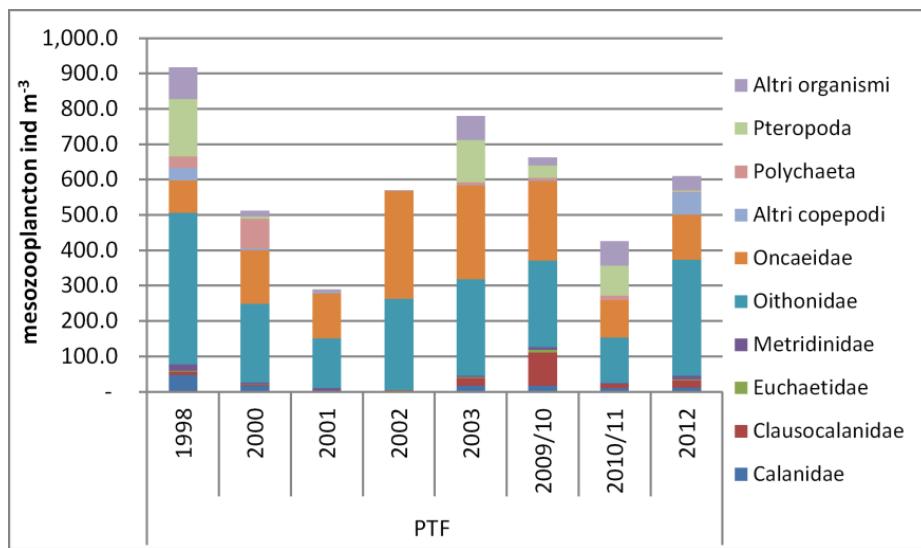


Fig. 16 - Evoluzione pluriennale della biomassa zooplanktonica a BTN stazione costiera PTF (0-100m) durante il periodo di campionamento

Attività di divulgazione

Attività sono state svolte in collaborazione con il MNA (Museo Nazionale dell'Antartide) e diversi corsi di studi e di dottorato degli Atenei coinvolti nelle attività di ricerca.

Prospettive future

La conduzione di serie storiche prevede un impegno di ricerca gravoso e la possibilità di continuare ricerche a lungo termine nel sito antartico di Baia Terra Nova è strettamente legata ai finanziamenti del PNRA. Soltanto le ricerche a lungo termine permettono d'individuare le tendenze delle dinamiche ambientali, argomento quanto mai attuale ora che si cominciano a percepire sintomi chiari e anche drammatici nell'evoluzione del sistema globale.

Negli ultimi anni si è inoltre cercato di attivare e rendere stabile un osservatorio marino ed a oggi tale proposta è ancora in fase di verifica. Continuano comunque raccolte dati con diversi progetti non specifici e le elaborazioni dei dati storici raccolti in un'ottica di analisi a lungo termine.

Ad esempio, l'enorme quantità di informazioni proveniente dai progetti PNRA fornisce una valida base per la valutazione delle principali variazioni avvenute nel corso degli ultimi 20 anni nella rete trofica pelagica del Mare di Ross. Tuttavia, non è ancora chiaro quali sono i fattori ambientali che guidano gli straordinari cambiamenti osservati recentemente nei processi di produzione primaria e nella prevalenza dei diversi gruppi funzionali del fitoplancton.

Abstract

The coast near Terra Nova Bay, between the Campbell glacier and Cape Russell along the Victoria Land (Ross Sea), is a 9 km length cliff. The marine area hosts large benthic communities, rich in species and biomass, and, during summer, is one of the few coastal areas free from pack ice in the Ross Sea, thus representing an ideal area for the study of the environmental characteristics in marine Antarctica. Moreover, since 2004 an Antarctic Specially Protected Area (ASPA n.161) has been established in the southern area for its peculiar ecological characteristics.

Physical-chemical features of the water column, together with phytoplanktonic and zooplanktonic biomass have been recorded since 1987 in the framework of different projects founded by PNRA, to study the structure and dynamic of these variables in the coastal area. Moreover, since the late 80s studies on benthos and fishes have been carried out. Studies of benthic pelagic coupling out in Terra Nova Bay (TNB) showed a close link between the biochemical composition of the organic matter in the water column and the material that accumulated in sediment traps and sediments, which came from interactions between physical (break up and melting of the ice cover, effect of katabatic winds) and biological processes (related to primary producers and grazers).

Ringraziamenti

Si ringraziano gli equipaggi e le squadre scientifiche delle navi *Italica*, *Malippe* e *Laura Bassi* per il loro continuo e inestimabile supporto. Si ringraziano i partner provenienti dagli USA per la condivisione di strutture e strumentazioni.

Si ringrazia il gruppo di supporto di Remote Sensing del Programma Nazionale per le Ricerche in Antartide per le immagini da satellite fornite.

Si ringraziano i gruppi PNRA CLIMA IV, T-Rex, MORSea CELEBeR e P-ROSE per il loro eccellente supporto nelle operazioni sul campo.

Si ringraziamo i progetti ROSS-MIZE, BIOSES, ABIOCLEAR, BEDROSE, Vector FIRS-

Si ringraziano i progetti PNRA LTER di BTN, LTER MOA-BTN, CEFA, ACAB, RoME, NanoPANTA.

Si ringrazia, Enea- PNRA, PNRA-AUS DA, DTA-CNR, Istituti ISMAR e ISP, Uni-Partenope e Uni-Genova, il MNA (Museo Nazionale dell'Antartide).

Siamo grati per i siti web MODIS Atmosphere e Archive and Distribution System forniti dalla NASA per l'accesso gratuito ai dati MODIS.

Bibliografia citata

- Arrigo K.R., Van Dijken G.L., Ainley D.G., Fahnestock M.A., Markus T. (2002). Ecological impact of a large Antarctic iceberg. *Geophysical Research Letter*, 29: 8-1 – 8-4.
- Bergami C., Capotondi L., Sprovieri M., Tiepolo M., Langone L., Giglio F., Ravaioli M. (2008). Mg/Ca ratios in the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) from plankton tows in the Ross Sea and the Pacific sector of the Southern Ocean (Antarctica): Comparison of different methodological approaches. *Chemistry and Ecology*, 24: 39-46.
- Bergami C., Capotondi L., Langone L., Giglio F., Ravaioli M. (2009). Distribution of living planktonic foraminifera in the Ross Sea and the Pacific sector of the Southern Ocean (Antarctica). *Marine Micropaleontology*, 73: 37-48.
- Budillon G., Castagno P., Aliani S., Spezie G., Padman L. (2011). Thermohaline variability and Antarctic bottom water formation at the Ross Sea shelf break. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58: 1002-1018.
- Budillon G., Castagno P., Bergamasco A., Aliani S., Spezie G. (2009). “Long term changes and front behavior at the Ross Sea shelf break (Antarctica)”. MOCA-09. 19-29 luglio 2009, Montreal, Canada.
- Castagno P., Capozzi V., Di Tullio G., Falco P., Fusco G., Rintoul S., Spezie G., Budillon G. (2019). “Rebound of shelf water salinity in the Ross Sea”. *Nature Communications*, DOI: 10.1038/s41467-019-13083-8.
- Catalano G., Budillon G., La Ferla R., Povero P., Ravaioli M., Saggiomo V., Accornero A., Azzaro M., Carrada G.C., Giglio F., Langone L., Mangoni O., Misic C., Modigh M. (2009). The Ross Sea. In: “Carbon and nutrient fluxes in continental margins: a global synthesis”, Part II. Kon-Kee L., Atkinson L., Quiñones R. and Talaue-McManus L. (Editors), Regional synthesis, Book Proposal for Springer Verlag, Global Change: The IGBP Series. 304-318.
- Chiantore M., Cattaneo-Vietti R., Povero P., Albertelli G. (2000). The population structure and ecology of the antarctic scallop *Adamussium colbecki* in Terra Nova Bay. In: *Ross Sea Ecology: Italian Antarctic Expeditions (1986-1995)* Faranda F.M., Guglielmo L., Ianora A. (eds.), Springer Heid. 41: 563-573.
- Chiariini F., Ravaioli M., Capotondi L. (2019). Interannual variability of vertical particle fluxes in the Ross Sea (Antarctica). *Nature Conservation*, 34: 417-440.
- Fabiano M., Chiantore M., Povero P., Cattaneo-Vietti R., Pusceddu A., Misic C., Albertelli G. (1997). Short-term variations in particulate matter flux in terra Nova Bay, Ross Sea. *Antarctic Science* 9-2: 143-149.
- Frignani M., Langone L., Labbrozzi L., Ravaioli M. (2000). Biogeochemical processes in the Ross Sea (Antarctica): present knowledge and perspectives. *Ross Sea Ecology*: 39-50.
- Granata A., Zagami G., Vacchi M., Guglielmo L. (2009). Summer and spring trophic niche of larval and juvenile *Pleuragramma antarcticum* in the Western Ross Sea, Antarctica. *Polar Biology* 32: 369-382.
- Guglielmo L., Carrada G.C., Catalano G., Dell'Anno A., Fabiano M., Lazzara L., Mangoni O., Pusceddu A., Saggiomo V. (2000). Structural and functional properties of sympagic communities in the annual sea ice at Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Polar Biology*, 23: 137-146.
- Labbrozzi L., Langone L., Frignani M., Ravaioli M. (1998). Burial rates for biogenic silica, organic C and N at three sites of the Ross Sea (Antarctica). In Albertelli G., Ambrosetti W., Piccazzo M. e Ruffiani Riva T., eds. *Atti XII Congr. Ass. Ital. Oceanogr. Limnol.* 2, Genova.
- Langone L., Frignani M., Labbrozzi L., Ravaioli M. (1998). Present-day biosiliceous sedimentation in the northwestern Ross Sea, Antarctica. *Journal of Marine Systems* 17(1-4): 459-470.
- Langone L., Frignani M., Ravaioli M., Bianchi C. (2000). Particle fluxes and biogeochemical processes in an area influenced by seasonal retreat of the ice margin (northwestern Ross Sea, Antarctica). *Journal of Marine Systems*, 27: 221-234.

-
- Langone L., Capotondi L., Sangiorgi F., Chiarini F., Dunbar R.B., Giglio F., Bergami F., Ravaioli M. (2018). Interannual variability of vertical particle fluxes in the Ross Sea (Antarctica), in “La Rete LTER-Italia verso una infrastruttura aperta e sostenibile”.
- Mangoni O., Modigh M., Conversano F., Carrada G.C., Saggiomo V. (2004). Effects of summer ice coverage on phytoplankton assemblages in the Ross Sea, Antarctica. Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 51: 1601-1617.
- Mangoni O., Carrada G.C., Modigh M., Catalano G., Saggiomo V. (2009a). Photoacclimation in Antarctic bottom ice algae: An experimental approach. Polar Biology 32: 325-335.
- Mangoni O., Saggiomo M., Modigh M., Catalano G., Zingone A., Saggiomo V. (2009b). The role of platelet ice microalgae in seeding phytoplankton blooms in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica): A mesocosm experiment. Polar Biology 32: 311-323.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Margiotta F., Budillon G., Cotroneo Y., Misic C., Rivaro P., Saggiomo M. (2017). Phytoplankton blooms during austral summer in the Ross Sea, Antarctica: driving factors and trophic implication. PLoS ONE, 12(4): Article number e0176033.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Escalera L., Saggiomo M. (2018). A review of past and present summer primary production processes in the Ross Sea in relation to changing ecosystems. Ecological Questions, 29: 75-85.
- Mangoni O., Saggiomo M., Bolinesi F., Castellano M., Povero P., Saggiomo V., DiTullio G.R. (2019). *Phaeocystis antarctica* unusual summer bloom in stratified antarctic coastal waters (Terra Nova Bay, Ross Sea), Marine Environmental Research, 151: Article number 104733.
- McGillicuddy D.J., Budillon G., Kustka A. (2017). “Mesoscale and high-frequency variability in the Ross Sea (Antarctica): an introduction to the Special Issue”. Journal of Marine Systems, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.10.010>.
- Misic C., Castellano M., Ruggieri N., Povero P. (2006). Dissolved organic matter characterisation and temporal trends in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). Estuarine, Coastal and Shelf Science, 70: 405-414.
- Misic C., Covazzi Harriague A., Giglio F., La Ferla R., Rappazzo A.C., Azzaro M. (2017). Relationships between electron transport system (ETS) activity and particulate organic matter features in three areas of the Ross Sea (Antarctica). Journal of Sea Research 129, 42-52.
- Povero P., Misic C., Ossola C., Castellano M., Fabiano M. (2003). The trophic role and ecological implications of oval faecal pellets in Terra Nova Bay (Ross Sea). Polar Biology 26-5: 302-310.
- Povero P., Castellano M., Ruggieri N., Monticelli S.L., Saggiomo V., Chiantore M., Guidetti M., Cattaneo-Vietti R. (2006). Water column features and their relationship with sediments and benthic communities along the Victoria Land coast, Ross Sea, summer 2004. Antarctic Science 18: 603-613.
- Pusceddu A., Dell'Anno A., Vezzulli L., Fabiano M., Saggiomo V., Cozzi S., Catalano G., Guglielmo L. (2009). Microbial loop malfunctioning in the annual sea ice at Terra Nova Bay (Antarctica). Polar Biology 32: 337-346.
- Saggiomo V., Catalano G., Mangoni O., Budillon G., Carrada G.C. (2002). Primary production processes in ice-free waters of the Ross Sea (Antarctica) during the austral summer 1996. Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 49: 1787-1801.
- Saggiomo M., Poulin M., Mangoni O., Lazzara L., De Stefano M., Sarno D., Zingone A. (2017). Spring-time dynamics of diatom communities in landfast and underlying platelet ice in Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica. Journal of Marine Systems, 166: 26-36.
- Sansiviero M., Morales Maqueda M.Á., Fusco G., Aulicino G., Flocco D., Budillon G. (2017). Modelling sea ice formation in the Terra Nova Bay polynya. Journal of Marine Systems, 166: 4-25.
- Smith W.O., Dinniman M.S., Tozzi S., DiTullio G.R., Mangoni O., Modigh M., Saggiomo V. (2010). Phytoplankton photosynthetic pigments in the Ross Sea: patterns and relationships among functional groups. Journal of Marine Systems, 82: 177-185.

Vacchi M., DeVries A.L., Evans C.W., Bottaro M., Ghigliotti L., Cutroneo L., Pisano E. (2012). A nursery area for the Antarctic silverfish *Pleuragramma antarcticum* at Terra Nova Bay (Ross Sea): First estimate of distribution and abundance of eggs and larvae under the seasonal sea-ice. *Polar Biology* 35: 1573-158.

Prodotti del Macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Aulicino G., Fusco G., Kern S., Budillon G. (2013). "Estimation of sea-ice thickness in Ross and Weddell seas from SSM/I brightness temperatures". *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*; 10.1109/TGRS.2013.2279799.
- Azzaro M., Packard T.T., Monticelli L.S., Maimone G., Rappazzo A.C., Azzaro F., Grilli F., Crisafi E., La Ferla R. (2019). Microbial metabolic rates in the Ross Sea: the ABIOCLEAR Project. *Nature Conservation* 34: 441-475. DOI: 10.3897/natureconservation.34.30631.
- Bergami C., Capotondi L., Langone L., Giglio F., Ravaioli M. (2009). Distribution of living planktonic foraminifera in the Ross Sea and the Pacific sector of the Southern Ocean (Antarctica). *Marine Micropaleont*, 73 37-48.
- Bergami C., Capotondi L., Sprovieri M., Tiepolo M., Langone L., Giglio F., Ravaioli M. (2008). Mg/Ca ratios in the planktonic foraminifer *Neogloboquadrina pachyderma* (sinistral) from plankton tows in the Ross Sea and the Pacific sector of the Southern Ocean (Antarctica): comparison of different methodological approaches. *Chemistry and Ecology*, 24: 39-46.
- Budillon G., Castagno P., Aliani S., Spezie G., Padman L. (2011). Thermohaline variability and Antarctic bottom water formation at the Ross Sea shelf break. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 58: 1002-1018.
- Castagno P., Falco P., Dinniman M.S., Spezie G., Budillon G. (2017). "Temporal variability of the Circumpolar Deep Water inflow onto the Ross Sea continental shelf". *Journal of Marine Systems*, 166: 37-49.
- Cecchetto M., Alvaro M.C., Ghiglione C., Guzzi A., Mazzoli C., Piazza P., Schiaparelli S. (2017). Distributional records of Antarctic and sub-antarctic ophiuroidea from samples curated at the Italian National Antarctic Museum (MNA): Check-list update of the group in the Terra Nova Bay area (Ross Sea) and launch of the MNA 3D model 'Virtual gallery'. *ZooKeys* 2017: 61-79.
- Cecchetto M., Lombardi C., Canese S., Cocito S., Kuklinski P., Mazzoli C., Schiaparelli S. (2019). The bryozoa collection of the Italian national antarctic museum, with an updated checklist from Terra Nova Bay, Ross Sea. *ZooKeys*, 812: 1-22.
- Dell'Acqua O., Brey T., Vacchi M., Chiantore M. (2017). Predation impact of the notothenioid fish *Trematomus bernacchii* on the size structure of the scallop *Adamussium colbecki* in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Polar Biology* 40: 1557-1568.
- Dell'Acqua O., Ferrando S., Chiantore M., Asnaghi V. (2019). The impact of ocean acidification on the gonads of three key Antarctic benthic macroinvertebrates. *Aquatic Toxicology* pp. 19-29.
- Dell'Acqua O., Trębala M., Chiantore M., Hannula S.-P. (2019). Robustness of *Adamussium colbecki* shell to ocean acidification in a short-term exposure. *Marine Environmental Research* 149: 90-99.
- Ghilione C., Alvaro M.C., Cecchetto M., Canese S., Downey R., Guzzi A., Mazzoli C., Piazza P., Rapp H.T., Sara' A., Schiaparelli S. (2018). Porifera collection of the Italian National Antarctic Museum (MNA), with an updated checklist from Terra Nova Bay (Ross Sea). *ZooKeys* 2018: 137-156.
- Ghilione C., Alvaro M.C., Griffiths H.J., Linse K., Schiaparelli S. (2013). Ross Sea Mollusca from the Latitudinal Gradient Program: R/V Italica 2004 Rauschert dredge samples. *ZooKeys* 341: 37-48.
- Ghigliotti L., Cheng C.C.-H., Ozouf-Costaz C., Vacchi M., Pisano E. (2015). Cytogenetic diversity of notothenioid fish from the Ross Sea: historical overview and updates. *Hydrobiologia*, 761: 373-396.

-
- Ghigliotti L., Ferrando S., Carlig E., Di Blasi D., Gallus L., Pisano E., Hanchet S., Vacchi M. (2017). Reproductive features of the Antarctic silverfish (*Pleuragramma antarctica*) from the western Ross Sea. *Polar Biology*, 40: 199-211.
- Granata A., Zagami G., Vacchi M., Guglielmo L. (2009). Summer and spring trophic niche of larval and juvenile *Pleuragramma antarcticum* in the Western Ross Sea, Antarctica. *Polar Biology* 32: 369-382.
- Guidetti P., Ghigliotti L., Vacchi M. (2015). Insights into spatial distribution patterns of early stages of the Antarctic silverfish, *Pleuragramma antarctica*, in the platelet ice of Terra Nova Bay, Antarctica. *Polar Biology*, 38, 333-342.
- La Ferla R., Maimone G., Lo Giudice A., Azzaro F., Cosenza A., Azzaro M. (2015). Cell size and other phenotypic traits of prokaryotic cells in pelagic areas of the Ross Sea (Antarctica). *Hydrobiologia* 761, 181-194.
- Mangoni O., Carrada G.C., Modigh M., Catalano G., Saggiomo V. (2009). Photoacclimation in Antarctic bottom ice algae: An experimental approach. *Polar Biology* 32: 325-335.
- Mangoni O., Saggiomo M., Modigh M., Catalano G., Zingone A., Saggiomo V. (2009). The role of platelet ice microalgae in seeding phytoplankton blooms in Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica): A mesocosm experiment. *Polar Biology* 32: 311-323.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Escalera L., Saggiomo M. (2018). A review of past and present summer primary production processes in the Ross Sea in relation to changing ecosystems. *Ecological Questions*, 29: 75-85.
- Mangoni O., Saggiomo V., Bolinesi F., Margiotta F., Budillon G., Cotroneo Y., Misic C., Rivaro P., Saggiomo M. (2017). Phytoplankton blooms during austral summer in the Ross Sea, Antarctica: driving factors and trophic implication. *PLoS ONE*, 12(4): Article number e0176033.
- Mangoni O., Saggiomo M., Bolinesi F., Castellano M., Povero P., Saggiomo V., DiTullio G.R. (2019). *Phaeocystis antarctica* unusual summer bloom in stratified antarctic coastal waters (Terra Nova Bay, Ross Sea), *Marine Environmental Research*, 151: Article number 104733.
- McGillicuddy D.J., Budillon G., Kustka A. (2017). "Mesoscale and high-frequency variability in the Ross Sea (Antarctica): an introduction to the Special Issue". *Journal of Marine Systems*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.10.010>.
- Misic C., Covazzi Harriague A., Giglio F., La Ferla R., Rappazzo A.C., Azzaro M. (2017). Relationships between electron transport system (ETS) activity and particulate organic matter features in three areas of the Ross Sea (Antarctica). *Journal of Sea Research* 129, 42-52.
- Misic C., Covazzi Harriague A., Mangoni O., Aulicino G., Castagno P., Cotroneo Y. (2017). Effects of physical constraints on the lability of POM during summer in the Ross Sea. *Journal of Marine Systems*, 166: 132-143.
- O'Driscoll R.L., Canese S., Ladroit Y., Parker S.J., Ghigliotti L., Mormede S., Vacchi M. (2018). First in situ estimates of acoustic target strength of Antarctic toothfish (*Dissostichus mawsoni*). *Fisheries Research*, 206: 79-84.
- Peirano A., Bordone A., Marini S., Piazza P., Schiaparelli S. (2016). A simple time-lapse apparatus for monitoring macrozoobenthos activity in Antarctica. *Antarctic Science*, 28: 473-474.
- Pusceddu A., Dell'Anno A., Vezzulli L., Fabiano M., Saggiomo V., Cozzi S., Catalano G., Guglielmo L. (2009). Microbial loop malfunctioning in the annual sea ice at Terra Nova Bay (Antarctica). *Polar Biology* 32: 337-346.
- Rivaro P., Ardini F., Grotti M., Aulicino G., Cotroneo Y., Fusco G., Mangoni O., Bolinesi F., Saggiomo M., Celussi M. (2018). Mesoscale variability of iron speciation in the Ross Sea shelf area (Antarctica) during summer 2014. *Chemistry and Ecology*, 35: 1-19.
- Rivaro P., Ianni C., Langone L., Ori C., Aulicino G., Cotroneo Y., Saggiomo M., Mangoni O. (2015). Physical and biological forcing of mesoscale variability in the carbonate system of the Ross Sea (Antarctica) during summer 2014. *Journal of Marine Systems*, 166: 144-158.

-
- Rusciano E., Budillon G., Fusco G., Spezie G. (2013). "Evidence of atmosphere – sea ice – ocean coupling in the Terra Nova Bay polynya (Ross Sea – Antarctica)". *Continental Shelf Research*, 61-62: 112-124.
- Saggiomo M., Poulin M., Mangoni O., Lazzara L., De Stefano M., Sarno D., Zingone A. (2017). Spring-time dynamics of diatom communities in landfast and underlying platelet ice in Terra Nova Bay, Ross Sea, Antarctica. *Journal of Marine Systems*, 166: 26-36.
- Sansiviero M., Morales Maqueda M.Á., Fusco G., Aulicino G., Flocco D., Budillon G. (2017). "Modelling sea ice formation in the Terra Nova Bay polynya". *Journal of Marine Systems*, 166: 4-25.
- Schiaparelli S., Ghiglione C., Alvaro M.C., Griffiths H.J., Linse K. (2014). Diversity, abundance and composition in macrofaunal molluscs from the Ross Sea (Antarctica): Results of fine-mesh sampling along a latitudinal gradient. *Polar Biology*, 37: 859-877.
- Schiaparelli S., Jirkov I.A. (2016). A reassessment of the genus *Amphicteis* Grube, 1850 (Polychaeta: Amphaetidae) with the description of *Amphicteis teresae* sp. nov. from Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica). *Italian Journal of Zoology*, 83: 531-542.
- Vacchi M., DeVries A.L., Evans C.W., Bottaro M., Ghigliotti L., Cutroneo L., Pisano E. (2012). A nursery area for the Antarctic silverfish *Pleuragramma antarcticum* at Terra Nova Bay (Ross Sea): First estimate of distribution and abundance of eggs and larvae under the seasonal sea-ice. *Polar Biology* 35: 1573-158.

Riviste non ISI

Vichi M., Coluccelli A., Ravaioli M., Giglio F., Langone L., Azzaro M., Azzaro F., La Ferla R., Catalano G., Cozzi S. (2009). Modelling approach to the assessment of biogenic fluxes at a selected Ross Sea site, Antarctica. *Ocean Science Discussion*, 6, 1477-1512.

Capitoli di libro

Bartolucci E., Calace N., Giglio F., Pietroletti M., Ravaioli M. (2015). Buried organic matter in different sites of Ross Sea (Antarctica): transformation processes as function of sedimentation time. In: "AA.VV. Fulvic and Humic Acids: Chemical Composition, Soil Applications and Ecological Effects" Nova Science Publishers (Ed). pp. 15.

Catalano G., Budillon G., La Ferla R., Povero P., Ravaioli M., Saggiomo V., Accornero A., Azzaro M., Carrada G.C., Giglio F., Langone L., Mangoni O., Misic C., Modigh M. (2009). The Ross Sea. In: "Carbon and nutrient fluxes in continental margins: a global synthesis", Part II. Kon-Kee Liu, L. Atkinson, R. Quiñones and L. Talaue-McManus (Editors), Regional synthesis, Book Proposal for Springer Verlag, Global Change: The IGBP Series. 304-318.

Catalano G., Ravaioli M., Giglio F., Langone L., Budillon G., Accornero A.P., Saggiomo V., Modigh M., Povero P., Misic C., Mangoni O., La Ferla R., Azzaro M. (2007). La pompa biologica del carbonio nel Mare di Ross (Antartide). In: Clima e cambiamenti climatici, le attività di ricerca del CNR. Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S. (Editors), p. 271.

Catalano G., Ravaioli M., Giglio F., Langone L., Budillon G., Accornero A., Saggiomo V., Modigh M., Povero P., Misic C., Mangoni O., Carrada G.C., La Ferla R., Azzaro M. (2007). La pompa biologica del carbonio nel mare di Ross (Antartide). In "Volume Clima" – CNR, Dipartimento Terra e Ambiente DTA, Roma.

Giglio F., Capotondi L., Langone L., Ravaioli M. (2007). Le Ricerche climatiche e paleoclimatiche in Antartide: un tuffo nel passato presente e futuro del clima globale. In: Clima e cambiamenti climatici, le attività di ricerca del CNR. Carli B., Cavarretta G., Colacino M., Fuzzi S. (Editors), pp. 287.

La Ferla R., Azzaro F., Azzaro M., Maimone G., Monticelli L.S. (2007). Influenza sul ciclo del Carbonio della variabilità spazio-temporale della biomassa e della attività microbica nel Mare di Ross (Antartide). In "Volume Clima" – CNR, Dipartimento Terra e Ambiente DTA, Roma.

Prodotti divulgativi

- Azzaro F. (2017). "Una finestra sull'Antartide: XXXII spedizione in Antartide, campagna oceanografica sulla nave Italica", Relazione presso l'Istituto Tecnico per i Trasporti e la Logistica "Caio Duilio" di Messina 02/05/2017.
- Azzaro M., Langone L., Maimone G., La Ferla R. (2013). Carbon dioxide production rates in the Ross Sea (Antarctica). 3rd International Symposium: Effects of climate change on the World's Ocean. Santos, March 2013.
- Azzaro M. (2018). "Da Messina ...ai Poli": le ricerche in aree polari. Relazione presso il Club Alpino Italiano (CAI), Messina, 08/05/2018.
- Azzaro M. *et al.* (2017). Community level physiological profiles and extracellular enzymatic activities in the Circumpolar Deep Water (CDW) in the Ross Sea. in XII th SCAR Biology Symposium, Leuven Belgium, 10-14 July 2017.
- Budillon G., Fusco G., Rusciano E., Spezie G. (2009). Terra Nova Bay polynya: a small coastal area affecting basin scale oceanic conditions. Proceedings of Ocean Observations, Venezia 2009: 1-8.
- Giordano P., Giglio F., Ravaioli M., Capello M., Cutroneo L., Dunbar R.B., Mucciarone D.A., Smith W.O., Manno C. and Langone L. (2020). Long time-series of export fluxes in the western Ross Sea (Antarctica), EGU General Assembly 2020, Online, 4-8 May 2020, EGU2020-22442, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-22442>.
- La Ferla R. (2019). Functioning of microbial world in polar environments. Bilateral Workshop CNR-Royal Society, Science of Polar Regions, Venice 20-21 June 2019.
- La Ferla R., Azzaro F., Azzaro M., Maimone G. and Monticelli L.S. (2008). Variability of the microbial biomass and activity in the Ross Sea (Antarctica) and its implication on ecosystem carbon cycle. Geophysical Research Abstracts, 10, EGU2008-A-00000.
- La Ferla R. *et al.* (2018). Microbial Respiration in the Ross Sea, Antarctica (ROSSMIZE and P-ROSE Projects). POLAR 2018, Abstract Proceedings Open Science Conference 19 – 23 June 2018 Davos, Switzerland.
- La Ferla R. *et al.* (2018). Phenotypic Traits of Prokaryotic Cells Variability in the Southern Ocean. POLAR 2018, Abstract Proceedings Open Science Conference 19 – 23 June 2018 Davos, Switzerland.
- La Ferla R. *et al.* (2018). The Microbial Response to Climate Change in the Southern Ocean: Novel Insights on the Variability of Respiration in the Ross Sea (Antarctica), Ocean Science Meeting OSM -AGU 2018, Oregon.
- La Ferla R., Lo Giudice A., Monticelli L.S., Crisafi E., Azzaro F., Maimone G., Zacccone R., Azzaro M. (2016). Microbial community inhabitants in the Ross Sea. CCAMLR – Symposium on Ross Sea Ecosystem. Bologna 4-15 Luglio 2016.
- La Ferla R., Azzaro F., Azzaro M., Maimone G., Monticelli L.S., Paranhos R. (2012). An overview on the variability of microbial biomass and activities in the Ross Sea (Antarctica) from 1990 to 2005. Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO-2012, 13 a 16 de novembro de 2012 Rio de Janeiro.
- Ravaioli M., Chiarini F., Tarozzi L. (2019). Considerazioni su Cambiamenti climatici e biodiversità, Esempi di Studi e riflessioni di genere. Convegno Lecce Donne e Scienza 2019, submitted. Volume CNR-IRPPS Monografie.
- Specchiulli A. *et al.* (2018). Dissolved Organic Matter (DOM) and Microbial Enzymes in the Ross Sea. POLAR 2018, Abstract Proceedings Open Science Conference 19 – 23 June 2018 Davos, Switzerland.
- Zacccone R. *et al.* (2018). Extracellular Enzymatic Activities in the Ross Sea (CELEBeR Project). POLAR 2018, Abstract Proceedings Open Science Conference 19 – 23 June 2018 Davos, Switzerland.
- Zacccone R. *et al.* (2018). Total and Free Enzymes in the Ross Sea during the Austral Summer 2017. POLAR 2018, Abstract Proceedings Open Science Conference 19 – 23 June 2018 Davos, Switzerland.

IT18-T TENUTA DI CASTELPORZIANO

Autori

Daniele Cecca¹, Matteo Piccinno², Giulia Bonella¹

Affiliazione

¹ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano.

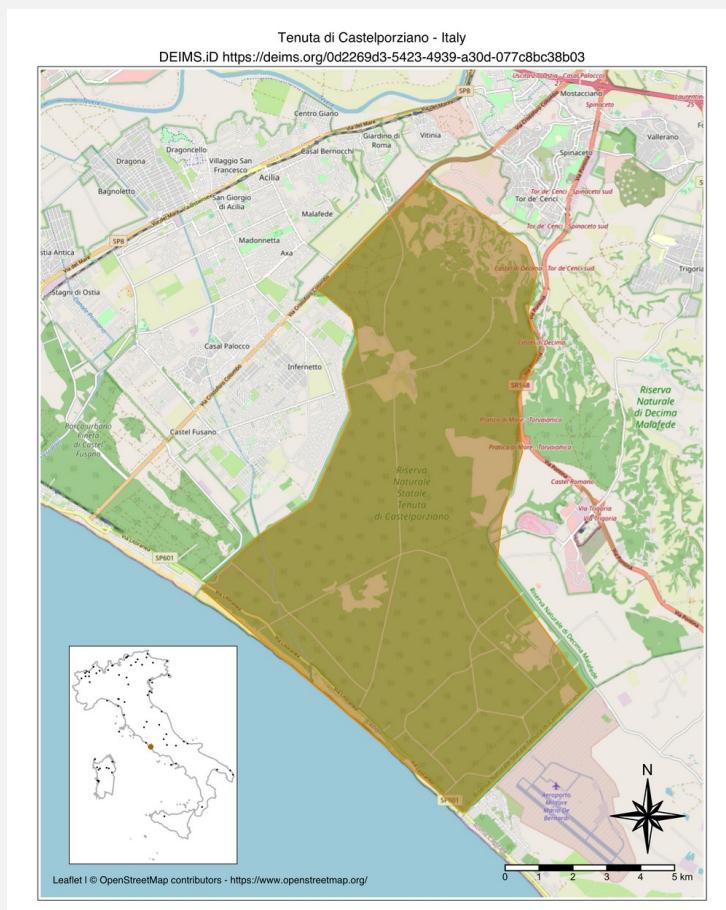
² Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL.

DEIMS.ID: <https://deims.org/6353c203-f55f-41a0-8cf1-51f4bd5d1fc0>

Referente Macrosito: Daniele Cecca

Elenco dei Siti di ricerca del macrosito: sito unico

Tipologia di ecosistema: terrestre



Citare questo capitolo come segue: Cecca D., Piccinno M., Bonella G. (2021). IT18-T Tenuta di Castelporziano, p. 589-604. DOI: 10.5281/zenodo.5584765. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

La Tenuta presidenziale di Castelporziano (Lat. 41° 44' 23" N, Long. 12° 24' 11.8" E) si estende alla periferia occidentale della Capitale sul sistema dunale compreso tra Ostia e Pratica di Mare a circa 20 Km dal centro di Roma. Presenta confini ben definiti e per parte del suo perimetro è delimitata da un muro di recinzione. I suoi ingressi principali si trovano in Loc. Malafede, sulla via Cristoforo Colombo, in Loc. Malpasso, su una deviazione della S.S. n. 148 Pontina e in Loc. Infernetto, su via di Castelporziano.



Fig. 1 - Quercia secolare (*Quercus ilex* L.) cresciuta sui resti di una villa romana (Fonte: Archivio Tenuta di Castelporziano)

favorevoli alla vegetazione mediterranea ma con potenzialità anche per forme forestali più mesofile ed igrofile che, in funzione principalmente della falda e della morfologia, possono diventare dominanti già a poche centinaia di metri dalla linea di costa (Pignatti *et al.* 2001).

Lungo la sua fascia costiera si conservano le primitive caratteristiche dell'ambiente naturale dell'Italia centrale tirrenica, nonostante l'inarrestabile espansione della città di Roma verso il mare. La superficie complessiva risulta di circa 6000 ha, quasi interamente ricoperti da boschi, costituiti in prevalenza da querceti e foreste miste di latifoglie, da soprassuoli a prevalenza di leccio (Figura 1), da pinete, sugherete, e da zone a macchia mediterranea. La restante superficie è rappresentata da pascoli, zone agrarie e zone naturali aperte. Sono presenti nove Habitat forestali sensu Direttiva Habitat, tra questi due risultano essere prioritari: Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster* (2270) e Matorral arborescenti di *Laurus nobilis* (5230) (Spada F.; Agrillo E. 2018).

In questi luoghi sono stati segnalati oltre 6000 taxa, molti dei quali monitorati e studiati. Tra le emergenze faunistiche si annoverano ungulati come *Capreolus capreolus* spp. *Italicus*, *Sus scrofa*, *Dama dama* e *Cervus elaphus*, specie ornitiche come *Coracias garrulus*, *Bubulcus ibis*, o rettili come *Elaphe quatuorlineata*, *Emys orbicularis*. Nelle aree aperte sono invece presenti allevamenti allo stato brado di bovini ed equini di razza maremmana.

La vasta copertura boschiva presente nell'area è considerata la parte residua del grande complesso forestale che occupava la pianura costiera laziale e le aree alluvionali del delta del Tevere. In epoca romana, quest'area ricadeva nel territorio dell'antica Laurentum che Virgilio riteneva luogo dello sbarco di Enea. Dal V secolo la Tenuta entra nel sistema delle *domus cultae* e risulterà di proprietà di diversi

È situata in una zona pianeggiante, contrassegnata nella fascia costiera da formazioni dunali scarsamente elevate (dune recenti), intervallate da bassure (lame), mentre il rimanente (duna antica) è costituito dal terrazzo costiero, pianeggiante o con pendenze alquanto moderate; la parte interna si presenta con una morfologia più movimentata, caratterizzata da rilievi abbastanza pronunciati, sino a 78 m s.l.m. (Loc. "Farnete") e profonde forre, è costituita da terreni di origine vulcanica ed alluvionale (Scarascia Mugnozza G.T. 2001).

Castelporziano si trova quindi in condizioni climatiche

istituti religiosi. La forma prevalente di gestione del territorio è stata l'attività di caccia, lo sfruttamento della macchia e del bosco, le coltivazioni agrarie in piccole superfici e l'allevamento brado. Nel 1568 fu venduta a tre privati, dando inizio al lungo dominio della famiglia Del Nero che mantenne la destinazione prevalentemente boschiva fino al 1823, quando la Tenuta di Castelporziano fu ceduta al duca Vincenzo Grazioli. Il nuovo proprietario rinnovò la gestione della Tenuta e il suo assetto paesaggistico (Gajeri E. 2017). Nel 1872 il Governo Italiano acquistò dai Duchi Grazioli le Tenute di Castelporziano, Trafusa e Trafusina, che furono assegnate alla Corona, dando all'esercizio venatorio la prima finalità gestionale della Tenuta. Dal 1948 Castelporziano fu assegnata in dotazione al Presidente della Repubblica e nel 1985 fu espropriata e annessa anche la Tenuta di Capocotta, sventando un progetto di lottizzazione edilizia (SGPR *et al.* 2010).

In seguito al Decreto Presidenziale 136/N del 1999, che riconosceva l'importante valore ambientale, culturale e naturalistico della Tenuta, il 12 maggio 1999, con decreto del Ministro dell'Ambiente, l'intero compendio è stato riconosciuto Riserva naturale statale. L'area ai sensi della Direttiva Comunitaria 79/409 CEE (successivamente abrogata e sostituita integralmente dalla Direttiva 2009/147/CE) è stata designata ZPS (Zona a Protezione Speciale) con il D.M. 3 aprile 2000. Inoltre, ai sensi della Direttiva Habitat 92/43/CEE sono stati individuati due Siti d'Interesse Comunitario (SIC), nell'area in Loc. "Farnete" (quercenti igrofili) e in corrispondenza della Loc. "Grotta di Piastra" (fascia costiera), pertanto Castelporziano è inserita nella Rete Natura 2000. Nel 2017 i due SIC (IT6030027, IT6030028) sono stati designati quali Zone Speciali di Conservazione (ZSC) della regione biogeografica mediterranea (G.U. n. 209, 7-9-2017).

In conformità dell'Art. 2 DPR 69/N del 17 gennaio 2020, la tutela e la valorizzazione degli ambienti della Tenuta di Castelporziano persegue i seguenti obiettivi:

a) la conservazione, il ripristino e la valorizzazione del capitale naturale, in termini di biodiversità di habitat, di specie e di risorse genetiche, assicurando la fornitura di servizi ecosistemici e il mantenimento della connettività ecologica anche in considerazione del contesto urbanistico e delle relazioni con la città;

b) la gestione degli ecosistemi in adesione al principio dello sviluppo sostenibile, anche mediante attività agrozootecniche e forestali ecocompatibili;

c) l'attuazione del Piano di gestione della Riserva Naturale statale di Castelporziano, così come definito all'articolo 6;

d) la salvaguardia del paesaggio e del capitale culturale archeologico, storico-artistico e architettonico, nonché la promozione dei valori antropologici legati al mantenimento delle pratiche e delle conoscenze tradizionali;

e) il contributo al raggiungimento di obiettivi strategici globali, attuando azioni di contrasto al cambiamento climatico, alla desertificazione ed alla perdita di biodiversità, e di promozione dell'equità e del benessere sociale, nel quadro dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite;

f) la promozione e la realizzazione di programmi di ricerca scientifica e di monitoraggio ambientale, culturale e sociale, con particolare riferimento ai caratteri peculiari del territorio e agli impegni assunti nell'ambito delle politiche di settore attinenti;

g) la promozione e l'attuazione delle attività di educazione ambientale e allo sviluppo sostenibile, di formazione e divulgazione scientifica, di fruizione collettiva e inclusione sociale, compatibili con la tutela ambientale della Tenuta e con la destinazione istituzionale del compendio in quanto parte della Dotazione del Presidente della Repubblica.

Vigono altresì gli obiettivi e le misure di conservazione Natura 2000 adottate con D.G.R. 159 del 14/04/2016, integrate nel Piano di Gestione dell'area protetta.

Insieme al Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano – Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, il Consiglio scientifico di Castelporziano e il Comitato di coordinamento interistituzionale sono i due organismi consultivi che permettono di perseguire i suddetti obiettivi di tutela e conservazione con ricerche, progetti e strumenti finanziari.

Abstract

The Presidential Estate of Castelporziano stretches itself over an area of about 6000 ha and is located approximately 20 km from the city of Rome. The territory is characterized by remarkable natural features. It shows most of the typical Mediterranean ecosystems (relict strips of lowland forest with hygrophilous vegetation, deciduous and evergreen mixed oak woods, pine forests of stone pine, Mediterranean scrub, dune vegetation). Inside the Estate, there are two SCI (Sites of Community Interest): one concerning the coastal strip (IT6030027) and the other one concerning hygrophilous oak-woods (IT6030028). From a botanical point of view this area, together with the neighbouring Castelfusano territory, represents what remains of the vast forest system that covered the entire delta of the Tiber and the surrounding areas. The land is mostly flat, but in the North there are modest reliefs that are not higher than 78 m. on sea level. A complex set of ancient dunes and a chain of more recent dunes stretch out along the coastline. There are many temporary and permanent natural pools and wetland areas with seasonal floodings caused by meteoric water and groundwater, which usually dry out during summer and represent sites with the greatest biodiversity. From an ecological point of view, those “relict wetland areas” play actually a very important role for biodiversity because of plant species which are typical of hydrosoil and in the past were widespread but have now almost disappeared.

Tenuta di Castelporziano

Autori

Daniele Cecca¹, Matteo Piccinno², Giulia Bonella¹

Affiliazione

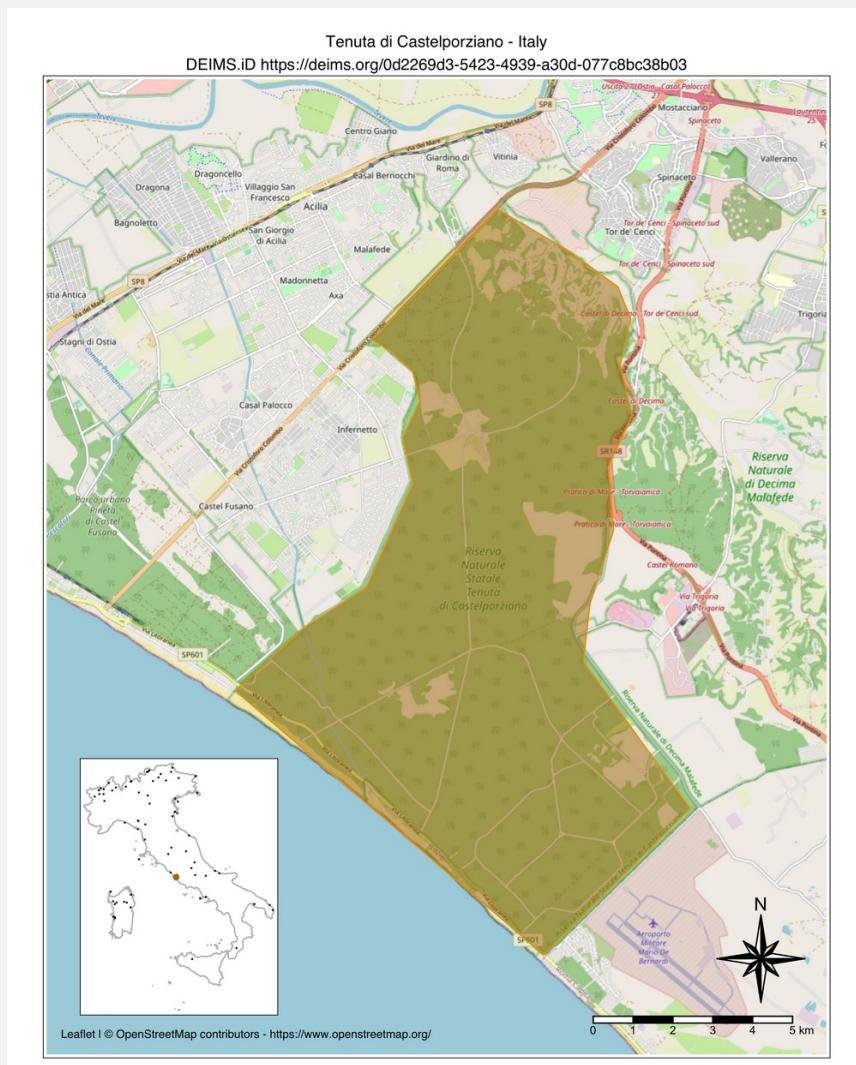
¹ Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano

² Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL

Sigla: IT18-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/0d2269d3-5423-4939-a30d-077c8bc38b03>

Responsabile Sito: Daniele Cecca



Risultati

L'elemento qualificante di Castelporziano è rappresentato dall'elevato valore naturalistico, ambientale ed archeologico proprio di quest'area e che si è affermato, a livello nazionale ed internazionale, anche in seguito alle numerose iniziative di studio, di ricerca e alla promozione di visite, incontri e convegni. La produzione scientifica e letteraria su Castelporziano è talmente ricca e multidisciplinare che ha richiesto la pubblicazione di un volume di raccolta e classificazione per area tematica della bibliografia presente, edita su volumi dell'Accademia dei XL o su riviste indicizzate (Maffei L. *et al.* 2013).

Per garantire il raggiungimento degli obiettivi di monitoraggio ai quali Castelporziano deve assolvere in quanto Riserva Naturale statale, appartenente anche alla Rete Natura 2000, il Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano, supportato dal Consiglio Scientifico, può richiedere lo svolgimento di ricerche ecologiche finalizzate al mantenimento in uno stato di conservazione soddisfacente degli habitat e delle specie. Le attività di ricerca e monitoraggio ambientale hanno avuto inizio già negli anni '80, garantendo un monitoraggio di lungo termine significativo (Scarascia Mugnozza G.T. 2011), grazie anche alla collaborazione con enti di ricerca, università, nonché società scientifiche e associazioni di settore (S.G.P.R. *et al.* 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999). Tali attività hanno un carattere multidisciplinare inherente lo stato dell'ambiente e degli ecosistemi della Tenuta, riguardando la biodiversità vegetale e animale, le componenti ecologiche tanto biotiche quanto abiotiche. Esse sono confluite nel tempo in un archivio scientifico multidisciplinare (AA.VV. 2001, 2006, 2013, 2021; Giordano E. 2015, S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica *et al.* 2015) che costituisce la fonte principale di informazioni della banca dati georeferenziata in fase di realizzazione a cura del Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano.

È possibile individuare almeno 6 macro aree di ricerca principali: Clima e Atmosfera, Risorse idriche e geomorfologia, Biodiversità vegetale, Biodiversità e gestione della fauna, Gestione forestale, Fascia Costiera.

1. Clima, Atmosfera: monitoraggio meteo-climatico per mezzo di 12 stazioni dislocate all'interno del sito, studio delle problematiche relative sia al clima per la valutazione di eventuali cambiamenti climatici, sia alla caratterizzazione della locale circolazione atmosferica ed agli effetti sulla vegetazione, sulla fauna, sullo stato idrogeologico del suolo, anche in conseguenza di trasporto, diffusione e variazione dei tassi di inquinamento imputabili soprattutto alle attività antropiche. Questo complesso di studi, guidato dal CREA, attraverso le analisi condotte sui dati meteorologici delle stazioni di rilevamento del Lazio ha permesso di valutare le variazioni climatiche avvenute nel cinquantennio 1951-2000, caratterizzate da una diminuzione delle piogge medie annuali nell'intera regione, ma con fenomeni di maggiore intensità lungo la fascia costiera. Le precipitazioni presentano non solo una diminuzione della quantità totale ma anche un cambiamento nella modalità con cui si verificano: sono diminuiti i giorni con precipitazioni mentre è aumentato il totale di precipitazioni registrato in giorni successivi, mostrando un incremento degli episodi di forte precipitazione (Moretti *et al.* 2017).

Allo stesso tempo aumenta la frequenza di periodi secchi, ovvero di giorni consecutivi con precipitazioni inferiori a soglie di 1 mm. Per quanto riguarda le temperature si è osservato un aumento delle massime ed allo stesso tempo una diminuzione degli eventi di gelata determinato da un innalzamento delle temperature minime (Moretti *et al.* 2017).

2. Risorse idriche e geomorfologia: monitoraggio idrogeologico permanente attraverso una rete di 36 piezometri che consente l'aggiornamento della banca dati sulle acque di falda che insistono nell'area della Tenuta, per ricavarne indicazioni utili per la tutela e la gestione di tali risorse, anche grazie all'installazione di moderne sonde multiparametriche per la caratterizzazione chimico fisica delle acque.

L'elaborazione dei dati di falda raccolti ha portato ai seguenti risultati: realizzazione di carte piezometriche, ricostruzione del regime freatimetrico della falda costiera, analisi dei parametri chimico-fisici acquisiti dalle sonde automatiche.

Nel 2018 è emersa la presenza nella Tenuta di quattro macroaree omogenee per l'andamento delle acque sotterranee. L'analisi complessiva dei livelli freatimetrici misurati mostra un generico abbassamento della falda nel 2016 e nel 2017 ed un parziale recupero nel 2018; tali variazioni sembrano rientrare all'interno di un normale ciclo pluriennale di oscillazioni della falda che, nei diversi settori della Tenuta, descrivono un *trend* di accrescimento o depauperamento della risorsa idrica dell'acquifero. In particolare, nella fascia lungo il confine orientale, si registra, dal 1995 al 2018, la tendenza ad un innalzamento dei livelli, mentre nei restanti settori si evidenzia un progressivo abbassamento del livello freatimetrico.

Le temperature mostrano un andamento con oscillazioni stagionali e valori massimi in corrispondenza del periodo invernale durante la fase di ricarica, ciò può essere determinato dalla presenza di un flusso idrico sotterraneo forse proveniente dai limitrofi acquiferi vulcanici, che si sovrappone agli effetti della ricarica dovuta alle precipitazioni (Banzato F. *et al.* 2019).

Questo monitoraggio, insieme allo studio dello stato geologico e geomorfologico dell'area (Biondi F.A. *et al.* 2001) è seguito dal Dipartimento di Geologia dell'Università di Roma La Sapienza. Vengono inoltre monitorate le risorse idriche interne, i fontanili e i piccoli invasi idrici, denominati "piscine", temporanei o permanenti, ricchi di biodiversità vegetale e animale, presenti a Castelporziano, mentre altrove eliminate durante i lavori di bonifica dei primi decenni del secolo XX (Tinelli A. *et al.* 2012).

3. Biodiversità vegetale: dal punto di vista botanico la Tenuta è uno dei biotopi del Mediterraneo meglio conosciuti grazie allo studio dei taxa vegetali presenti (nella Checklist ne sono segnalati oltre 1.200), delle comunità da esse costituite, con la mappatura degli habitat presenti e la realizzazione della Carta delle Unità Ambientali (Figura 2) ad opera del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Roma "La Sapienza" (Blasi *et al.* 2006). Vengono anche condotte indagini ambientali per conoscere le condizioni, lo stato dell'ecosistema e prevederne l'evoluzione. Le analisi climatiche, atmosferiche, geopedologiche e idrogeologiche, di inquinanti vengono utilizzate per studi di carattere ecofisiologico. Le ricerche del Dipartimento di Biologia Vegetale dell'Università di Roma-La Sapienza, sugli scambi gassosi nella lecceta, ad esempio, hanno dimostrato il ruolo negativo della temperatura e della irradianza sulla funzionalità fotosintetica e sul meccanismo di apertura e chiusura degli stomi risultanti, per una strategia di risparmio, in una diminuzione dei valori e quindi della produttività primaria (-14%) durante il periodo estivo.

Tra i fenomeni più significativi è molto grave la scarsa rinnovazione naturale delle querce caducifoglie a Castelporziano, che viene monitorata anche in 4 aree recintate di riserva integrale caratterizzate dall'assenza di interventi antropici e dall'esclusione della fauna selvatica.

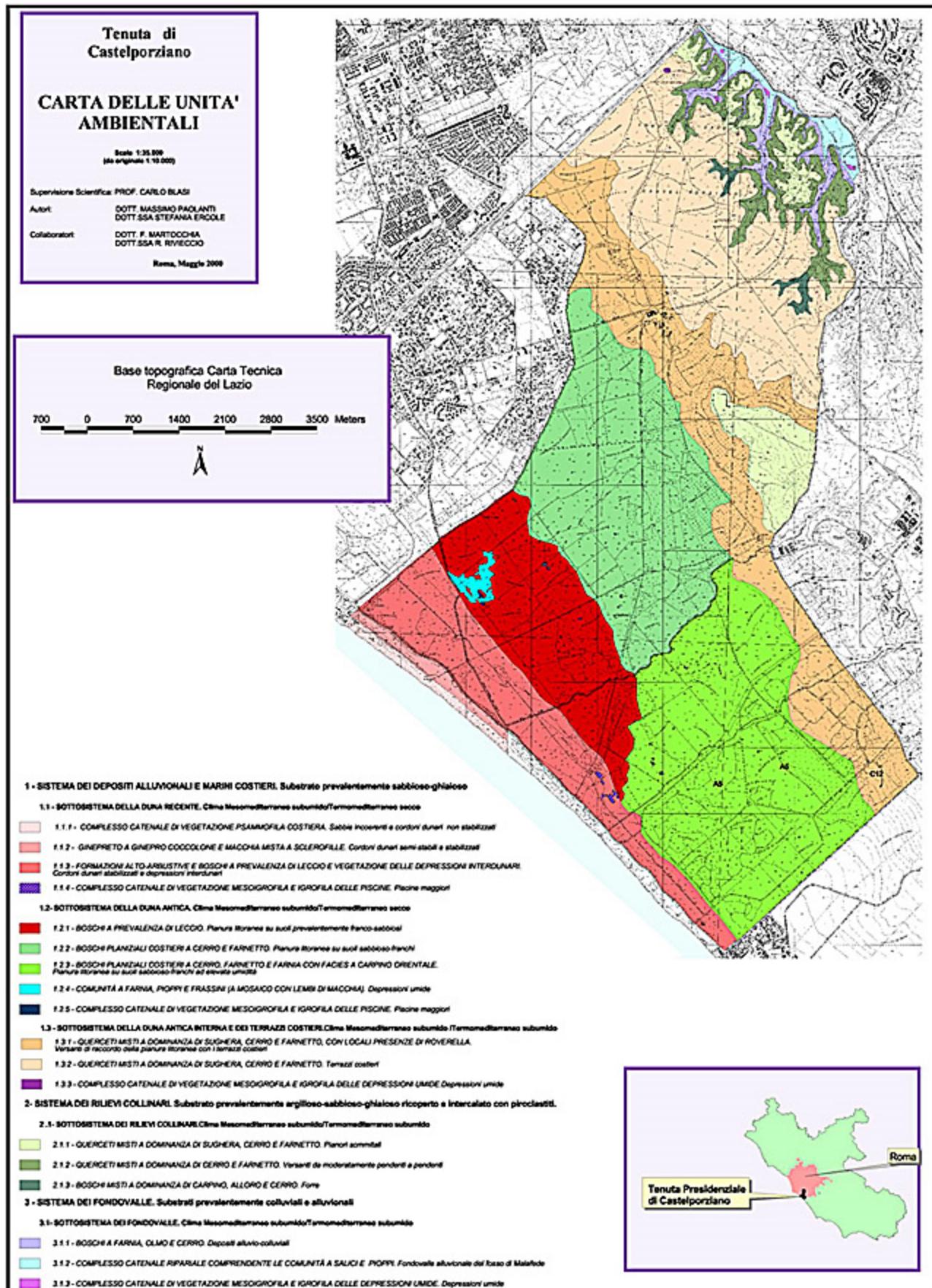


Fig. 2 - Carta delle Unità Ambientali (in Blasi et al. 2006)

4. Biodiversità e gestione della fauna: di grande importanza, in termini di specie presenti e di numeri, è la componente faunistica, caratterizzata dalla segnalazione di oltre 3.400 taxa (Piccinno M. e Rosati I. 2020; Piccinno *et al.* 2021). La gestione degli ungulati (cervi, daini, cinghiali e in particolare il capriolo italico), è condotta in collaborazione con ISPRA che monitora l'andamento delle popolazioni, con censimenti di nascite e morti e fornendo il numero massimo di esemplari sostenibile dagli ecosistemi naturali (Focardi *et al.* 2015). Nella Riserva è inoltre presente una stazione di inanellamento per le specie di avifauna stanziale, nidificante e migratoria, che vengono scrupolosamente osservate e studiate (Fanfani A. *et al.* 2010). Numerosi sono poi gli studi condotti dalle Università inerenti i rettili (Cattaneo A. 2017), gli artropodi presenti negli ecosistemi forestali e acquatici, in particolare sono installate delle trappole per il controllo degli insetti parassiti ed eventuali specie alloctone invasive, oltre che siti di studio e campionamento di specie di coleotteri saproxilici in Direttiva Habitat. Oggetto di studio e conservazione genetica è anche la fauna zootecnica, costituita da equini e bovini di razza maremmana (Nardone *et al.* 2017).

Tab. 1 - Superficie per Classe culturale forestale presente (in SIFTeC)

	Classe culturale	Superficie (ha)
n.	Fustaie	
1	Fustaie di Pino domestico in stasi accrescimentale	221
2	Fustaie di Pino domestico in stasi accrescimentale in rinnovazione	22
3	Fustaie di Pino domestico in accrescimento attivo	290
4	Fustaie di Pino domestico in fase giovanile	57
5	Fustaie a prevalenza di Pino domestico con Leccio	222
6	Fustaie di Pino domestico, miste	184
	Fustaie transitorie	
7	Fustaie transitorie di querce caducifoglie con Carpinella	156
8	Fustaie transitorie di querce caducifoglie con macchia mediterranea	181
9	Fustaie transitorie di Leccio	170
10	Fustaie transitorie a prevalenza di querce caducifoglie, miste	294
11	Fustaie transitorie ad altre latifoglie	85
	Cedui	
12	Cedui di querce caducifoglie con Carpinella	53
13	Cedui di querce caducifoglie con macchia mediterranea	288
14	Cedui di Leccio, misti	254
	Altofusti	
15	Altofusti di querce caducifoglie	21
16	Altofusti di querce caducifoglie con Carpinella	512
17	Altofusti di querce caducifoglie con macchia mediterranea	664
18	Altofusti di Leccio misti	139
19	Altofusti di Sughera	125
20	Altofusti di Sughera, misti	122
21	Altofusti di Pioppo	33
22	Altofusti di Frassino	46
	Piantagioni speciali	
23	Piantagioni speciali di Eucalitto	71
24	Piantagioni speciali di Sughera	207
	Altre formazioni	
25	Formazioni di Macchia mediterranea	481
26	Formazioni arbustive	58
	Totale complessivo	4956

5. Gestione forestale: tra le ricerche sulla componente forestale e finalizzate all'aggiornamento del Piano di Gestione si segnala il recente progetto SIFTeC (Sistema Informativo Forestale Tenuta di Castelporziano), affidato al CRA di Trento in collaborazione con la società di Spin-off

“EFFETRESEIZERO” Srl, ha permesso di ottenere, mediante l’impiego di innovative tecniche di Laser Scanner Aereo (ALS-LiDAR), uno strumento informatizzato “geografico” permanente (GIS “SIFTEC”) che descrive e quantifica in dettaglio il patrimonio forestale della Tenuta al 2015 (Tabella 1) e pone le basi per seguirne l’evoluzione nel tempo mediante l’identificazione e la descrizione delle circa 800 Unità Forestali presenti (tratti di bosco uniforme per specie presenti e caratteristiche strutturali e di popolamento forestale).

Viene inoltre condotto, dall’Università della Tuscia, il monitoraggio dello stato vegetativo dei querceti di caducifoglie mediante l’applicazione dell’indice vegetazionale NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), mediante l’utilizzo di dati multispettrali Sentinel-2, che consente di quantificare le condizioni vegetative dei querceti e delle pinete (Recantesi *et al.* 2018, 2019) ma anche l’impatto dei cambiamenti climatici (Romagnoli *et al.* 2018). Nel 2018 i 24 alberi monumentali studiati e censiti a Castelporziano (Giordano E. *et al.* 2010) sono stati inseriti nel Registro Nazionale ai sensi della legge n. 10 del 14 gennaio 2013.

6. Fascia Costiera: la spiaggia di pertinenza è uno degli ultimi tratti di costa tirrenica in cui si annovera la presenza della duna costiera che viene monitorata e preservata secondo quanto emerso negli studi condotti in particolare dalla Sapienza (Gratani Loretta *et al.* 2014). Si segnala che sulla spiaggia viene effettuato il monitoraggio dei rifiuti spiaggiati, a cura dell’ARPA Lazio, in attuazione dei programmi di monitoraggio previsti dal Decreto legislativo 190/2010 di recepimento della Direttiva Unione sulla Strategia marina. Sulla duna è anche attivo il monitoraggio della specie migratoria *Charadrius alexandrinus*. Nel 2019 è stata avviata la mappatura da satellite, da drone e con rilievi a terra dell’area dunale, insieme con ISPRA, inserita nel programma COPERNICUS.

Dal 2014 il sito è parte di LifeWatch-Ita, infrastruttura europea (ERIC) di ricerca sulla biodiversità e contribuisce alla piattaforma internazionale di raccolta dati.

Nell’ambito del programma internazionale FluxNet, che misura il flusso di carbonio tra foreste e atmosfera e la capacità degli alberi di sequestrare CO₂ nei tessuti, a Castelporziano, è presente una delle oltre 500 stazioni distribuite sul pianeta. Il sito sperimentale, una foresta di ceduo di *Quercus ilex* di circa 50 anni di età, seguito dall’Università della Tuscia e dal CNR, è equipaggiato con una torre alta 20 m che registra la capacità delle foreste mediterranee di sottrarre carbonio dall’atmosfera secondo la tecnica dell’*Eddy Covariance*.

Supporta inoltre il CUFA dell’Arma dei Carabinieri nelle attività istituzionali legate all’inventario forestale nazionale e partecipa al monitoraggio all’interno della rete Conecofor con un sito attivo in ambito di lecceta mediterranea.

Nell’ambito della conoscenza dei meccanismi legati alle emissioni in atmosfera di agenti serra Castelporziano ha attivato un dottorato in collaborazione con l’Università della Tuscia finalizzato al calcolo puntuale del *carbon footprint* della Tenuta.

Particolare cura viene dedicata agli aspetti sanitari, vegetali e animali, attraverso la collaborazione con il PN del Circeo ad un progetto LIFE volto al contrasto dell’espansione del coleottero alieno fitofago *Xylosandrus compactus*, la partecipazione al progetto H2020 *Big Foot* sul deperimento dei querceti costieri mediterranei e l’attivazione di un accordo quadro con altri Enti istituzionalmente competenti in materia di monitoraggio e controllo nei confronti dell’ingresso di patologie zoonotiche di temuta introduzione.

Divulgazione e formazione

Nell’ambito dell’apertura al pubblico della Tenuta, avviata nel 2015 dal Presidente Mattarella, sono state stipulate convenzioni per tirocini curriculari con tutti gli Atenei del Lazio (La Sapienza; Roma Tre; Roma Tor Vergata; la Tuscia). I tirocini, rivolti a studenti di materie ambientali/naturalistiche, archeologiche e storico artistiche, prevedono 50 ore di formazione specifica tenute da docenti di alta qualificazione. Dal 2019 si prevede in aggiunta la stipula di ulteriori convenzioni, anche con Atenei

fuori Regione Lazio, per tirocini scientifici nell'ambito delle attività di monitoraggio/ricerca ambientale, rivolti anche a master post laurea.

La Tenuta presidenziale di Castelporziano è aperta al pubblico con la possibilità di partecipare a percorsi naturalistici, archeologici e storico-artistici.

Al fine di garantire una fruizione sostenibile dell'area naturale protetta, le visite vengono effettuate a rotazione in 4 aree distinte: Capocotta, Malafede, Tor Paterno, Malpasso. Gli itinerari proposti consentono al visitatore di conoscere i diversi ecosistemi tipici della Tenuta, di osservare il paesaggio tipico della Campagna romana con le attività allevatoriali tradizionali, le varie tipologie di vegetazione e al tempo stesso, come per tutti gli altri itinerari, quella di imparare le principali caratteristiche di alberi e arbusti. Tutti i percorsi naturalistici si concludono con la visita alla stazione di inanellamento, operativa nel periodo marzo-giugno, e al museo naturalistico.

La Tenuta ospita le escursioni delle scuole da più di due decenni.

Castelporziano è sede di importanti convegni nazionali e internazionali, che il Servizio organizza attivamente in collaborazione con le Amministrazioni e gli enti pubblici di riferimento (MATTM; MiBAC; Mipaaf; Reg. Lazio; Ispra etc.). Il Servizio partecipa esternamente agli incontri di settore (seminari, convegni; workshop; tavole rotonde); supporta la definizione della strategia di *Citizen Science* in collaborazione con l'Accademia Nazionale delle scienze detta dei XL, organizza iniziative di Research Game con istituti scolastici e visite in collaborazione con i carabinieri forestali, promuove la pubblicazione di volumi fotografici divulgativi (Isotti R. et al. 2014, 2016, 2019).

Prospettive future

1. Rafforzamento delle attività di partecipazione attiva ai processi di rendicontazione ambientale obbligatori; A tal fine è stato realizzato dai Sistemi Informatici del Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica il software di archiviazione dei dati ambientali e delle ricerche. L'obiettivo è quello di aumentarne la fruibilità, la condivisione online e di contribuire ai network nazionali e internazionali.
2. Coinvolgimento nei partenariati proponenti di progetti unionali (ad es. Life ambiente e clima);
3. Diversificazione offerte di fruizione anche con la riqualificazione del museo naturalistico che può essere visitato nell'ambito delle aperture al pubblico e degli itinerari naturalistici.
4. Attuazione strategia di comunicazione del patrimonio di conoscenze e delle opportunità tecnico-scientifiche. È in corso l'iter per ottenere un ampliamento della pagina web dedicata a Castelporziano con la possibilità di condividere dati scientifici, cartografie e informazioni utili sugli eventi culturali e istituzionali che qui hanno luogo.
5. È in fase di predisposizione il nuovo Piano di Gestione della Tenuta, a cura del Servizio Tenuta presidenziale di Castelporziano.

Sitografia

http://palazzo.quirinale.it/residenze/c_porziano.html

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Banzato F., Barberio M.D., Del Bon A., Lacchini A., Marinelli V., Mastrorillo L., ... & Petitta M. (2019). Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: the case study of Castelporziano presidential estate. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*.
- Recanatesi F., Giuliani C. & Ripa M. (2018). Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve. *Sustainability*, 10(9), 3308.
- Recanatesi F., Giuliani C., Rossi C.M. & Ripa M.N. (2018). A Remote Sensing-Assisted Risk Rating Study to Monitor Pinewood Forest Decline: The Study Case of the Castelporziano State Nature Reserve (Rome). In: *International Symposium on New Metropolitan Perspectives* (pp. 68-75). Springer, Cham.
- Recanatesi F., Giuliani C., Rossi C.M. & Ripa M.N. (2019). A remote sensing-assisted risk rating study to monitor pinewood forest decline: The study case of the Castelporziano state nature reserve (Rome). *Smart Innovation, Systems and Technologies* 100, pp. 68-75.
- Romagnoli M., Moroni S., Recanatesi F., Salvati R. & Mugnozza G.S. (2018). Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area. *Urban forestry & urban greening*, 34, 17-28.

Riviste non ISI

- Banzato F., Barberio M.D., Del Bon A., Lacchini A., Marinelli V., Mastrorillo L., ... & Petitta M. (2019). Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: the case study of Castelporziano presidential estate. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*, 8(1), 27-33. <https://doi.org/10.7343/as-2019-379>.

Libri o capitoli di libro

- AA.VV. (2001). Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: *Scritti e Documenti XXVI*. Vol. I-II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISSN 03-91-4666.
- AA.VV. (2006). Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: *Scritti e Documenti XXXVII*. Vol. I-II-III. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISSN 03-91-4666.
- AA.VV. (2013). Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: *Scritti e Documenti XLVI*. Vol. I-II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISBN 9788898075096, ISSN 03-91-4666.
- AA.VV. (2021). Il Sistema Ambientale della Tenuta presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo, Scritti e documenti LXII. Vol. I-II-III Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISBN 9788898075423, ISSN 03-91-4666.

-
- Biondi F.A., Dowgiallo G., Gisotti G., Tinelli A., Figliolia A., Scarascia Mugnozza G. (2001). Memoria illustrativa alla carta dei suoli della Tenuta di Castelporziano. In: Il sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Scritti e Documenti XXVI. Vol I. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788898075010: 3-38.
- Blasi C., Ercole S. e Paolanti M. (2006). Le Unità Ambientali della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. In Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Scritti e Documenti XXXVII. Vol. I-II-III. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
- Cattaneo A. (2017). I Serpenti della Tenuta di Castelporziano, tra passato e presente, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075225.
- Fanfani A., Isotti R., Tinelli A. (2010). L'avifauna di Castelporziano: l'analisi della complessità ecologica delle comunità ornitiche come strumento di gestione territoriale, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: 1-136 ISBN: 9788898075058.
- Focardi S., Franzetti B., Ronchi F., Imperio S., Montanaro P., Aragno P. & Toso S. (2015). Monitoring populations of a guild of ungulates: implications for the conservation of a relict Mediterranean forest. *Rendiconti Lincei*, 26(3), 535-544.
- Maffei L., Folletto A., Tinelli A. (2013). Bibliografia ragionata sul sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano dal 1885 ad oggi, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075102.
- Gajeri E. (2017). Descrizioni di Castelporziano nell'epoca del “Grand Tour”, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075218.
- Giordano E., Tinelli A., Capitoni B., Maffei L., Musicanti A., Recanatesi F., Scarascia Mugnozza G.T. (2010). Gli Alberi Monumentali della Tenuta di Castelporziano. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788898075041.
- Gratani L., Bonito A. (2014). L'ambiente dunale nella Tenuta di Castelporziano, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075119.
- Moretti R., Moretti V., Salvati L., Tinelli A. (2017). Dati meteoclimatici raccolti nella Foresta Mediterranea di Castelporziano dal 1995. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075201.
- Nardone A., Tinelli A., Ranieri M.S., Calzolari G., Pariset L., Silvestrelli M. (2017). Gli allevamenti bradi di equini e bovini maremmani. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075195.
- Piccinno M. e Rosati I. (2020). Biodiversity of the Presidential Estate of Castelporziano [Data set]. LifeWatch ERIC. <https://doi.org/10.48372/5FF2214F-8405-4C0B-826F-6179A4296637>.
- Piccinno M., Basset A., Chiancone E., Bonella G., Cecca D., Rosati I. (2021). La biodiversità di Castelporziano: accesso e condivisione dei dati in rete. In: “Il Sistema Ambientale della Tenutapresidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costieromediterraneo”, Scritti e documenti LXII Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISBN 978-88-98075-42-3, ISSN 03-91-4666
- Pignatti S., Bianco P.M., Tescarollo P., Scarascia Mugnozza G.T. (2001). La vegetazione della Tenuta Presidenziale di Castelporziano in Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. Scritti e Documenti XXVI. Vol. I-II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
- S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (2015). Castelporziano – Research and Conservation in a Mediterranean Forest Ecosystem. *Rendiconti Lincei* 26, Supplement 3, Springer. p. 265-650.

Scarascia Mugnozza G.T. (2011). Introduzione e sintesi degli Studi e Ricerche, Ed. S.G.P.R. - Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075072.

Tinelli A., Folletto A., Manfredi Frattarelli A., Maffei L., Musicanti A., Recanatesi F. (2012). Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano – Le Zone Umide, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075003.

Report

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1994). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano), In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Atti del I° Seminario Tenuta Presidenziale di Castelporziano, 8 aprile 1994.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1995). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano), In: Progetto di Monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Atti del II° Seminario Tenuta Presidenziale di Castelporziano, 12 maggio 1995.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1996). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano), In: Progetto di Monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Atti del III° Seminario Tenuta Presidenziale di Castelporziano, 14 giugno 1996.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1997). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano), In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1997.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1998). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano), In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1998.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (1999). SITAC (Sistema Informativo Territoriale Ambientale Castelporziano). In: Progetto di monitoraggio Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano (SITAC). Rapporto 1999.

S.G.P.R. – Commissione Tecnico Scientifica di Castelporziano, Piano di Gestione, 2010.

Spada F., Agrillo E. (2018). Mappatura degli Habitat forestali di Direttiva (92/43/CEE) all'interno dei siti Natura 2000 presenti nella Riserva naturale statale di Castelporziano. Report.

Lavori divulgativi

Giordano E. (2015). Prologo e Compendio – Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: Estratto III Serie S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.

Isotti R., Cambone A. (2014). L'ultima foresta del Mediterraneo Castelporziano, un racconto per immagini, Monografia Pandion Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 978889578292.

Isotti R., Cambone A. (2019). Il popolo immobile, le ultime foreste del mediterraneo, De Luca editore – Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788865574270.

Isotti R., Cambone A., Pratesi F., Tinelli A., Apollonio M. (2016). DAMA – un sentiero in comune, Monografia Pandion Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 978889578315.

Piccinno M. e Rosati I. (2020). Biodiversity of the Presidential Estate of Castelporziano [Data set]. LifeWatch ERIC. <https://doi.org/10.48372/5FF2214F-8405-4C0B-826F-6179A4296637>

Scarascia Mugnozza G.T. (2001). Prologo e Compendio. In: Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo Vol. I. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: XV-XLIII.

Bibliografia del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Banzato F., Barberio M.D., Del Bon A., Lacchini A., Marinelli V., Mastrorillo L., ... & Petitta M. (2019). Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: the case study of Castelporziano presidential estate. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*.
- Recanatesi F., Giuliani C. & Ripa M. (2018). Monitoring Mediterranean Oak decline in a peri-urban protected area using the NDVI and Sentinel-2 images: The case study of Castelporziano State Natural Reserve. *Sustainability*, 10(9), 3308.
- Recanatesi F., Giuliani C., Rossi C.M. & Ripa M.N. (2018). A Remote Sensing-Assisted Risk Rating Study to Monitor Pinewood Forest Decline: The Study Case of the Castelporziano State Nature Reserve (Rome). In: *International Symposium on New Metropolitan Perspectives* (pp. 68-75). Springer, Cham.
- Recanatesi F., Giuliani C., Rossi C.M. & Ripa M.N. (2019). A remote sensing-assisted risk rating study to monitor pinewood forest decline: The study case of the Castelporziano state nature reserve (Rome). *Smart Innovation, Systems and Technologies* 100, pp. 68-75.
- Romagnoli M., Moroni S., Recanatesi F., Salvati R. & Mugnozza G.S. (2018). Climate factors and oak decline based on tree-ring analysis. A case study of peri-urban forest in the Mediterranean area. *Urban forestry & urban greening*, 34, 17-28.

Riviste non ISI

- Banzato F., Barberio M.D., Del Bon A., Lacchini A., Marinelli V., Mastrorillo L., ... & Petitta M. (2019). Relationship between rainfall and water table in a coastal aquifer: the case study of Castelporziano presidential estate. *Acque Sotterranee-Italian Journal of Groundwater*, 8(1), 27-33. <https://doi.org/10.7343/as-2019-379>.

Libri o capitoli di libro

- Cattaneo A. (2017). I Serpenti della Tenuta di Castelporziano, tra passato e presente, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075225.
- Fanfani A., Isotti R., Tinelli A. (2010). L'avifauna di Castelporziano: l'analisi della complessità ecologica delle comunità ornitiche come strumento di gestione territoriale, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL: 1-136 ISBN: 9788898075058.
- Focardi S., Franzetti B., Ronchi F., Imperio S., Montanaro P., Aragno P. & Toso S. (2015). Monitoring populations of a guild of ungulates: implications for the conservation of a relict Mediterranean forest. *Rendiconti Lincei*, 26(3), 535-544.
- Maffei L., Folletto A., Tinelli A. (2013). Bibliografia ragionata sul sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano dal 1885 ad oggi, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075102.
- Gajeri E. (2017). Descrizioni di Castelporziano nell'epoca del “Grand Tour”, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075218.
- Giordano E., Tinelli A., Capitoni B., Maffei L., Musicanti A., Recanatesi F., Scarascia Mugnozza G.T. (2010). Gli Alberi Monumentali della Tenuta di Castelporziano. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788898075041.

-
- Gratani L., Bonito A. (2014). L'ambiente dunale nella Tenuta di Castelporziano, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075119.
- Moretti R., Moretti V., Salvati L., Tinelli A. (2017). Dati meteoclimatici raccolti nella Foresta Mediterranea di Castelporziano dal 1995. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075201.
- Nardone A., Tinelli A., Ranieri M.S., Calzolari G., Pariset L., Silvestrelli M. (2017). Gli allevamenti bradi di equini e bovini maremmani. Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075195.
- Piccinno M., Bassett A., Chiancone E., Bonella G., Cecca D., Rosati I. (2021). La biodiversità di Castelporziano: accesso e condivisione dei dati in rete. In: “Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costieromediterraneo”, Scritti e documenti LXII Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, in collaborazione con Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica. ISBN 978-88-98075-42-3, ISSN 03-91-4666.
- S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (2013). Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: Scritti e Documenti XLVI. Vol. I-II. Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
- S.G.P.R. – Commissione Tecnico-Scientifica della Tenuta di Castelporziano *et al.* (2015). Castelporziano – Research and Conservation in a Mediterranean Forest Ecosystem. Rendiconti Lincei 26, Supplement 3, Springer. p. 265-650.
- Scarascia Mugnozza G.T. (2011). Introduzione e sintesi degli Studi e Ricerche, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075072.
- Tinelli A., Folletto A., Manfredi Frattarelli A., Maffei L., Musicanti A., Recanatesi F. (2012). Il Sistema Ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano – Le Zone Umide, Ed. S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL – ISBN: 9788898075003.

Report

- S.G.P.R. (2010). Commissione Tecnico Scientifica di Castelporziano, Piano di Gestione.
- Spada F., Agrillo E. (2018). Mappatura degli Habitat forestali di Direttiva (92/43/CEE) all'interno dei siti Natura 2000 presenti nella Riserva naturale statale di Castelporziano. Report.

Lavori divulgativi

- Giordano E. (2015). Prologo e Compendio – Il sistema ambientale della Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Ricerche sulla complessità di un ecosistema forestale costiero mediterraneo. In: Estratto III Serie S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.
- Isotti R., Cambone A. (2014). L'ultima foresta del Mediterraneo Castelporziano, un racconto per immagini, Monografia Pandion Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788889578292.
- Isotti R., Cambone A. (2019). Il popolo immobile, le ultime foreste del mediterraneo, De Luca editore – Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788865574270.
- Isotti R., Cambone A., Pratesi F., Tinelli A., Apollonio M. (2016). DAMA – un sentiero in comune, Monografia Pandion Edizioni S.G.P.R. – Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. ISBN: 9788889578315.
- Piccinno M. e Rosati I. (2020). Biodiversity of the Presidential Estate of Castelporziano [Data set]. LifeWatch ERIC. <https://doi.org/10.48372/5FF2214F-8405-4C0B-826F-6179A4296637>.

IT19-T ALPI NORD-OCCIDENTALI

Autori

Michele Freppaz¹, Davide Viglietti¹, Emanuele Pintaldi¹, Michele D'Amico¹, Nicola Colombo¹, Maria Martin¹, Giampiero Lombardi¹, Michele Lonati¹, Marco Giardino², Luigi Perotti², Edoardo Cremonese³, Michel Isabellon³, Umberto Morra di Cellà³, Marta Galvagno³, Paolo Pogliotti³, Gianluca Filippa³, Martina Petey³, Raffaella Balestrini⁴, Franco Salerno⁴, Massimo Bocca⁵, Elena Barni⁶

Affiliazione

¹ Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, DISAFA, Università di Torino.

² Dipartimento di Scienze della Terra, DST, Università di Torino.

³ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, ARPA VdA.

⁴ CNR-IRSA – Sede Brugherio, Milano.

⁵ Parco Naturale Mont Avic – Frazione La Fabrique 164, 11020 Champdepraz (AO).

⁶ Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, DBIOS, Università di Torino.

DEIMS.ID: <https://deims.org/d6d92b71-80d8-41bc-8b19-80d63e15b918>

Referente Macrosito: Michele Freppaz

Siti di ricerca:

Istituto Scientifico Angelo Mosso (MOSSO), IT19-001-T

Riserva Naturale Mont Mars (MARS), IT19-002-T

Mont Avic (AVIC), IT19-003-T

Colle Superiore di Cime Bianche (Cime Bianche), IT19-004-T

Comune di Torgnon (Tellinod), IT19-005-T

Comune di Torgnon (Lariceto di Tronchaney), IT19-006-T

Tipologia di ecosistema: terrestre

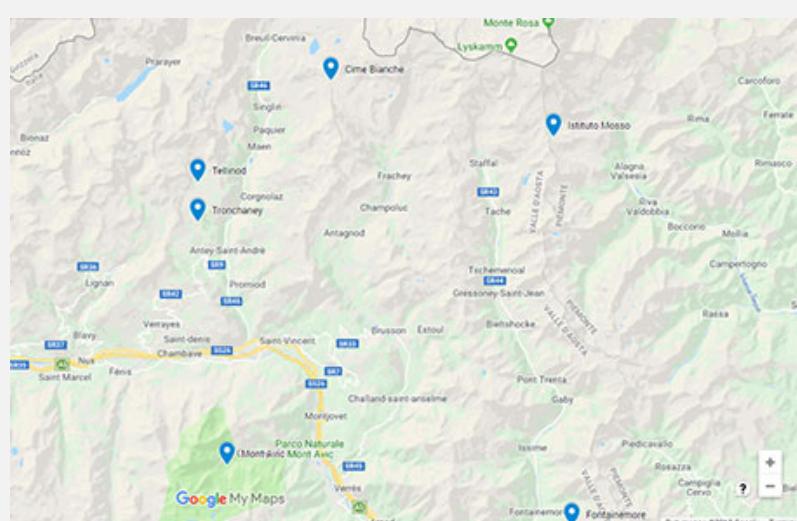


Fig. 1 - Distribuzione dei siti delle Alpi Nord-Occidentali

Citare questo capitolo come segue: Freppaz M., Viglietti D., Pintaldi E. *et al.* (2021). IT19-T Alpi Nord-Occidentali, p. 605-633. DOI: 10.5281/zenodo.5584767. In: Capotondi L., Ravaoli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità



Fig. 2 - Paesaggio tipico delle Alpi Nord-Occidentali in quota

Il macrosito, entrato nella Rete LTER Italia nel 2009, è rappresentativo degli ambienti d'alta quota delle Alpi Nord-Occidentali. In particolare, comprende sei siti di ricerca collocati secondo un gradiente altitudinale compreso tra 1700 e 3300 m s.l.m.. Si tratta di ambienti in cui la neve permane al suolo dai cinque ai nove mesi e sono rappresentati da lariceti, peccete e praterie alpine, con suoli a diverso grado evolutivo. Il macrosito ha

attive numerose collaborazioni internazionali, tra le quali si segnala il sito LTER di Niwot Ridge, in Colorado, gestito dalla University of Colorado – INSTAAR. Le principali tematiche di ricerca, sviluppate con un approccio interdisciplinare, riguardano le caratteristiche dei suoli, dei corpi idrici e della vegetazione del piano subalpino, alpino e nivale.

Risultati

I risultati ottenuti nel macrosito hanno permesso di evidenziare il funzionamento di ecosistemi montani localizzati a quote differenti nell'arco alpino, a partire dal piano subalpino fino agli ambienti di tundra. Nelle aree di tundra alpina le variazioni della durata della copertura nevosa rivestono un ruolo fondamentale nel condizionare la fenologia delle specie vegetali e la dinamica degli elementi nutritivi del suolo nell'estate successiva. Per quanto concerne la qualità dell'acqua nei laghi in alta quota, essa risulta condizionata dalla presenza di elementi della criosfera, quali ghiacciai, rock glacier e permafrost. Il trend di riscaldamento climatico in atto si manifesta inoltre nei trend di riscaldamento del permafrost.

Nel piano subalpino il grado di evoluzione del suolo, unitamente alle caratteristiche pedoclimatiche dell'inverno precedente, quali ad esempio il verificarsi di episodi di congelamento più o meno intensi, influenzano in maniera significativa la dinamica di carbonio e azoto nel suolo e nella soluzione del suolo. Le dinamiche di scambio di CO₂ tra atmosfera e vegetazione sono fortemente influenzate dalle dinamiche climatiche in atto (es. variazione della copertura nevosa) e della aumentata frequenza di eventi estremi (es. ondate di calore estive).

Abstract

The macrosite is included in LTER-Italia network since 2009 and represents high-elevation environments of Northwestern Alps. The macrosite includes six research sites located on an elevation-gradient, from 1700 to 3300 m a.s.l., and is characterized by forests (where Larch and Spruce are dominant species) and alpine grasslands. Consequently, soils are considerably heterogeneous in term of different degree of evolution. Snow is an important driving factor, since it covers soil from 5 to 9 months/year, and could have a strong effect on soil chemical and physical dynamics also during the subsequent growing season. Currently, the macrosite has many international collaborations, such as the LTER site Niwot Ridge (Colorado) managed by the University of Colorado - INSTAAR. The main research activities carried out in the macrosite concern the analysis of the interaction between soil/vegetation and water at elevations ranging between the subalpine and the nival belts, through a multidisciplinary approach.

Scientifico Angelo Mosso (MOSSO)

Autori

Michele Freppaz¹, Davide Viglietti¹, Emanuele Pintaldi¹, Michele D'Amico¹, Nicola Colombo¹, Maria Martin¹, Giampiero Lombardi¹, Michele Lonati¹, Marco Giardino², Luigi Perotti², Raffaella Balestrini³, Franco Salerno³

Affiliazione

¹ Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, DISAFA

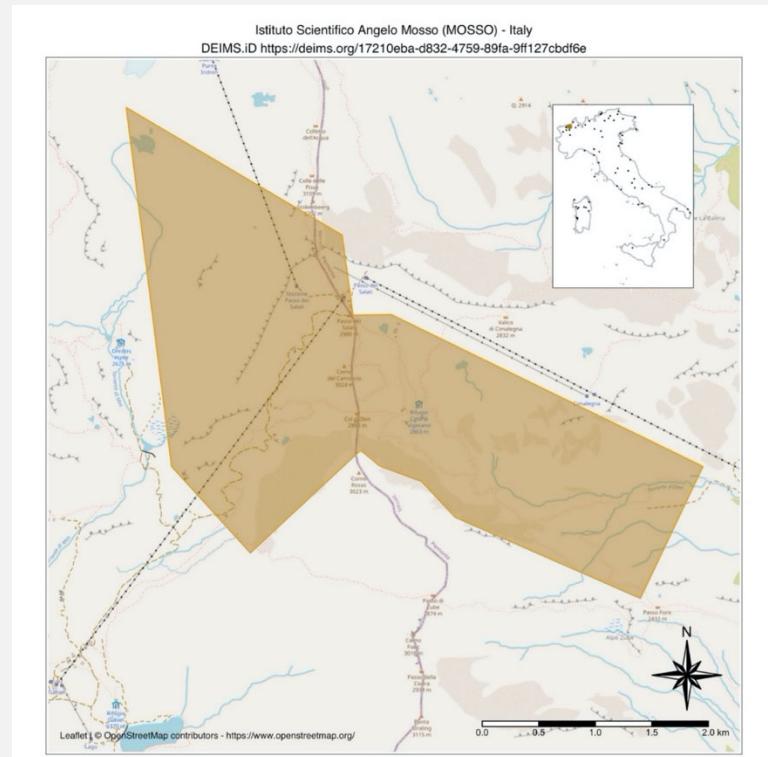
² Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra, DST

³ CNR-IRSA, Sede Brugherio

Sigla: IT19-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/17210eba-d832-4759-89fa-9ff127cbdf6e>

Responsabile sito: Michele Freppaz



Descrizione del Sito

Il sito “Istituto Scientifico Angelo Mosso” è localizzato sullo spartiacque tra Piemonte e Valle d’Aosta, nel Comune di Alagna Valsesia, sul massiccio del Monte Rosa.



Fig. 3 - “Istituto Angelo Mosso” e gli studenti del Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali dell’Università di Torino

I Laboratori Scientifici dell’“Istituto Angelo Mosso” al Col d’Olen (2901 m s.l.m.), fulcro di questo sito di ricerca, furono costruiti tra il 1905 e il 1907, quando apparve ormai evidente che la Capanna Regina Margherita sul Monte Rosa (4554 m s.l.m.), come centro di ricerca d’alta quota, era diventato insufficiente alle sempre più numerose richieste di utilizzo da parte della comunità scientifica internazionale. Da qui l’idea promossa da Angelo Mosso (1846-1910), professore di fisiologia umana dell’Università degli Studi di Torino, di affiancare all’Osservatorio della Capanna Regina Margherita un’ulteriore struttura per mettere a disposizione dei ricercatori laboratori più ampi e permettere soggiorni di studio, anche protracti, ad alta quota. Questo progetto divenne presto realtà grazie all’intervento della Regina Margherita, dei Ministeri della Pubblica Istruzione e dell’Agricoltura, del Club Alpino Italiano e di varie personalità dell’epoca. Le ricerche condotte presso l’Istituto non hanno riguardato soltanto la fisiologia umana, ma anche altre discipline, comprese la meteorologia alpina e la glaciologia, grazie anche alla presenza dell’Osservatorio Meteorologico che affiancava l’Istituto, diretto negli Anni 1925-40 da Umberto Monterin, e ora sede di una stazione nivometeorologica automatica, gestita dal Comando Truppe Alpine-Servizio Meteomont. Oltre all’Università di Torino, gli Enti che operano nel sito e contribuiscono alla raccolta e implementazione dei dati attualmente sono CNR-IRSA, Comando Truppe Alpine-Servizio Meteomont, Monterosa 2000 SpA e Monterosa SpA (Monterosa Ski), Ente di Gestione delle Aree Protette della Valsesia, ARPA Piemonte, ARPA Valle d’Aosta e Sesia Val Grande Geopark.

Oltre alle preziose serie storiche di dati climatici, dal 2005 è in corso una serie di attività di ricerca sulle specifiche interazioni neve/suolo/vegetazione, con particolare riferimento alle dinamiche del carbonio e dell’azoto del suolo (Magnani *et al.* 2017a, b; Freppaz *et al.* 2019). Inoltre sono in corso indagini sulle caratteristiche chimiche di laghi in alta quota, alimentati da differenti elementi della criosfera quali rock glacier, ghiacciai e permafrost (Colombo *et al.* 2018 a, b; Colombo *et al.* 2019 a, b) e sulle caratteristiche delle deposizioni atmosferiche. In particolare si intende stimare il carico atmosferico di azoto e carbonio analizzando la neve e le precipitazioni estive. L’utilizzo delle tecniche isotopiche e l’analisi della circolazione delle masse d’aria consente inoltre di indagare le sorgenti principali dell’azoto atmosferico oltre alla sua origine geografica.

Risultati

Le indagini sulla dinamica dei nutrienti del suolo e sulla fenologia vegetale sono condotte in aree permanenti disposte lungo un gradiente altitudinale compreso tra 2854 e 2686 m s.l.m. (Magnani *et al.* 2017a, b; Rogora *et al.* 2018; Freppaz *et al.* 2019; Quaglia *et al.* 2020). Tali aree sono dotate di sensori per la misura della temperatura del suolo a 10 cm di profondità. Di seguito, a titolo di esempio, vengono presentati i risultati pedoclimatici registrati dal 1 ottobre 2007 al 30 settembre 2017 in tre delle aree permanenti (siti 1, 3 e 5) (Fig. 4). Le variabili abiotiche (altezza neve, temperatura aria, precipitazioni liquide) registrate dalla stazione nivometeorologica automatica (Comando Truppe Alpine – Servizio Meteomont), unitamente ai dati di temperatura del suolo registrati nelle tre aree permanenti, sono state messe in relazione alle caratteristiche chimiche dei suoli e delle acque nel periodo estivo. Da ciò è emerso come un manto nevoso di spessore ridotto (≤ 50 cm) o accumulatosi tardivamente non riesca a garantire un efficace isolamento termico del suolo, consentendo il verificarsi di fenomeni di congelamento nel corso dell'inverno, con effetti sulla dinamica dei nutrienti anche nella stagione estiva successiva. La durata della copertura del manto nevoso si è rivelata una variabile in grado di controllare anche i pool di carbonio ed azoto microbico del suolo nella stagione vegetativa successiva. È possibile ipotizzare come all'aumentare della durata della copertura nevosa si riducano significativamente i substrati disponibili per l'attività microbica, riducendo in questo modo le concentrazioni di carbonio ed azoto microbici. Tale riduzione dei processi di immobilizzazione microbica si traduce in un aumento della concentrazione di azoto inorganico nei laghi oggetto di studio, evidenziando in questi ambienti la stretta connessione fra le matrici suolo ed acqua. Dal 2008 al 2017 i prelievi periodici di suolo e acqua dei laghi nei mesi privi di copertura nevosa hanno evidenziato come l'azoto nitrico tenda ad aumentare nel mese di settembre (Fig. 5), rilevando un possibile rallentamento dell'*uptake* da parte della componente biologica (vegetale e microbica).

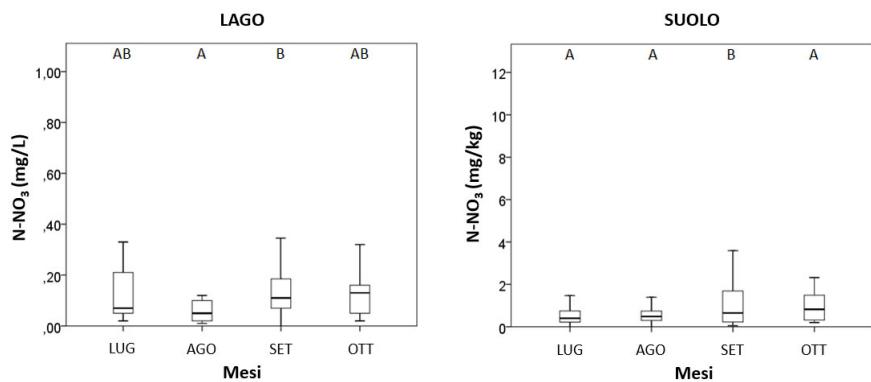


Fig. 4 - (LAGO) Concentrazioni medie mensili di azoto nitrico nelle acque del Lago Cimalegna durante la stagione vegetativa del periodo 2008-2017. (SUOLO) Concentrazioni medie mensili di azoto nitrico estraibile nel suolo (sito 1) durante la stagione vegetativa nel periodo 2008-2017. Le lettere indicano differenze significative ($p < 0.05$) tra i mesi

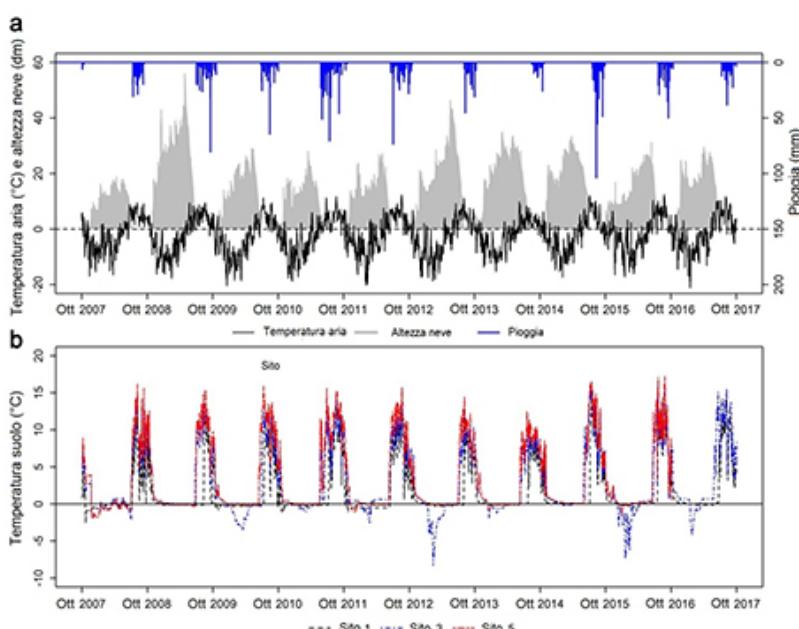


Fig. 5 - (a) Temperatura dell'aria, altezza del manto nevoso e pioggia registrati dalla stazione meteorologica automatica dal 1 ottobre 2007 al 30 settembre 2017 (dati Comando Truppe Alpine-Servizio Meteomont). (b) Temperatura del suolo misurata a 10 cm di profondità nei siti 1, 3 e 5 (dati medi giornalieri)

In tale ambito occorre considerare anche l'importanza delle caratteristiche chimiche delle precipitazioni che, a queste quote, sono per circa il 70% in forma solida. Mediante l'apertura di un profilo nivologico, ogni primavera prima del raggiungimento dell'isotermia (temperature nel manto nevoso prossime a 0°C su tutto lo spessore), è stato possibile stimare la quantità di azoto e carbonio accumulatisi in media nel manto nevoso nel corso della stagione invernale e pari a circa 2 kg/ha di azoto inorganico (dev. st. = 0.8) e 9 kg/ha di carbonio organico disciolto (dev. st. = 1.5). Nell'estate del 2018 è iniziato il campionamento delle precipitazioni, nell'ambito di un progetto condotto dall'Università di Torino – DISAFA in collaborazione con l'International Atomic Energy Agency (IAEA) ed il CNR-IRSA.

Lo studio delle relazioni tra elementi della criosfera e i laghi d'alta quota ha permesso di ottenere nuove informazioni relative agli effetti delle dinamiche di un rock glacier (forma indicatrice della presenza di permafrost con ghiaccio) sulle caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua in un lago adiacente (Colombo *et al.* 2018a, b; Colombo *et al.* 2019a). L'avanzata del rock glacier ha modificato la configurazione strutturale del lago e sembra aver influenzato il livello delle acque in esso contenute (Fig. 6). La connessione fra il rock glacier e il lago è rappresentata da un flusso sub-superficiale di acqua fredda proveniente dal rock glacier (Fig. 6). È stato anche evidenziato come il maggiore contributo di acqua dal rock glacier si verifichi in corrispondenza di precipitazioni liquide nel periodo estivo, con associati incrementi di conducibilità elettrica e concentrazioni di specie chimiche (Fig. 6). È quindi possibile ipotizzare come la percolazione dell'acqua di pioggia attraverso il rock glacier possa contribuire ad accelerare la fusione di ghiaccio al suo interno e a determinare il rilascio di acqua maggiormente mineralizzata.

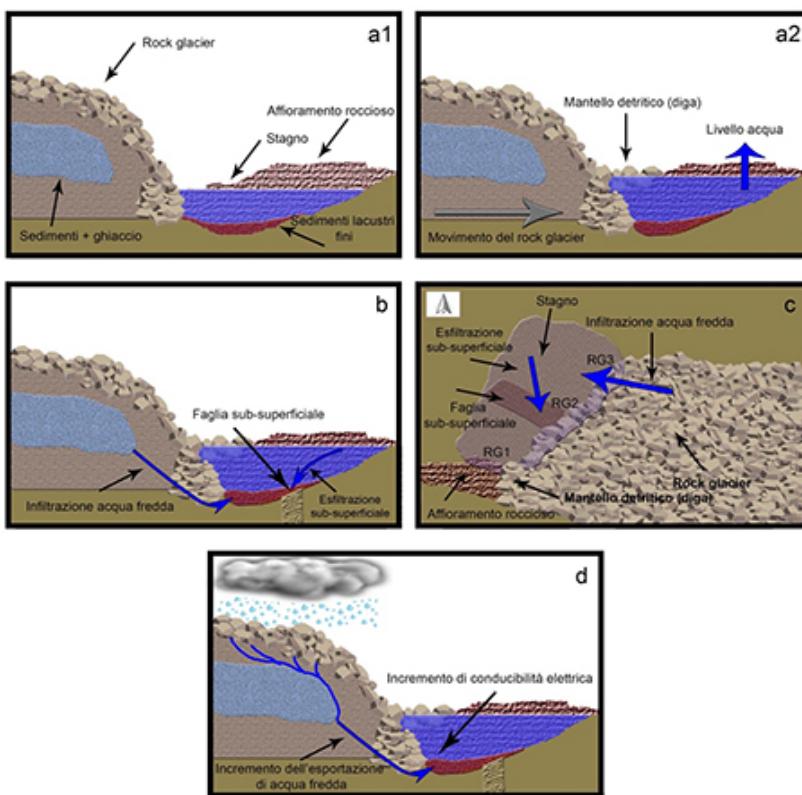


Fig. 6 - (a1-a2) Modello concettuale semplificato illustrante il movimento del rock glacier e il progressivo riempimento della depressione valliva in cui il lago indagato è ubicato. Dinamiche idrologiche del sistema rock glacier-lago (profilo - b) (planimetria - c). (d) Incrementi dell'esportazione di acqua fredda dal rock glacier dopo eventi di pioggia, con associati incrementi di conducibilità elettrica

Oltre alle attività di ricerca il sito ha ospitato attività di formazione e divulgazione scientifica, anche in collaborazione con le Società che gestiscono gli impianti funiviari (Monterosa Ski) che raggiungono l'area dell'Istituto. In particolare, negli ultimi 12 anni esso è sede delle attività didattiche della Summer School internazionale IPROMO, organizzata dall'Università di Torino in collaborazione con la FAO-Mountain Partnership, e delle esercitazioni invernali dedicate agli studenti dell'Università di Torino, afferenti ai Corsi di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali e Scienze e Tecnologie dei Sistemi e Territori Forestali. Inoltre, durante il periodo estivo, vengono organizzate giornate dedicate alla divulgazione scientifica. Nel 2015 il sito è stato il punto di partenza del cammino LTER "Rosa, azzurro e verde" (Carrara *et al.* 2018). Si tratta di un percorso che ha attraversato in 6 tappe, prevalentemente a piedi, alcune valli alpine e che si è posto

come obiettivo la divulgazione al pubblico delle attività di ricerca ecologica di lungo termine condotte in ambienti montani terrestri e lacustri.

Prospettive future

Nel prossimo futuro è prevista l'implementazione della stazione nivometeorologica automatica mediante la messa in posa di sensori di umidità del suolo. Si ritiene che l'umidità del suolo sia, insieme alla temperatura, uno dei fattori chiave nel regolare i cicli biogeochimici del suolo influenzando di conseguenza anche la qualità delle acque. Parallelamente si intende continuare il monitoraggio delle caratteristiche chimiche dei suoli, delle acque e delle precipitazioni, unitamente allo studio della fenologia delle specie vegetali presenti, in modo da affinare la conoscenza dei meccanismi d'interazione neve-vegetazione-suolo-acqua.

Abstract

The site “Istituto Scientifico Angelo Mosso” is located in NW Italy, close to the Monte Rosa Massif (4634 m a.s.l.). The site is mainly represented by the scientific laboratory “Angelo Mosso” that was built between 1905 and 1907, when it was clear that Capanna Regina Margherita hut (on the summit of the Monte Rosa) was not enough to satisfy a huge request from international researchers.

For this reason, Angelo Mosso (Professor of Human Physiology at the University of Turin) encouraged the construction of a new building to allow, with bigger labs, longer field applications of researches. This project became a reality thanks to Queen Margherita, the Ministry of the Public Instruction and the Ministry of Agriculture, CAI (Italian alpine club) and other private partners.

The research field did not only include human physiology but also alpine meteorology and glaciology thanks to the presence of a meteorological observatory (close to the Istituto Mosso) supervised by Umberto Monterin from 1925 to 1940, and now location of an automatic meteorological station belonging to Comando Truppe Alpine – Servizio Meteomont. Currently, in the site “Istituto scientifico Angelo Mosso”, a collaboration was carried out between the University of Turin and CNR-IRSA, Comando Truppe Alpine-Servizio Meteomont, Monterosa 2000 SpA and Monterosa SpA (Monterosa Ski), Ente di Gestione delle Aree Protette della Valsesia – Area Protetta Alta Valsesia, ARPA Piemonte, ARPA Valle d’Aosta and Sesia Val Grande Geopark. In addition to the historical climate series data, since 2005 several research activities have been devoted to the understanding of snow/soil/vegetation interactions, with a focus on soil carbon and nitrogen dynamics. Furthermore, researches are being carried out in order to investigate the chemical characteristics of high-elevated lakes, fed by different cryospheric features such as rock glaciers, glaciers and permafrost (Colombo *et al.* 2018a, b; Colombo *et al.* 2019a, b), and on the atmospheric deposition chemistry. Particularly, we estimate the total atmospheric N and C fluxes, by monitoring the snowpack and the summer precipitation, and we investigate the sources of atmospheric nitrogen species as well as their geographic origin by using the isotopic techniques and the backward trajectories analysis.

Riserva Naturale Mont Mars (MARS)

Autori

Michele Freppaz¹, Davide Viglietti¹, Emanuele Pintaldi¹, Michele D'Amico¹, Maria Martin¹

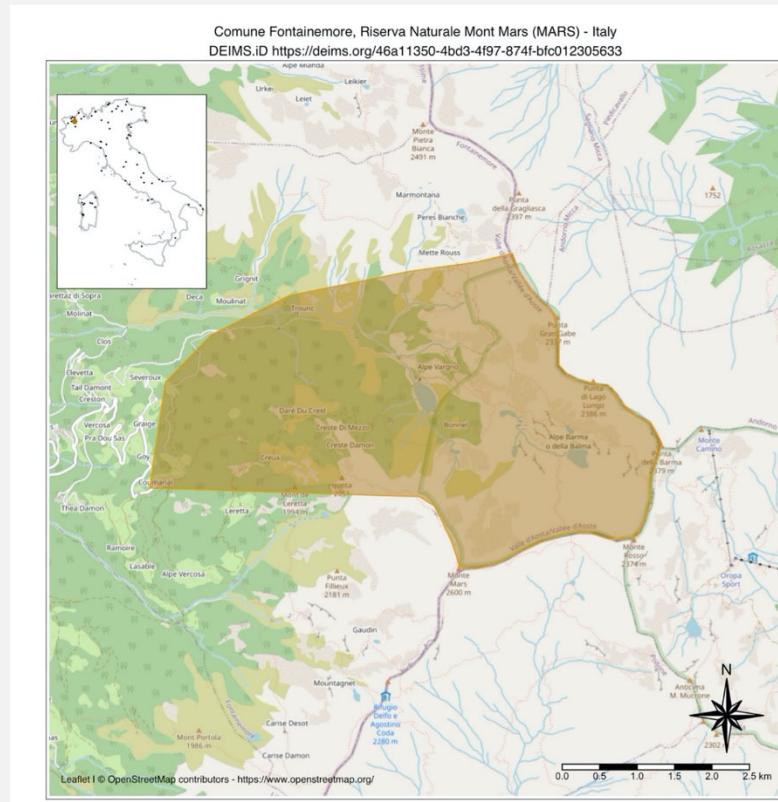
Affiliazione

¹ Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, DISAFA

Sigla: IT19-002-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/46a11350-4bd3-4f97-874f-bfc012305633>

Responsabile sito: Michele Freppaz



Descrizione del Sito



Fig. 7 - Bosco nella riserva Naturale del Mont Mars

Il sito si estende in territorio valdostano, nel Comune di Fontainemore, e rientra parzialmente nella Riserva Naturale del Mont Mars. Il sito di ricerca è rappresentativo di ambienti del piano montano, subalpino e alpino ed è caratterizzato da una ricca variabilità geomorfologica e di uso del suolo, con la presenza di boschi e praterie, pietraie, laghi e zone umide. La cima più alta che domina la zona è il Mont Mars che, con i suoi 2600 m s.l.m., si erge sopra ripide balze formate da rocce mordonate. Nella parte bassa sono presenti

latifoglie miste a Larice e, nelle zone più umide, l'Abete bianco e l'Ontano verde. Nelle zone più elevate si trova il Pino cembro fino ad incontrare le praterie d'alta quota. Una così notevole variabilità di ambienti ha permesso di condurre numerose ricerche prevalentemente incentrate: a) sulla qualità delle acque (superficiali e soluzione del suolo); b) sulle relazioni tra variabili abiotiche e caratteristiche chimiche dei suoli e della soluzione circolante in ambiente forestale; c) sulla chimica della neve.

Risultati

Dal 2006 vengono condotte, in un campo neve a quota 1800 m s.l.m., periodiche indagini sulle caratteristiche fisiche e chimiche del manto nevoso mediante la realizzazione del profilo chimico ambientale speditivo (Pecci *et al.* 2006; Pecci *et al.* 2008). Nel 2007 sono state inoltre compiute analisi chimiche nei laghi presenti nel vallone della Barma. Si tratta di 4 laghi di origine glaciale disposti lungo un gradiente altitudinale (da 1670 a 2020 m s.l.m.) e collegati tra loro mediante un sistema “paternoster”. In una delle aree di studio, a 1750 m di quota, è possibile osservare in primavera un diffuso arrossamento della neve in fusione e degli orizzonti più superficiali del suolo. Dal 2009 al 2013 è stato indagato questo particolare fenomeno attraverso il campionamento e l'analisi della soluzione circolante nel suolo (Martin *et al.* 2010). L'elevato contenuto di acqua nel suolo nel corso del disgelo primaverile ha determinato condizioni riducenti, con la mobilizzazione di ingenti quantità di ferro, probabilmente indotta dall'attività di microorganismi ferro-riduttori. Dal 2014 al 2016 le indagini sulla soluzione del suolo sono proseguiti, unitamente alla caratterizzazione delle forme di C e N nel suolo, in accordo ai protocolli applicati nel sito “Istituto Scientifico Angelo Mosso”.

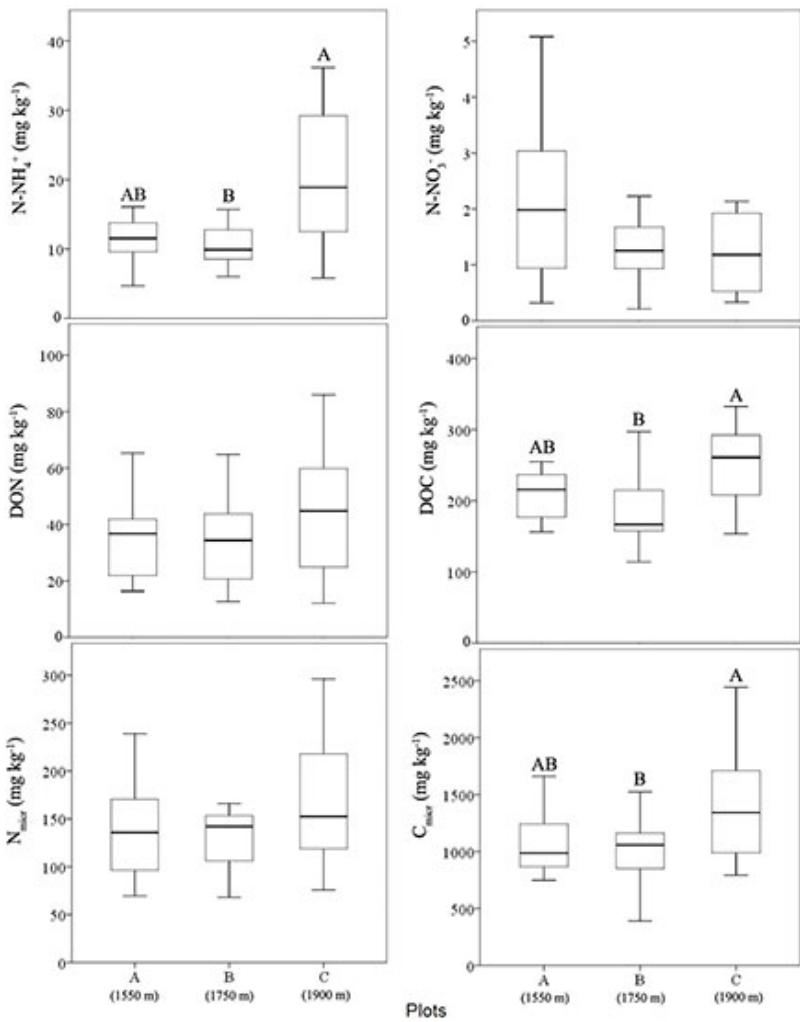


Fig. 8 - Variabilità altitudinale di azoto ammoniacale (N-NH_4^+), azoto nitrico (N-NO_3^-), azoto e carbonio organico disciolto (DON e DOC), azoto e carbonio microbico (N_{micr} e C_{micr}) estraibili nel suolo. Ove presenti le lettere indicano differenze significative fra le medie ($p < 0.05$)

di carbonio ed azoto sia nel suolo, sia nella soluzione circolante, evidenziando non solo l'importanza dei fattori climatici e pedoclimatici, ma anche le specificità dei processi pedogenetici. Le maggiori concentrazioni delle forme di carbonio e azoto sono state osservate nel sito a quota più elevata (Fig. 8), dove la presenza di Podzol e l'elevata produzione di essudati radicali particolarmente ricchi di acidi organici a basso peso molecolare tendono a causare accumuli di carbonio organico maggiori rispetto ai Cambisols presenti a quote inferiori, sia in superficie, sia negli orizzonti minerali profondi. La maggiore dotazione di carbonio organico e azoto totale rilevata nel sito a quota più alta parrebbe influenzare positivamente lo sviluppo della biomassa microbica ed incrementare la disponibilità di carbonio organico disciolto (Pintaldi *et al.* 2019).

Nei tre siti è stato osservato un trend comune nelle concentrazioni di azoto inorganico nella soluzione circolante: i picchi massimi di concentrazione di nitrati sono stati misurati durante la primavera, subito dopo la fusione completa del manto nevoso, mentre le minori concentrazioni corrispondono alla fine della stagione vegetativa e trovano spiegazione nell'*uptake* da parte della vegetazione. Isolando le differenti variabili climatiche (durata della neve al suolo e pedoclimate invernale ed estivo) dalle caratteristiche pedologiche sito-specifiche è stata osservata, analogamente a quanto riportato nel Sito “Istituto Scientifico Angelo Mosso”, una correlazione inversa tra la durata del manto nevoso e la concentrazione di carbonio microbico. Una lunga durata della neve al suolo favorisce la

Lungo un transetto altitudinale localizzato nella fascia subalpina sono state allestite tre aree, in un intervallo di quota compreso fra 1550 e 1900 m s.l.m., colonizzate da Larice e caratterizzate dallo stesso substrato geologico (micaschisti eclogitici). Ciascuna area è stata dotata di sensori per la misura in continuo della temperatura e umidità del suolo a 10 cm di profondità. Nella climosequenza sono stati aperti e caratterizzati i profili pedologici evidenziando un differente grado di sviluppo. I plot a più bassa quota sono caratterizzati da suoli simili appartenenti al gruppo dei Cambisols mentre il plot a quota maggiore presenta un suolo con grado di evoluzione più espresso e corrispondente ad un Podzol. Si ipotizza che fattori quali una più cospicua copertura nevosa, una maggiore presenza di specie acidificanti nel sottobosco (quali ericacee) concorrono all'aumento dei tassi di alterazione favorendo quindi specifici processi pedogenetici. Durante il periodo privo di neve al suolo, sono state analizzate mensilmente le forme

decomposizione microbica subnivale portando però ad un significativo consumo di carbonio e alla riduzione del substrato disponibile nella successione stagione estiva.

L'elevata frequentazione del Sito in ogni stagione dell'anno, favorita sia dalla facilità di accesso, sia dalla sua peculiarità ambientale, lo rende particolarmente vocato alle attività di divulgazione scientifica e didattica con l'organizzazione ad esempio delle esercitazioni previste nell'ambito del Laboratorio di Rilevamento Pedologico del Corso di Laurea in Scienze Forestali e Ambientali dell'Università di Torino.

Prospettive future

Si intende proseguire il monitoraggio delle proprietà chimiche e fisiche del manto nevoso e, parallelamente, continuare le attività didattiche e di divulgazione scientifica.

Abstract

The site is located in the NW Italian Alps (Fontainemore Municipality, 1500-2600 m a.s.l.) and is partially included in the Riserva Naturale Mont Mars. The site is rather complex due to the presence of forests, pastures, grasslands, lakes and peatlands; this ecological and morphological variability enhances research interest and is particularly useful for didactic activities. During last years numerous researches were performed such as evaluation of: a) surface water and soil solution quality; b) interactions between abiotic variables (meteorological pattern and pedoclimatic conditions) on soil and soil solution chemistry in a forest ecosystem; c) snow chemistry.

Mont Avic (AVIC)

Autori

Umberto Morra di Cella¹, Michel Isabellon¹, Massimo Bocca², Elena Barni³

Affiliazione

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, ARPA VdA

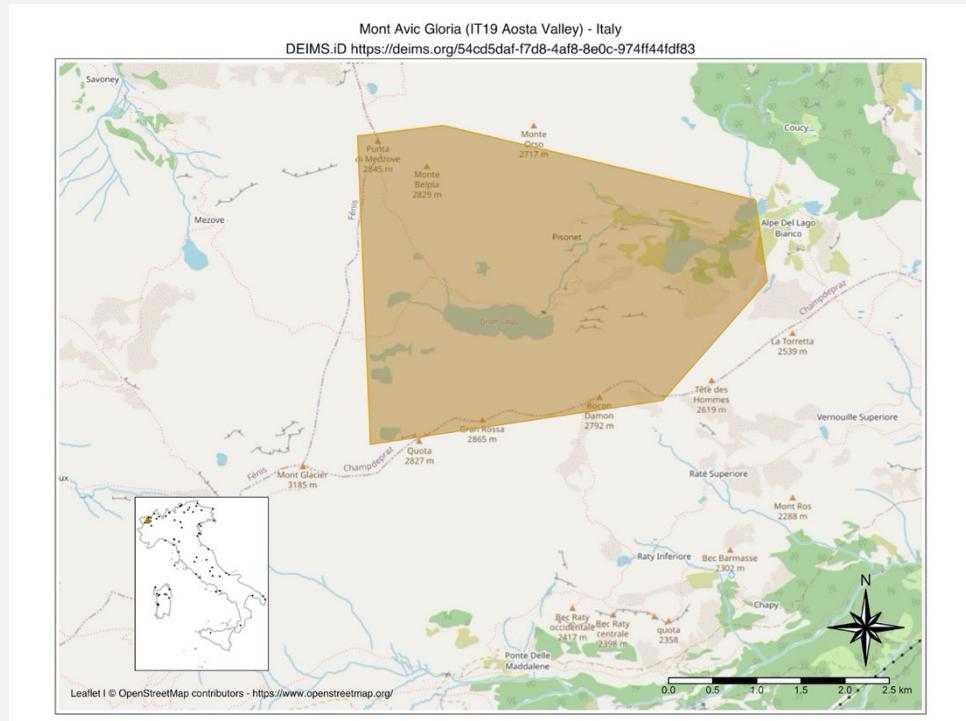
² Parco Naturale Mont Avic – Frazione La Fabrique 164, 11020 Champdepraz (AO)

³ Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, DBIOS

Sigla: IT19-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/54cd5daf-f7d8-4af8-8e0c-974ff44fdf83>

Responsabile sito: Umberto Morra di Cella



Descrizione del Sito

Il sito si colloca all'interno del Parco Naturale Mont Avic, area protetta valdostana che si estende nei Comuni di Champdepraz e di Champorcher, classificata Zona Speciale di Conservazione (ZSC IT1202000) e Zona di Protezione Speciale (ZPS Mont Avic – Mont Emilius IT202020) ai sensi delle direttive UE 2009/147 “Uccelli” e 92/43 “Habitat”. Il territorio è prevalentemente interessato da affioramenti del Complesso piemontese dei Calcescisti con Pietre verdi (ofioliti del Complesso ultrabasico del Mont Avic prevalenti in Val Chalamy, calcescisti prevalenti in Val di Champorcher) e caratterizzato dalla presenza di un gran numero di laghi e piccole zone umide, oltre che da paesaggi vegetali insoliti a livello regionale, fra i quali spicca la vasta foresta di pino uncinato, specie che ben si adatta ai suoli torbosi e agli affioramenti ofiolitici e in Val Chalamy sostituisce in larga misura le



Fig. 9 - Parco Naturale Mont Avic

conifere più diffuse nel resto della regione. Gli ambienti che si sviluppano nel sito sono rappresentativi del piano montano, subalpino e alpino ed interessati in misura differente dall'attività antropica attuale e passata. La vetta più alta, il Mont Glacier (3.185m) costituisce l'apice dello spartiacque delle due vallate principali del Parco e sovrasta a sud l'ampio vallone del Miserin e, verso settentrione, l'alto vallone del Torrente Chalamy. Nella parte bassa sono presenti latifoglie xerofile e una interessante faggeta che costituisce uno dei nuclei di faggio più interni della regione. Di un certo rilievo la flora delle serpentiniti adattata alla presenza di suoli superficiali, poco fertili e ricchi di elementi tossici quali nichel, cromo e cobalto e la flora legata alle zone umide (bacini lacustri e una miriade di aree torboso-acquitrinose e di risorgive presenti in tutta l'area protetta). Non meno interessante è la fauna presente nel Parco: le principali specie di mammiferi e uccelli di ambiente montano diffusi nella regione sono presenti, ma non raggiungono elevate densità a causa delle difficili condizioni ambientali e delle ridotte disponibilità alimentari; fanno eccezione le specie forestali, favorite dalla grande estensione dei boschi. La varietà ambientale del territorio, viceversa, determina un rilevante numero di specie di insetti alcune delle quali risultano essere degli stenoendemiti.

Le peculiarità degli ambienti del Parco, il livello di tutela e una fruizione equilibrata del territorio, oltre ad una spiccata vocazione dell'Ente parco per le attività di ricerca e studio dei valori naturalistici, hanno permesso di avviare e mantenere nel tempo numerose ricerche nei più disparati campi. In particolare il Parco Naturale Mont Avic è parte del macrosito IT19 per le attività connesse al monitoraggio dell'impatto del cambiamento climatico sulla vegetazione alpina (protocollo definito nell'ambito del progetto GLORIA – Global Observation Research Initiative in Alpine environments) e, più recentemente, nello studio delle dinamiche di decomposizione della lettiera (SoilTeaBag project).

Oltre ad ARPA Valle d'Aosta, le attività di ricerca del sito coinvolgono anche l'Università degli studi di Torino (Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi e il Dipartimento di Scienze Agrarie,

Forestali e Alimentari), il Parco Naturale Mont Avic e il Department of Integrative Biology and Biodiversity Research, University of Natural Resources and Life Sciences di Vienna (A).

Risultati

Dal 2002 vengono condotti, secondo il protocollo di osservazione definito nell'ambito del progetto GLORIA, periodici monitoraggi della vegetazione su 4 cime disposte lungo un gradiente altitudinale. Tre di queste sono localizzate all'interno del Parco Naturale Mont Avic, rispettivamente a 2.340, 2.584 e 2.790m di quota, mentre la quarta è stata individuata presso il Colle Superiore di Cime Bianche a Valtournenche (3.100m). Il secondo rilievo, effettuato nel 2012, è stato seguito da un terzo nel 2017. Le osservazioni floristiche ripetute nel tempo hanno mostrato una

moderata riduzione della flora regionale endemica (analisi delle frequenze) e variazioni significative dei parametri strutturali e ecologici (variazioni per forma biologica). La rapida risposta della vegetazione alpina al riscaldamento climatico è evidenziata dall'aumento delle emicriptofite cespitosse e rosulate (Fig. 10) e supportata dall'analisi della flora vascolare come bio-indicatore dei processi di termofilizzazione tramite il *thermic vegetation indicator* (S) (Gottfried *et al.* 2012; Stanisci *et al.* 2016).

Il valore di S risulta passare da 2.90 a 2.99 con un incremento medio di 0.09 ($p=0.031$; $z=2.148$), aumento superiore alla media dei siti europei e dovuto principalmente all'espansione delle specie termofile.

L'analisi preliminare della perdita di massa della lettiera, condotta nell'ambito della Tea Composition Initiative su substrati standardizzati (Rooibos e Green tea) ed effettuata su 336 siti distribuiti in tutto il mondo e rappresentanti tutti i biomi (con MAT comprese fra -9 e +26 °C e MAP da 60 a 3113 mm) ha permesso di testare l'effetto del clima (temperatura e umidità), tipo di lettiera e land-use sulla fase iniziale del processo di decomposizione della materia organica.

Prospettive future

Nel prossimo futuro è prevista la conclusione delle attività connesse allo studio della decomposizione della lettiera (con analisi dei campioni sottoposti a 36 mesi di degradazione) e un approfondimento delle analisi dell'evoluzione della vegetazione delle cime oggetto di rilievo ripetuto.

Abstract

The site AVIC is in the territory of the Mont Avic Regional Parc. The Parc hosts a number of research initiatives, among which the most prominent is the GLORIA (Global Observation Research Initiative Alpine Environments) project. Accordingly, periodic vegetation surveys are carried out since 2002 on three summits within the Parc. Results show that in the time span between 2002 and 2012 vegetation has shown structural and ecological changes as well as small shifts in vegetation composition in response to a changing climate.

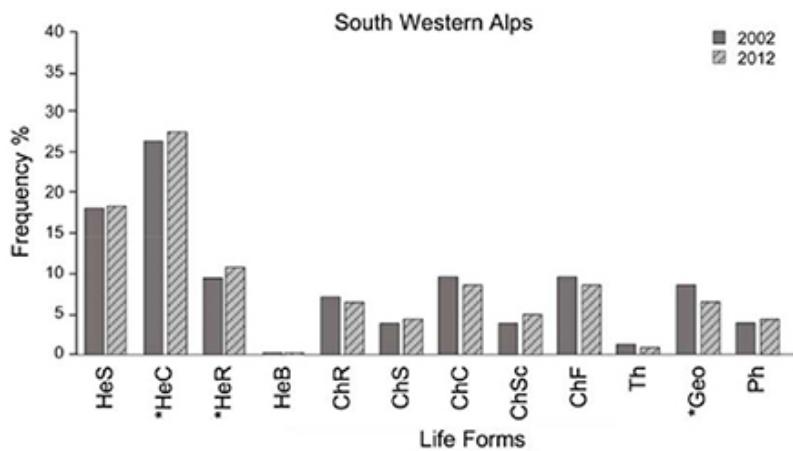


Fig. 10 - Frequenze delle forme biologiche nei due diversi rilievi nel sito LTER IT19. HeS: emicriptofite scapose; HeC: emicriptofite cespitosse; HeR: emicriptofite rosulate; HeB: emicriptofite bienni; ChR: camefite reptanti; ChS

Colle Superiore di Cime Bianche (Cime Bianche)

Autori

Umberto Morra di Cella¹, Paolo Pogliotti¹, Edoardo Cremonese¹

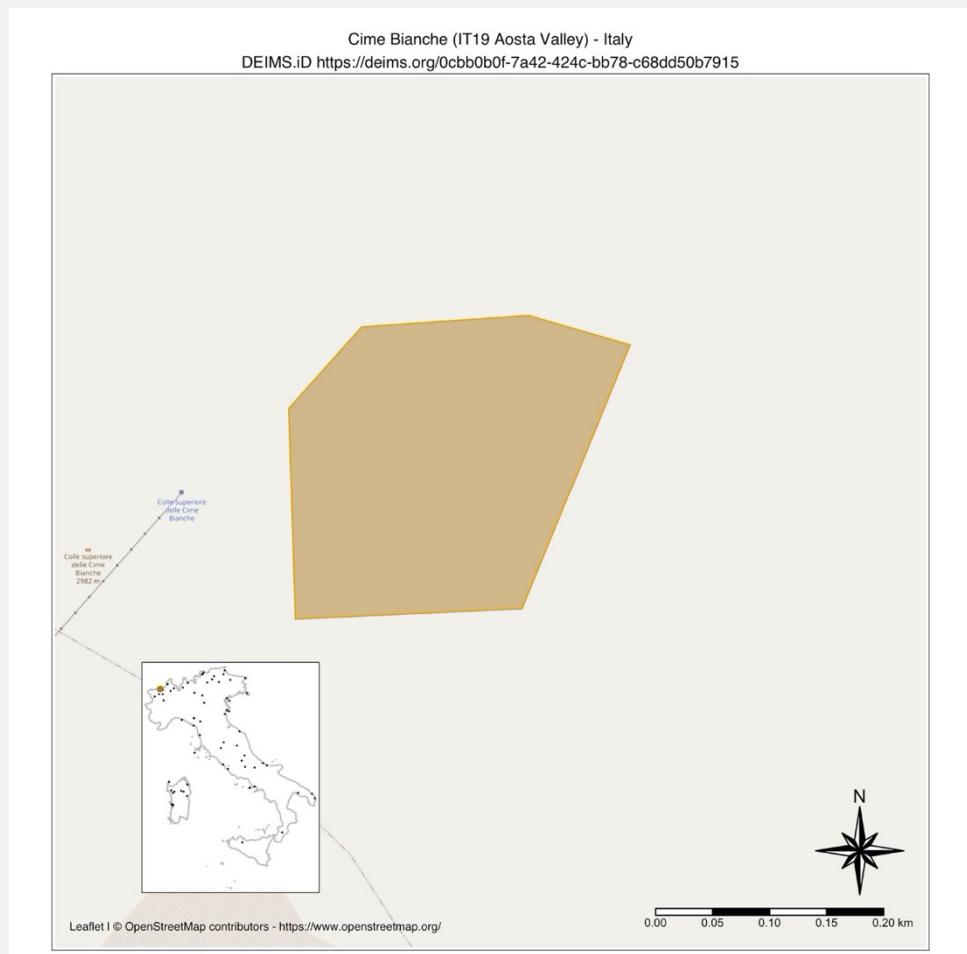
Affiliazione

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, ARPA VdA

Sigla: IT19-004-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/0cbb0b0f-7a42-424c-bb78-c68dd50b7915>

Responsabile sito: Umberto Morra di Cella



Descrizione del sito

Il sito si trova nelle Alpi nord-occidentali italiane (Valle d'Aosta, IT) ad un'altitudine di 3100 m (45°55'12,8" N 7°41'35,5" E). L'area di studio è un altopiano leggermente degradante verso ovest,

caratterizzato da terrazzette, convessità e depressioni che, durante l'inverno, conferiscono allo spessore del manto nevoso un'elevata variabilità spaziale. La litologia del bedrock è omogenea, costituita principalmente da micascisti e calcescisti granatiferi appartenenti alla parte superiore del complesso ofiolitico Zermatt-Saas. Il substrato roccioso è caratterizzato da superfici montonate molto alterate e



Fig. 11 - Colle Superiore di Cime Bianche

variamente fratturate che possono generare, localmente, una copertura detritica grossolana con uno spessore variabile da pochi centimetri a un paio di metri. L'esistenza di lobi di geliflusso, suoli poligonali e crioturbazioni di materiale fine suggerisce la presenza di permafrost. Il clima della zona è continentale. Nel periodo 2006-2018 la precipitazione media è stata di circa 1200 mm/anno con una temperatura media annua di -2.7°C. Le temperature medie annuali dell'aria sono positive da giugno a settembre, mentre febbraio e luglio sono, rispettivamente, i mesi più freddi e più caldi. Il sito è molto ventoso e principalmente influenzato dalle masse d'aria provenienti da nord. L'attività di monitoraggio è iniziata nel 2006. La strumentazione consiste in un pozzo profondo (DP) ed uno superficiale (SH), che raggiungono rispettivamente le profondità di 41 e 6 m e che sono situati a una distanza di circa 30 m l'uno dall'altro. In sìto è presente anche una stazione meteorologica automatica (AWS) equipaggiata con termoigrometro, radiometro, anemometro, nivometro e pluviometro. Oltre ad ARPA Valle d'Aosta, le attività di ricerca del sito coinvolgono anche il Geosciences Department dell'Università di Fribourg (Svizzera).

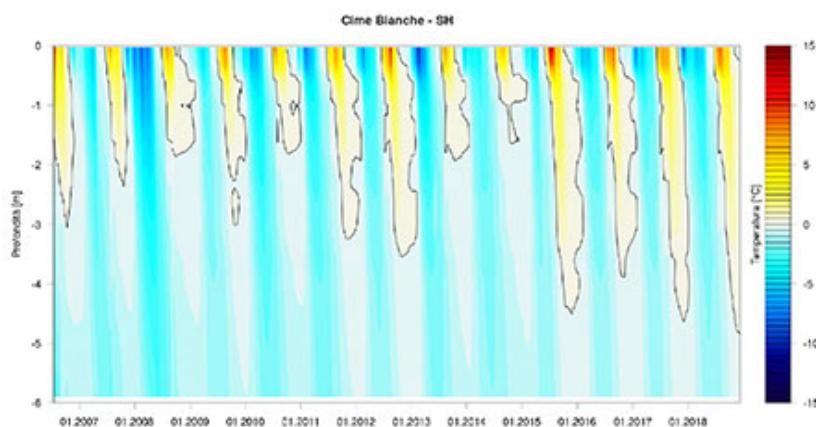


Fig. 12 - Andamento delle temperature (scala colore) nel tempo ed alle diverse profondità nel foro SH di Cime Bianche. La linea nera rappresenta l'isoterma 0°C

Risultati

Il permafrost è un fenomeno naturale che si verifica quando il suolo ed il substrato roccioso sottostante permangono in uno stato di congelamento perenne. Lo stato di permafrost può durare per migliaia di anni (alle alte quote ed alle alte latitudini) oppure verificarsi temporaneamente (ai limiti inferiori di quota e latitudine). Il monitoraggio del permafrost si realizza calando una catena di

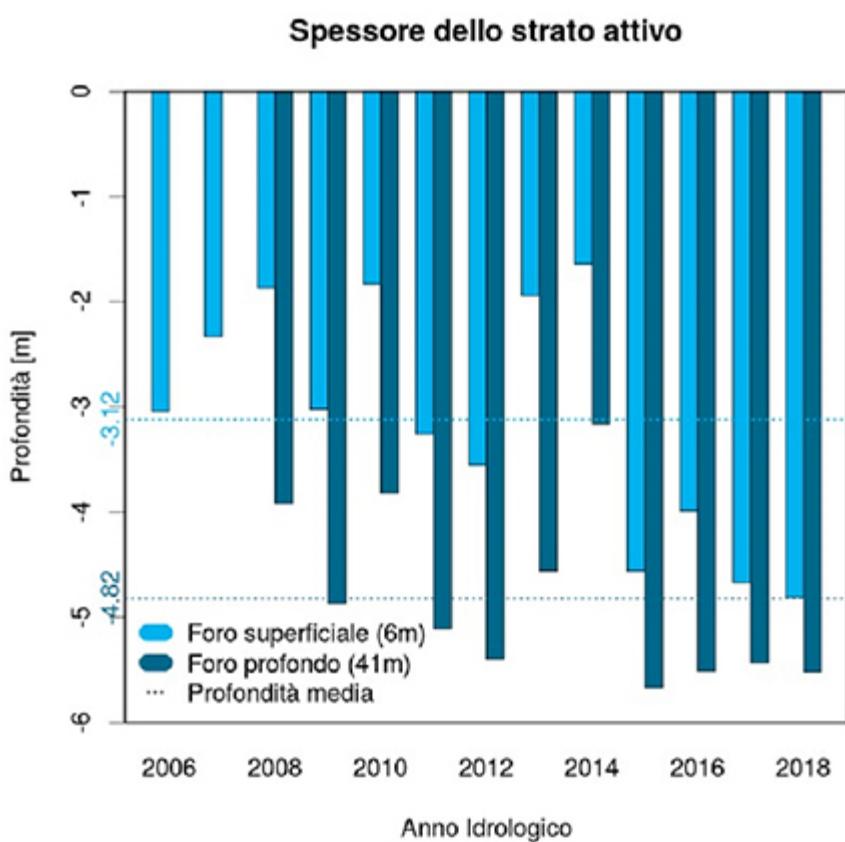


Fig. 13 - Spessori dell'active layer nei due fori dall'inizio delle osservazioni

neve al suolo) mentre uno strato attivo di spessore elevato deriva da condizioni calde (es. inverno freddo con poca

Nelle Alpi lo spessore massimo viene raggiunto solitamente tra la fine di settembre ed i primi di novembre. Oltre ad una variabilità interannuale esiste una variabilità spaziale. In figura 13 si osserva che nel foro DP lo spessore medio dall'inizio delle osservazioni è stato di 4.8m contro i 3.1m del foro SH. Tale differenza è causata dal diverso grado di saturazione, poiché un substrato più satura in acqua (nel nostro caso SH), in fase di fusione, assorbe più energia per il cambiamento di stato solido/liquido rispetto ad un substrato meno satura. Questo aspetto è molto importante, poiché la variabilità spaziale dovuta alle caratteristiche morfologiche, litologiche ed idrologiche del punto di misura, risulta essere di gran lunga più importante della variabilità interannuale dovuta alle condizioni meteo climatiche.

La temperatura del permafrost è l'altro importante indicatore climatico associato a questo fenomeno. È un indicatore di lungo termine che consente di valutare l'impatto dei cambiamenti climatici sul regime termico del substrato. La misura di temperatura deve essere effettuata oltre la cosiddetta profondità di oscillazione minima (ZAA – zero annual amplitude), dove le temperature non sono perturbate dalle variazioni stagionali. Il profilo termico è composto dalle curve delle temperature massime e minime (medie giornaliere) misurate nel foro alle varie profondità (Fig. 14). Le curve dei valori massimi (tratteggiate) e quelle dei valori minimi (continue) convergono intorno ai 18-20 metri di profondità (ZAA). Come si vede, al di sotto della ZAA le temperature sono estremamente stabili intorno ai -1.1°C . Dalla figura 10 si deduce anche che lo spessore del permafrost presso il Colle Cime Bianche supera i 40 metri in quanto in fondo al foro le temperature misurate sono ancora ampiamente negative. Inoltre, osservando i colori relativi agli anni di monitoraggio, si nota che gli anni più recenti sono traslati verso le temperature più calde (destra) a testimonianza di un progressivo aumento delle

termometri all'interno di un foro (pozzo) praticato nel substrato e misurando le variazioni della temperatura nel tempo ed alle diverse profondità. In figura 12 i colori caldi rappresentano le temperature positive (estive) che penetrano nel substrato scongelando stagionalmente la porzione più superficiale del permafrost, che prende il nome di active layer (strato attivo).

Lo spessore dell'active layer, ovvero la profondità massima annuale raggiunta dal fronte di scongelamento, è un indicatore climatico di breve termine poiché cambia ogni anno in funzione delle condizioni di temperatura ed innevamento. In particolare, uno strato attivo di spessore ridotto è conseguente a condizioni fredde (es. inverno freddo con poca

temperature lungo tutto il profilo di profondità. La figura 14, infatti, evidenzia la presenza di un trend di riscaldamento statisticamente significativo sui sensori al di sotto dei 10 metri; il trend di riscaldamento è maggiore vicino alla superficie (+0.4°C ogni 10 anni a 10 metri di profondità) e diminuisce con la profondità (circa 0.2 °C ogni 10 anni a 40 metri di profondità).

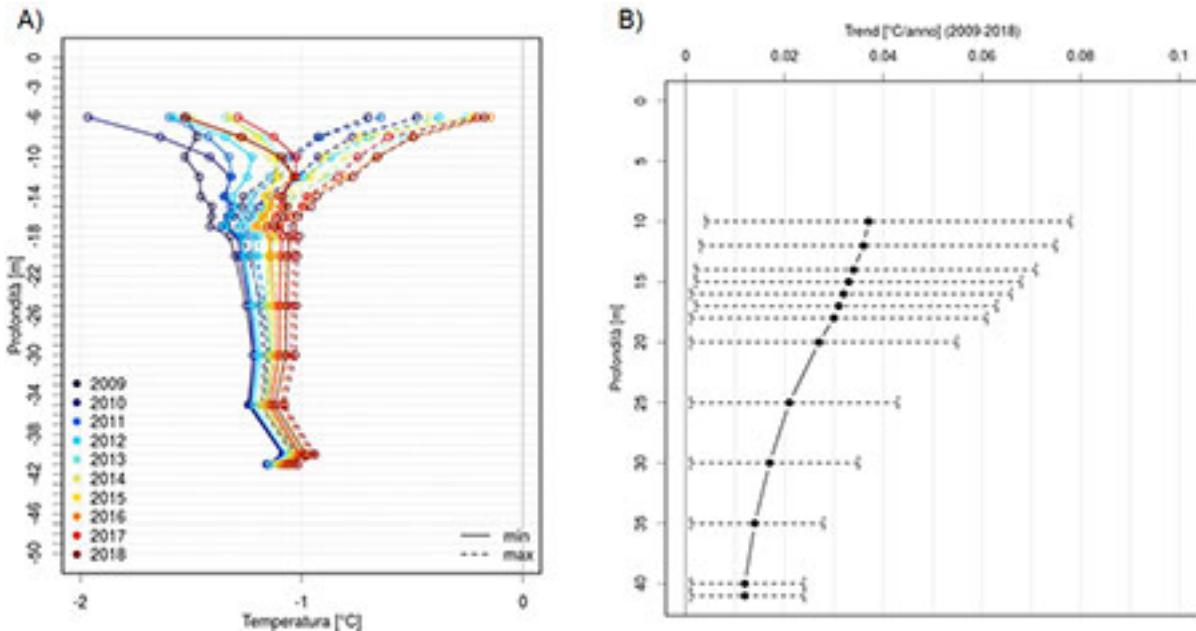


Fig. 14 - (A) Profili termici delle temperature minime (linea continua) e massime (linea tratteggiata) registrate nel foro DP. (B) Intensità del trend di riscaldamento rilevato sui sensori della catena termometrica DP al di sotto dei 10 metri di profondità; il pallino indica il valore medio del trend mentre la linea tratteggiata orizzontale è la variabilità della stima statistica

Prospettive future

Le misure presentate continueranno nei prossimi anni ed in particolare verranno approfonditi gli studi legati all'umidità del suolo mediante l'impiego di sensori per la misura del contenuto d'acqua (tdr) in collaborazione con l'Università di Fribourg (svizzera).

Abstract

The site is located in the northwestern Italian Alps (Aosta Valley, IT) at an altitude of 3100 m (45°55'12.8" N 7°41'35.5" E). The site is a high-mountain plateau slightly degrading westward, characterized by terracettes, convexities and depressions that result in a high spatial variability of snow cover thickness during winter. The bedrock lithology is homogeneous, mainly consisting of garnetiferous micaschists and calcschists belonging to the upper part of the Zermatt-Saas ophiolite complex. The bedrock surface is weathered and fractured, locally resulting in a cover of coarse-debris deposits with a thickness ranging from few centimeters to a couple of meters. The presence of small landforms like gelifluction lobes and sorted polygons of fine material suggests the presence of permafrost. The climate of the area is slightly continental. Over the period 2006-2018 the mean precipitation has been about 1200 mm/yr with a mean annual air temperature of -2.7°C. Mean monthly air temperatures are positive from June to September, while February and July are, respectively, the coldest and the warmest months. The site is very windy and mainly influenced by northern air masses. The monitoring activity started in 2006. The instrumentation consists of a deep (DP) and a shallow (SH) borehole, reaching a depth of 41 and 6 m, respectively, located about 30 m apart. The site also has an automatic weather station (AWS) equipped with thermo-hygrometer, radiometer, anemometer, nivometer and a rain gauge.

Comune di Torgnon (Tellinod)

Autori

Edoardo Cremonese¹, Marta Galvagno¹, Gianluca Filippa¹

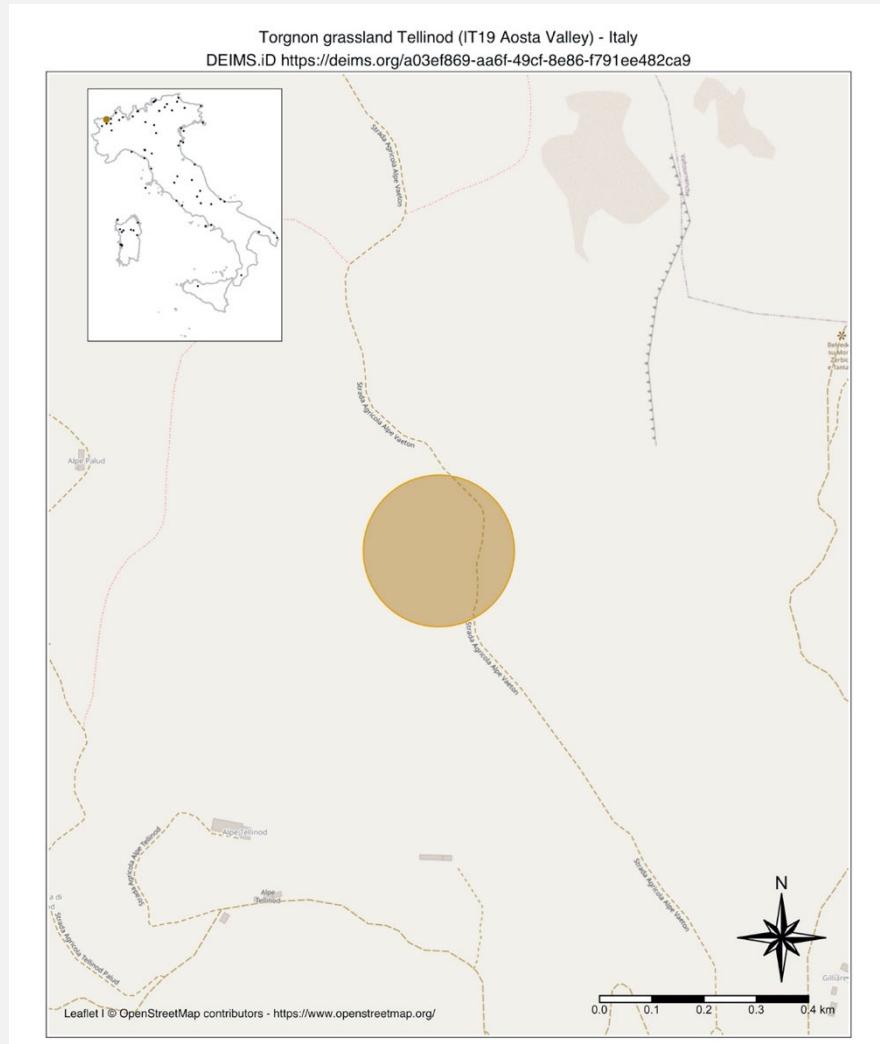
Affiliazione

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, ARPA VdA

Sigla: IT19-005-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/a03ef869-aa6f-49cf-8e86-f791ee482ca9>

Responsabile sito: Edoardo Cremonese



Descrizione del sito

Il sito è un pascolo subalpino abbandonato situato a circa 2100 m slm nelle Alpi NordOccidentali (45°50'40" N, 7°34'41" E). Le specie vegetali dominanti sono: *Nardus stricta* L., *Festuca nigrescens* All.,



Fig. 15 - Vista della strumentazione in campo nel sito LTER

Arnica montana L., *Carex semper-virens* Vill., *Geum montanum* L., *Anthoxanthum alpinum* L., *Potentilla aurea* L., *Trifolium alpinum*. Una porzione del sito, a seguito dell'abbandono di ogni forma di pascolamento è interessata da una significativa ricolonizzazione arbustiva ed arborea da parte di *Juniperus communis*, *Vaccinium* spp., *Calluna vulgaris* e *Larix decidua*. I suoli sono classificati come Cambisol (FAO/ISRIC/ISS). Il clima, intra-alpino semi continentale, è caratterizzato da una

temperatura media annua di 3.1°C ed una precipitazione media annua di 880 mm. In media dalla fine di ottobre fino a maggio inoltrato, il sito è coperto da 90-120 cm di neve che limitano la stagione di crescita delle piante a soli 5 mesi. Maggior informazioni possono essere trovate in Galvagno *et al.* (2013).

Misure continue di flussi di CO₂ e acqua, mediante la tecnica *eddy covariance*, sono iniziate nel 2008. Vengono inoltre realizzate misure di proximal sensing mediante spettroradiometri e webcam per il monitoraggio delle dinamiche stagionali e dei processi funzionali della vegetazione. Il monitoraggio della fenologia del pascolo e della dinamica di sequestro del carbonio permette di evidenziare i principali parametri che governano la produzione vegetale ed il ciclo del carbonio. Particolare attenzione viene rivolta all'effetto che le dinamiche stagionali del manto nevoso (la durata dell'innevamento e la fusione) possono avere sulla fenologia e di conseguenza sulla capacità di sequestro di carbonio.

Oltre alla rete LTER, il sito appartiene alla rete europea per la misura dei flussi di CO₂, ICOS (IT-Tor <https://www.icos-ri.eu/>) e a Phenocam (Torgnon-nd, <https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) network mondiale per il monitoraggio della fenologia vegetale mediante l'utilizzo di immagini digitali.

Numerosi enti, oltre ad ARPA Valle d'Aosta, sono coinvolti nelle attività di ricerca del sito: Laboratorio di Telerilevamento delle Dinamiche Ambientali, Università di Milano Bicocca, l'Università degli studi di Torino (Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi e il Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari), Università degli Studi di Torino, Biomet Lab, Innsbruck University, and Max Plank Institute for Biogeochemistry.

Risultati

Le misure dei flussi di CO₂ consentono di quantificare lo scambio ecosistemico netto di CO₂ (Net Ecosystem Exchange – NEE). L'NEE è il bilancio tra la quantità di carbonio sottratta all'atmosfera attraverso la fotosintesi e la quantità di carbonio rilasciata in atmosfera attraverso la respirazione di piante e microorganismi del suolo. Valori negativi di NEE indicano assorbimento di CO₂ da parte dell'ecosistema, mentre valori positivi ne indicano il rilascio verso l'atmosfera. Da inizio anno fino alla

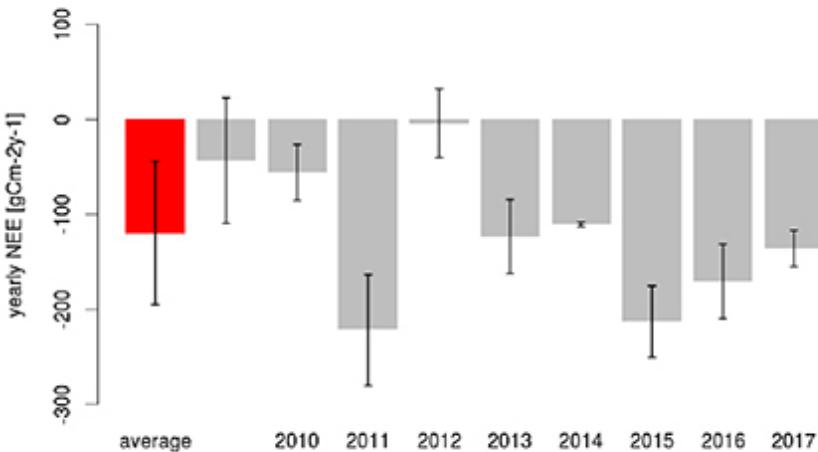


Fig. 16 - Scambio ecosistemico netto di CO₂ (Net Ecosystem Exchange - NEE)

fino alla fine dell'anno, il pascolo torna ad emettere CO₂. I valori annuali cumulati esprimono il bilancio dello scambio di CO₂ annuale: l'ecosistema generalmente sequestra CO₂ ma l'intensità varia in modo significativo di anno in anno, come mostrato nella figura 16. Fattori meteorologici (temperatura, umidità, precipitazione, irraggiamento solare) ed ecologici (tipologia di ecosistema, comunità vegetale, fenologia...) influenzano l'NEE a scala giornaliera, stagionale, annuale e interannuale.

L'intensità del sequestro annuale di CO₂, dipende dalla durata della stagione vegetativa: per questo motivo nel sito vengono fatte osservazioni fenologiche con fenocamere e misure di NDVI. Il monitoraggio della fenologia può essere fatto utilizzando immagini digitali. A partire dai colori contenuti nelle immagini è possibile calcolare un indice che rappresenta la quantità di verde e che quindi dipende dallo sviluppo della vegetazione. La figura 17 mostra il confronto, tra diversi anni, dello sviluppo della quantità di verde (GCC) nel sito. Le curve iniziano a salire appena dopo la fusione della neve e, dalla posizione reciproca delle diverse curve, è possibile individuare anni precoci (2017), anni tardivi (2013) ed effetti di eventi estremi, come siccità estiva (2015, 2018) (Cremonese *et al.* 2018).

fusione della neve, il pascolo emette CO₂ perché le piante sotto la neve non fotosintetizzano: in questo periodo avvengono solo processi di respirazione che liberano CO₂. Alla fusione della neve (Maggio-Giugno), inizia lo sviluppo della vegetazione e la fotosintesi diventa superiore alla respirazione: il pascolo sequestra CO₂ fino ad autunno inoltrato, periodo in cui, per il ritorno della neve o per condizioni di luce e temperatura sfavorevoli, la respirazione torna a superare la fotosintesi e, da tale periodo

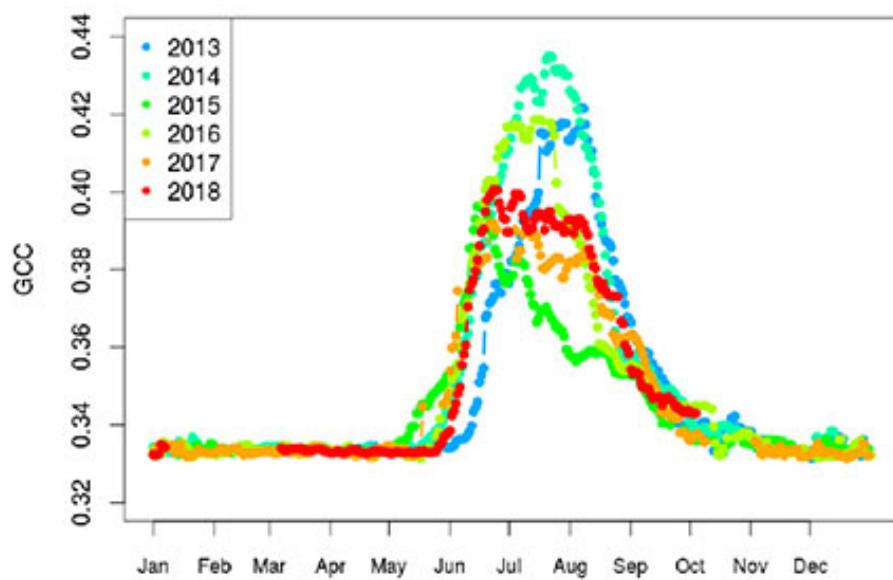


Fig. 17 - Andamento dello sviluppo della quantità di verde (GCC), derivato dalle immagini digitali

Recenti studi hanno analizzato la relazione tra le caratteristiche dei suoli e la vegetazione. Pintaldi *et al.* (2016) hanno dimostrato che la microtopografia degli hummocks influenza le proprietà del topsoil, la pedogenesi e la distribuzione della vegetazione. Oddi *et al.* (2018) hanno analizzato i feedback tra decomposizione, microtopografia e eterogeneità dell'ecosistema.

Prospettive future

Le misure presentate continueranno nei prossimi anni, in particolare a seguito dell'inclusione del sito nel network ICOS (IT-Tor <https://www.icos-ri.eu/>). Verranno anche approfonditi gli studi legati all'idrologia della neve, con particolare attenzione alla modellazione della fusione e al ruolo del *dust* nell'influenzare la dinamica stagionale della neve. Mediante l'integrazione di rilievi a terra e sorvoli con drone si approfondiranno i processi di ricolonizzazione arbustiva ed arborea.

Abstract

The site is located in the northwestern Italian Alps (Aosta Valley, IT) at an altitude of 2160 m a.s.l. (45°50'40"N, 7°34'41"E). The area is a subalpine unmanaged grassland. Dominant vegetation consists of *Nardus stricta* L., *Festuca nigrescens* All., *Arnica montana* L., *Carex semper-virens* Vill., *Geum montanum* L., *Anthoxanthum alpinum* L., *Potentilla aurea* L., *Trifolium alpinum* L.. The terrain slopes gently and the soil is classified as Cambisol (FAO/ISRIC/ISS). The site is characterized by an intra-alpine semi-continental climate, with mean annual temperature of 3.1°C and mean annual precipitation of about 880 mm. On average, from the end of October to late May, the site is covered by a thick snow cover (90-120 cm) which limits the growing period to an average of five months. Further information regarding the site can be found in Galvagno *et al.* (2013). Continuous CO₂ and water fluxes measures (eddy covariance method), meteorological, phenological and proximal sensing observations are carried out since 2008. Beside LTER network, the experimental site belongs also to the to the ICOS (IT-Tor <https://www.icos-ri.eu/>) and Phenocam (Torgnon-nd, <https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) networks.

Comune di Torgnon (Lariceto di Tronchaney)

Autori

Edoardo Cremonese¹, Marta Galvagno¹, Gianluca Filippa¹

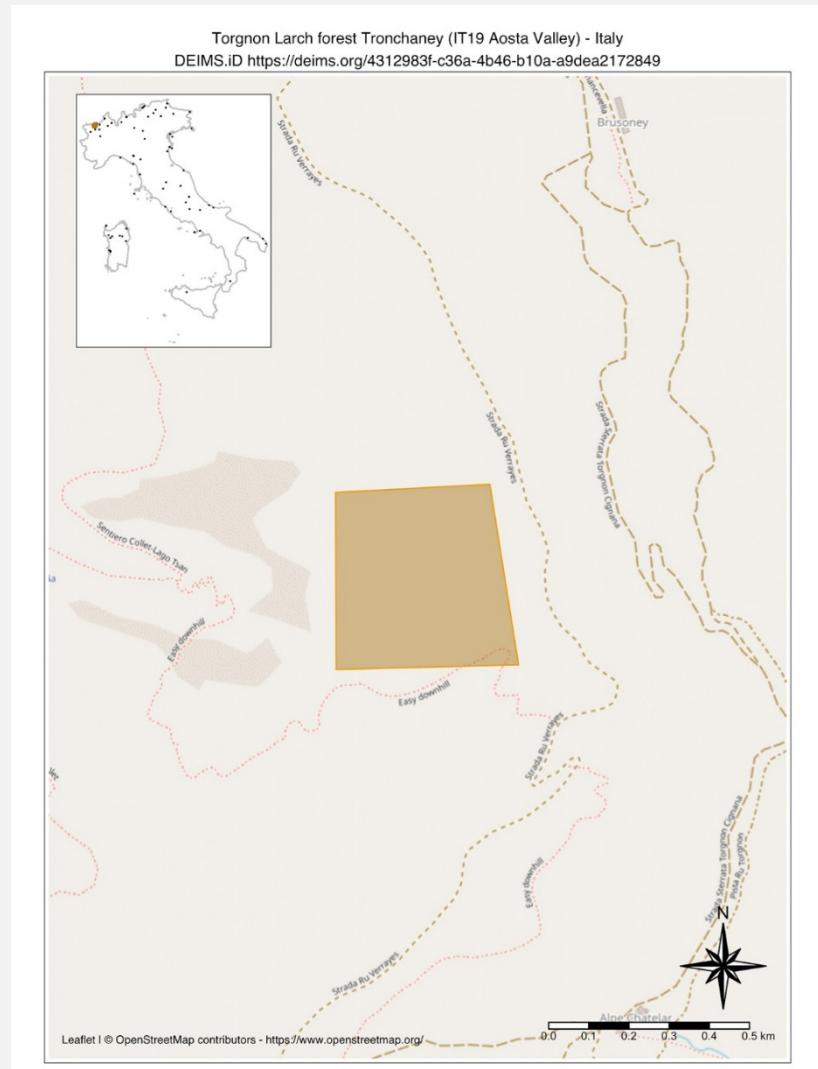
Affiliazione

¹ Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, ARPA VdA

Sigla: IT19-006-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/4312983f-c36a-4b46-b10a-a9dea2172849>

Responsabile sito: Edoardo Cremonese



Descrizione del sito

Il lariceto subalpino di Tronchaney è situato a circa 2100 m slm, nel comune di Torgnon (AO). Il sito rappresenta uno degli ecosistemi forestali più diffusi in Valle d'Aosta e in generale nelle Alpi. Il bosco è caratterizzato dalla presenza di Larice europeo (*Larix decidua Mill.*) come specie dominante e da sporadici individui di abete rosso (*Picea abies*). Il lariceto è rado e luminoso, caratterizzato di conseguenza dalla presenza di un rigoglioso sottobosco ricco di arbusti, tra cui rododendro (*Rhododendron Ferrugineum*), ginepro (*Juniperus communis*) e mirtillo (*Vaccinium myrtillus*) e piante erbacee,

come ad esempio *Arnica montana* e *Poa alpina*. L'altezza media dei larici è di 10 m e l'età media di 120 anni. La temperatura media annua è di +2.31°C, e la precipitazione media annua è di 880 mm. Mediamente da novembre a maggio è presente neve al suolo, con un'altezza media annuale di 0.64 m, e un massimo di 1.95 m, raggiunto nel 2018.

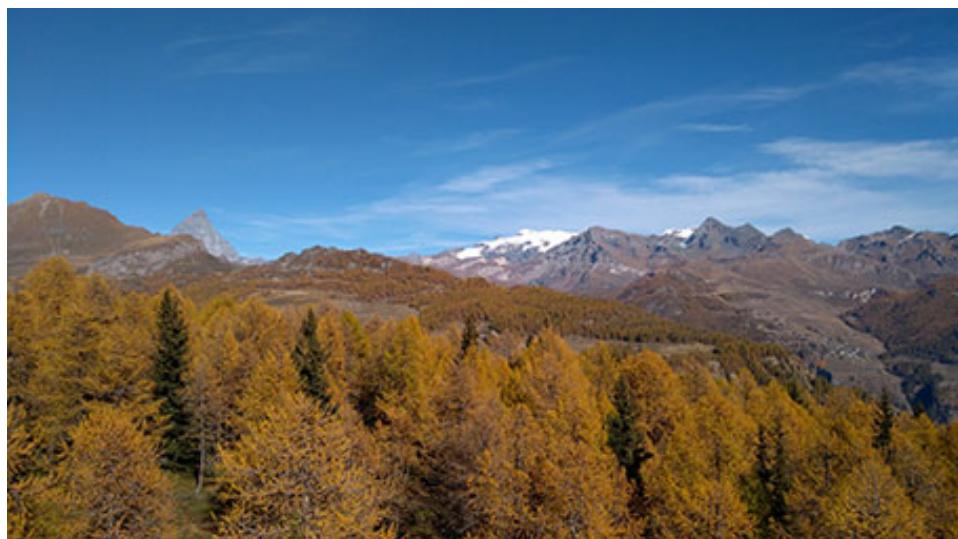


Fig. 18 - Lariceto di Tronchaney

Al fine di valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla fenologia delle foreste di larice, nel 2005 sono state avviate le prime osservazioni fenologiche in campo, con la definizione di un protocollo di osservazione mantenuto poi costante negli anni successivi. Le osservazioni vengono realizzate ogni settimana per le fasi di crescita primaverile ed ogni settimana per le fasi di ingiallimento e defogliazione autunnale. Sempre a partire dal 2005 sono in corso misure in continuo della temperatura del suolo e dell'aria. Per indagare le relazioni tra gli aspetti strutturali e quelli funzionali dell'ecosistema, nel 2010 è stata installata una torre *eddy covariance* per il monitoraggio dei flussi di anidride carbonica (CO₂) e tutta la strumentazione meteorologica associata (e.g. temperatura, precipitazione, radiazione, umidità, velocità del vento). L'analisi delle relazioni tra fenologia e sequestro di carbonio permette infatti di comprendere come le variazioni nella durata della stagione vegetativa si riflettano nell'aumentata o diminuita capacità dell'ecosistema di funzionare come *sink* di carbonio. Infine, oltre alla rete LTER, il sito appartiene alle reti Fluxnet per la raccolta delle misure dei flussi di CO₂ e Phenocam (Torgnon-ld, <https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/>) per il monitoraggio della fenologia vegetale mediante l'utilizzo di immagini digitali.

Principali Risultati

I 14 anni di osservazioni fenologiche mostrano (Fig. 19) una chiara dipendenza delle fasi di partenza, come ad esempio il bud-burst, dalle condizioni meteorologiche primaverili e dalla data di fusione della neve, mentre le fasi di senescenza, appaiono più costanti negli anni con una dipendenza prevalentemente fotoperiodica (Migliavacca *et al.* 2007).

Al contrario, non si osservano al momento trend di anticipazione delle fasi primaverili o di allungamento della stagione vegetativa, ma piuttosto delle anomalie più o meno forti, legate ad eventi meteorologi particolari. Ad esempio, il 2011 è stato un anno record per quel che riguarda la data di fusione della neve, che è avvenuta con più di un mese di anticipo rispetto alla media storica. Questo evento è dovuto ad un'onda di calore particolarmente prolungata, avvenuta nei mesi di marzo e aprile 2011, che ha quindi portato ad un inizio anticipato

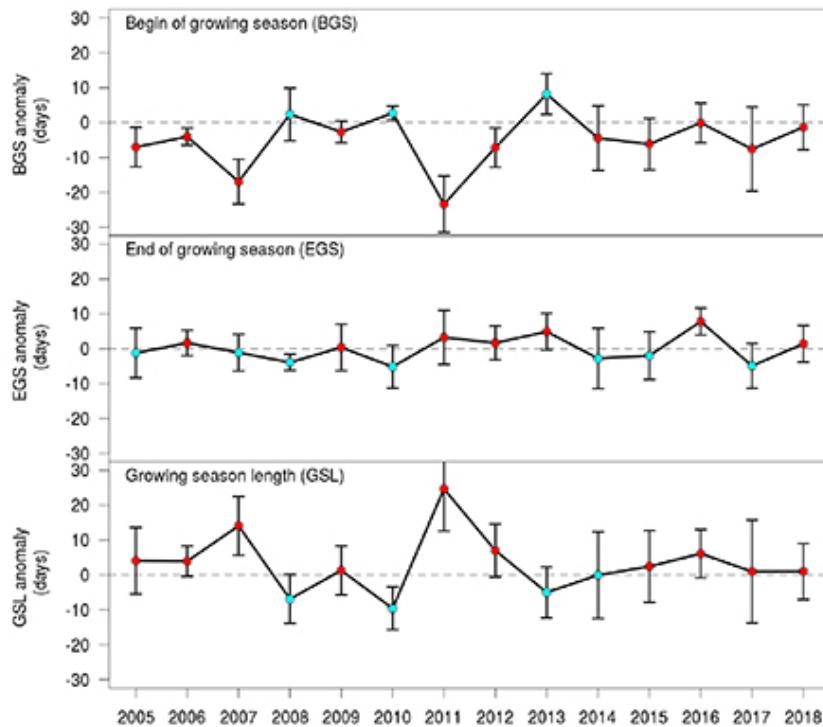


Fig. 19 - Anomalie nelle date fenologiche relative a: inizio della stagione (BGS), fine della stagione (EGS), durata della stagione vegetativa (GSL)

della stagione vegetativa del larice di più di 20 giorni rispetto alla media. Dal momento che la fine della stagione avviene, al contrario, ogni anno all'incirca nello stesso periodo, come conseguenza il 2011 presenta la stagione di crescita più lunga della serie.

Il monitoraggio della fenologia realizzato tramite camere digitali mostra il confronto, tra diversi anni, dello sviluppo della quantità di verde (GCC) nel lariceto. Come osservato in campo (Fig. 19) le curve di verde iniziano a salire in primavera in base alla fusione della neve e alle temperature primaverili, mentre la fine della stagione rimane pressoché costante negli anni. Anche i valori massimi raggiunti dallo sviluppo delle chiome nei diversi anni sono meno variabili rispetto a quanto avviene ad esempio per il pascolo di Tellinod.

Infine, anche le misure dei flussi di CO₂ mostrano un

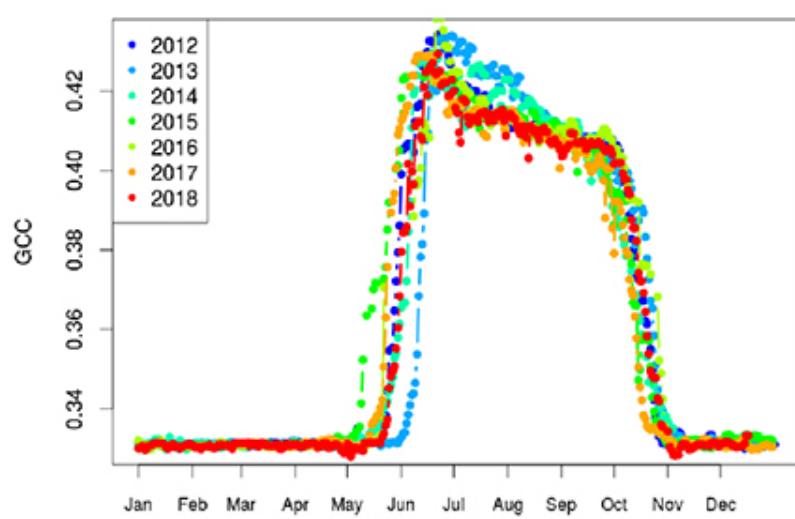


Fig. 20 - Andamento dello sviluppo della quantità di verde (GCC), derivato dalle immagini digitali

andamento pressoché costante negli anni (Fig. 20), senza evidenti trend o anomalie nella quantità di carbonio sequestrato dall'ecosistema. Confrontando il pascolo e il lariceto per negli anni caratterizzati

da forti anomalie meteorologiche (e.g. 2015 e 2018), si può notare come l'ecosistema forestale sia meno sensibile agli eventi estremi osservati. Nonostante le indagini siano ancora in corso si può ipotizzare che tale differenza sia legata alla maggior efficienza di utilizzo dell'acqua (e.g. radici più profonde) del lariceto rispetto al nardeto.

Il larice è considerata una specie anisoidrica, ovvero che non regola la chiusura degli stomi in base alla disponibilità d'acqua, in modo da ottimizzare la sua attività fotosintetica durante la breve stagione di crescita. Alle alte quote (sopra i 2000 m), dove la riduzione di contenuto idrico del suolo negli anni più caldi e siccitosi (2015 e 2018) non è stata comunque

Fig. 21 - Andamento giornaliero dello scambio ecosistemico netto di CO₂ (NEE)

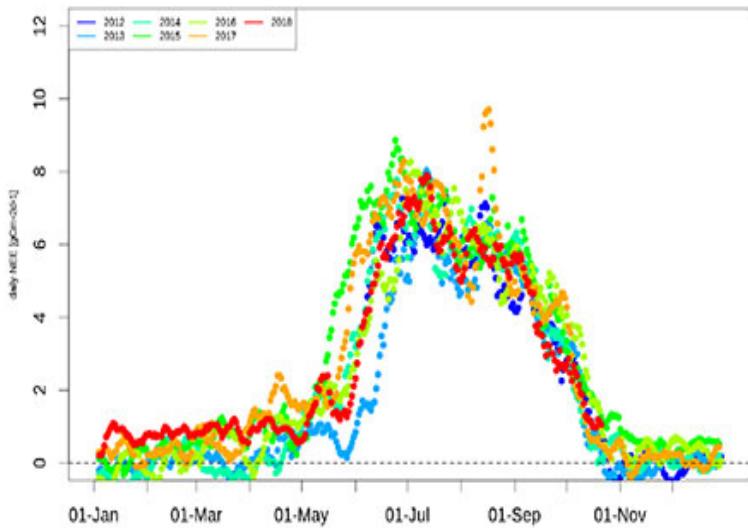
tale da causare stress nel popolamento indagato, questa strategia permette al larice di mantenere elevata la sua attività fotosintetica e quindi il sequestro di carbonio. Al contrario, se le condizioni future porteranno ad una maggior riduzione della disponibilità d'acqua, si potranno osservare forti limitazioni sulla crescita di questa specie (Obojes *et al.* 2018).

Prospettive future

Le misure presentate continueranno nei prossimi anni ed in particolare verranno approfonditi gli studi legati allo stress idrico mediante l'analisi di sonde per la misura del flusso di linfa (sapflow). Le misure eddy covariance sono in corso di implementazione a causa delle problematiche legate alle misure in zone di montagna.

Abstract

The European larch forest is located at 2100 m asl, close to the village of Torgnon (AO). The site is one of the most widely distributed ecosystems in the Aosta Valley and the Alps. The stand is composed by European larch (*Larix decidua* Mill.) as the dominant species and by sporadic spruce (*Picea abies*) individuals. The forest is quite open, allowing the growth of vigorous understory vegetation, composed mainly by shrubs, such as *Rhododendron ferrugineum*, *Juniperus communis*, and *Vaccinium* spp. and grasses such as *Arnica montana* and *Poa alpina*. Mean tree height is 10 m and mean tree age is 120 years. The climate is characterised by a mean annual temperature of +2.31°C and a mean annual precipitation of 880 mm. On average from November to late May the ground is covered by snow with an average of 0.70 m and a maximum of 1.95 reached in winter 2018. At the site, different observations are carried on in order to evaluate the climate change impacts on the structure and function of the ecosystem. In 2005 direct observations of the main phenological events have been started at the site, while since 2010 eddy covariance measurements of CO₂ fluxes are carried on. Monitoring of phenology is also carried on by means of digital cameras installed on the top of the eddy covariance tower and since 2015 measurements of the sap flow in trunks are available. Beside LTER network, the site belongs also to the Fluxnet and Phenocam networks.



Sitografia

<http://www.arpa.vda.it>
<https://www.gloria.ac.at/>
<https://phenocam.sr.unh.edu/webcam/sites/torgnon-nd/>

Bibliografia citata e Prodotti del macrosito ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Colombo N., Sambuelli L., Comina C., Colombero C., Giardino M., Gruber S., Viviano G., Vittori Antisari L., Salerno F. (2018a). Mechanisms linking active rock glaciers and impounded surface water formation in high-mountain areas. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 43 (2), p. 417-431.
- Colombo N., Gruber S., Martin M., Malandrino M., Magnani A., Godone D., Freppaz M., Fratianni S., Salerno F. (2018b). Rainfall as primary driver of discharge and solute export from rock glaciers: The Col d'Olen Rock Glacier in the NW Italian Alps. *Science of the total environment*, vol. 639, p. 316-330.
- Colombo N., Salerno F., Martin M., Malandrino M., Giardino M., Serra E., Godone D., Said-Pullicino D., Fratianni S., Paro L., Tartari G., Freppaz M. (2019a). Influence of permafrost, rock and ice glaciers on chemistry of high-elevation ponds (NW Italian Alps). *Science of the Total Environment* 685: 886-901.
- Colombo N., Bocchiola D., Martin M., Confortola G., Salerno F., Godone D., D'Amico M., Freppaz M. (2019b). High export of nitrogen and dissolved organic carbon from an Alpine glacier (IndrenGlacier, NW Italian Alps). *Aquatic Sciences*, 81 (4).
- Cremonese E., Filippa G., Galvagno M., Siniscalco C., Oddi L., Morra di Cella U. & Migliavacca M. (2017). Heat wave hinders green wave: The impact of climate extreme on the phenology of a mountain grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 247(May), 320-330. doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.08.016.
- Djukic I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen K., TeaComposition group. (2018). Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629: 1369-1394.
- Filippa G., Cremonese E., Galvagno M., Migliavacca M., Morra di Cella U., Petey M. & Siniscalco C. (2015). Five years of phenological monitoring in a mountain grassland: inter-annual patterns and evaluation of the sampling protocol. *International Journal of Biometeorology*.
- Freppaz M., Viglietti D., Balestrini R., Lonati M., Colombo N. (2019). Climatic and pedoclimatic factors driving C and N dynamics in soil and surface water in the alpine tundra (NW-Italian Alps). *Nature Conservation* 34: 67-90.
- Galvagno M., Wohlfahrt G., Cremonese E., Filippa G., Migliavacca M., Mora U., ... Van Gorsel E. (2017). Contribution of advection to nighttime ecosystem respiration at a mountain grassland in complex terrain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238, 270-281.
- Galvagno M., Wohlfahrt G., Cremonese E., Rossini M., Colombo R., Filippa G., ... Migliavacca M. (2013). Phenology and carbon dioxide source/sink strength of a subalpine grassland in response to an exceptionally short snow season. *Environmental Research Letters*, 8(2).
- Julitta T., Cremonese E., Migliavacca M., Colombo R., Galvagno M., Siniscalco C., ... Menzel A. (2014). Using digital camera images to analyse snowmelt and phenology of a subalpine grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198-199, 116-125.

-
- Leo M., Oberhuber W., Schuster R., Grams T.E., Matyssek R., Wieser G. (2014). Evaluating the effect of plant water availability on inner alpine coniferous trees based on sap flow measurements. European Journal of Forest Research 133: 691-698.
- Magnani A., Viglietti D., Godone D., Williams M.W., Balestrini R., Freppaz M. (2017a). Interannual variability of soil N and C forms in response to snow -cover duration and Pedoclimatic conditions in alpine tundra, northwest Italy. Arctic Antarctic and Alpine Research, vol.49, p. 227-242, ISSN: 1523-0430, DOI: 10.1657/AAAR0016-037.
- Magnani A., Viglietti D., Balestrini R., Williams M.W., Freppaz M. (2017b). Contribution of deeper soil horizons to N and C cycling during the snow-free season in alpine tundra, NW Italy. Catena, vol. 155, p. 75-85, ISSN: 0341-8162, DOI: 10.1016/j.catena.2017.03.007.
- Migliavacca M., Cremonese E., Colombo R., Busetto L., Galvagno M., Ganis L., Meroni M., Pari E., Rossini M., Siniscalco C., Morra di Cella M. (2007). European Larch phenology in the Alps: can we grasp the role of ecological factors by combining field observations and inverse modelling? International Journal of Biometeorology.
- Migliavacca M., Galvagno M., Cremonese E., Rossini M., Meroni M., Sonnentag O., ... Richardson A.D. (2011). Using digital repeat photography and eddy covariance data to model grassland phenology and photosynthetic CO₂ uptake. Agricultural and Forest Meteorology, 151(10), 1325-1337.
- Obojes N., Meurer A., Newesely C., Tasser E., Oberhuber W., Mayr S., Tappeiner U. (2018). Water stress limits transpiration and growth of European larch up to the lower subalpine belt in an inner-alpine dry valley. New Phytologist 220: 460-475, DOI: 10.1111/nph.15348.
- Otti L., Celi L., Cremonese E., Filippa G., Galvagno M., Palestini G. & Siniscalco C. (2018). Decomposition processes interacting with microtopography mountain ecosystem heterogeneity in a subalpine grassland. Plant and Soil.
- Pecci M., D'Aquila P., Valt M., Cagnati V., Corso T., Crepaz A., Crepaz G., Gabrieli J., Praolini A., Meraldì E., Berbenni E., Kappengerger G., Freppaz M., Della Vedova P., Filippa G. (2006). Profilo chimico ambientale del manto nevoso. Neve e valanghe, vol. 58, pp 90-105.
- Pecci M. (2008). Snow cover on the mountains: still white and pure? Mountain Research and Development 28 n.3/4: 222-225.
- Pintaldi E., Viglietti D., D'Amico M.E., Magnani A., Freppaz M. (2019). Abiotic Parameters and Pedogenesis as Controlling Factors for Soil C and N Cycling Along an Elevational Gradient in a Subalpine Larch Forest (NW Italy). Forests, 10(8), 614.
- Pintaldi E., D'Amico M.E., Siniscalco C., Cremonese E., Celi L., Filippa G., Prati M., Freppaz M. (2016). Hummocks affect soil properties and soil-vegetation relationships in a subalpine grassland (North-Western Italian Alps). Catena, 145, 214-226.
- Pogliotti P., Guglielmin M., Cremonese E., Morra di Cella U., Filippa G., Pellet C. & Hauck C. (2015). Warming permafrost and active layer variability at Cime Bianche, Western European Alps. The Cryosphere, 9(2), 647-661.
- Quaglia E., Ravetto Enri S., Perotti E., Probo M., Lombardi G., Lonati M. (2020). Alpine tundra species phenology is mostly driven by climate-related variables rather than by photoperiod. Journal of Mountain Science, 17, 1-16.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., Bottarin R., Brambilla A., Canullo R., Carbognani M., Cerrato C., Chelli S., Cremonese E., Cutini M., Di Musciano M., Erschbamer B., Godone D., Iocchi M., Isabellon M., Magnani A., Mazzola L., Morra di Cella U., Pauli H., Petey M., Petriccione B., Porro F., Psenner R., Rossetti G., Scotti A., Sommaruga R., Tappeiner U., Theurillat J.-P., Tomaselli M., Viglietti D., Viterbi R., Vittoz P., Winkler M., Matteucci G. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. Science of the Total Environment, vol 624, p. 1429-1442.

-
- Rossini M., Cogliati S., Meroni M., Migliavacca M., Galvagno M., Busetto L., ... Colombo R. (2012). Remote sensing-based estimation of gross primary production in a subalpine grassland. *Biogeosciences*, 9(7), 2565-2584.
- Stanisci A., Frate L., Morra di Cella U., Pelino G., Petey M., Siniscalco C., Carranza M.L. (2016). Short-term signals of climate change in Italian summit vegetation: observations at two GLORIA sites. *Plant Biosyst.* 150:227-235, doi.org/10.1080/112635042014968232.
- Steinbauer M.J., Grytnes J-A., ... Wipf S. (2018). Accelerated increase in plant species richness on mountain summits is linked to warming. *Nature* 556, 231-234, doi.org/10.1038/s41586-018-0005-6.
- Winkler M., Lamprecht A., Steinbauer K., Hulber K., ... Gottfried M. and Pauli H. (2016). The rich sides of mountain summits – a pan-European view on aspect preferences of alpine plants. *Journal of Biogeography*, doi.org/10.1111/jbi.12835.

Riviste non ISI

Martin M., Freppaz M., Gorra R., Filippa G. (2010). High iron contents in soil, snow and water in alpine site (NW Italy): possible effects of snow-soil interaction on seasonal redox processes (2010). Poster in conference: “Transfers and transformations: our evolving biosphere”. Saskatoon, Canada.

Libri o capitoli di libri

Carrara P., Criscuolo L., Freppaz M., Lami A., Maggioni M., Oggioni A., Rogora M. (2018). Rosa... azzurro... verde! Eco-staffetta tra i siti LTER dal Monte Rosa a Lago Maggiore In: Bergami C., L'Astorina A., Pugnetti A. (editori) I cammini della Rete LTER Italia: il racconto dell'ecologia in cammino.

IT20-T DUNE SABBIOSE COSTIERE DELL'ITALIA CENTRALE

Autori

Alicia T.R. Acosta¹, Angela Stanisci², Corrado Battisti³, Irene Prisco¹

Affiliazione

¹ Università Roma Tre (Roma), Dipartimento di Scienze.

² Università del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio.

³ Città metropolitana di Roma Capitale, Dipartimento IV Tutela e valorizzazione ambientale, Servizio Aree protette, tutela della flora e della biodiversità.

DEIMS.ID: <https://deims.org/6d7ffd99-40e1-4f0d-ad26-6904581dbe9b>

Referente Macrosito: Alicia T. R. Acosta

Elenco dei Siti di ricerca del macrosito:

Monumento Naturale Palude di Torre Flavia (RM), IT20-001-T

Foce Trigno-Marina di Petacciato (CB), IT20-002-T

Foce Saccione-Bonifica Ramitelli (CB), IT20-003-T

Tipologia di ecosistema: terrestre

Citare questo capitolo come segue: Acosta A.T.R., Stanisci A., Battisti C. *et al.* (2021). IT20-T Dune sabbiose costiere dell'Italia centrale, p. 635-662. DOI: 10.5281/zenodo.5584769. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il sito comprende gli ecosistemi sabbiosi costieri dell'Italia centrale, sia adriatici che tirrenici. Si tratta di ambienti caratterizzati da una flora e da una fauna altamente specializzata e presentano, inoltre, un elevato valore ecologico e paesaggistico. Tuttavia, si tratta di ecosistemi tra i più vulnerabili e più

seriamente minacciati a scala nazionale ed europea, principalmente a causa delle pressioni antropiche dirette e indirette.

Le aree sono incluse nella rete Natura 2000 e comprendono habitat e specie di interesse comunitario. I principali habitat di dune sabbiose presenti sono: Habitat 1210 (Vegetazione annua delle linee di deposito marine), Habitat 2110 (Dune embrionali mobili), Habitat 2120 (Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*), Habitat 2230 (Dune con prati dei *Malcolmietalia*), Habitat prioritario



Fig. 1 - Paesaggio a dune lungo la costa adriatica

2250* (Dune costiere con *Juniperus* spp.), Habitat 2260 (Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia*) e Habitat prioritario 2270* (Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*).

Le principali finalità e tematiche di ricerca sono:

- Monitoraggio della biodiversità vegetale, dinamica temporale delle principali specie e dei principali habitat costieri psammofili;
- Monitoraggio della biodiversità animale, dinamica temporale dell'avifauna nidificante, Ardeidi, Anatidi e *Charadrius alexandrinus*, e dinamica delle popolazioni di *Testudo hermanni*;
- Analisi multi temporale dei cambiamenti a scala di paesaggio, dinamica della copertura del suolo ed evoluzione della morfologia dunale e della linea di costa.

Abstract

This site includes coastal dune ecosystems of Central Italy, both along Tyrrhenian and Adriatic coastline. The flora and the fauna of the site is highly specialized with a relevant ecological value. On the other side, the site includes one of the most threatened ecosystems at national and European level, mainly due to direct and indirect human pressures.

These areas host many EU interest habitats and species and are included in the Nature 2000 Network. Major EU Habitats are: Habitat 1210 (Annual vegetation of drift lines), Habitat 2110 (Embryonic shifting dunes), Habitat 2120 (Shifting dunes along the shorelines with *Ammophila arenaria*), Habitat 2230 (*Malcolmietalia* dune grasslands), priority Habitat 2250* (Coastal dunes with *Juniperus* spp.), Habitat 2260 (*Cisto-Lavanduletalia* dune sclerophyllous scrubs) and priority Habitat 2270* (Wooded dunes with *Pinus pinea* and/or *Pinus pinaster*).

The main topics of the ecological monitoring are: the temporal dynamics of plant diversity and abundance of coastal EU habitats, the periodical observation of nesting avifauna and *Testudo hermanni*, and the multi-temporal analysis of land cover types and its distribution, as well as of dune morphology and shoreline evolution.

Monumento Naturale Palude di Torre Flavia

Autori

Alicia T. R. Acosta ¹, Corrado Battisti ², Irene Prisco ¹.

Affiliazione

¹ Università Roma Tre; Dipartimento di Scienze

² Città metropolitana di Roma Capitale, Dipartimento IV Tutela e valorizzazione ambientale, Servizio Aree protette, tutela della flora e della biodiversità

Sigla: IT20-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/e618c7ca-2b92-46cb-9156-d87336c5a81f>

Responsabile sito: Alicia T. R. Acosta



Descrizione del sito

Il sito si trova lungo il litorale tirrenico a nord di Roma, nei comuni di Ladispoli e Cerveteri (provincia di Roma). Ha un'estensione di 48.5 ettari e un'altitudine compresa tra 0 e 3 m s.l.m.. Il sito è Zona di Protezione Speciale (ZPS) per l'avifauna migratoria (codice IT6030020; Direttiva 79/409/CEE Uccelli).



Fig. 2 - Litorale tirrenico: palude di Torre Flavia

mare da lembi residuali di un'antica duna sabbiosa (Battisti 2006). Gli habitat dunali di Direttiva presenti nel sito sono principalmente quelli delle prime fasce di vegetazione più vicine al mare: Habitat 1210 (Vegetazione annua delle linee di deposito marine), Habitat 2110 (Dune embrionali mobili), Habitat 2120 (Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*) e Habitat 2230 (Dune con prati dei *Malcolmietalia*). Questi habitat tipici delle prime dune sabbiose sono spesso molto degradati e frammentari, nonché a mosaico tra loro. Nel sito sono inoltre presenti altri habitat legati alle depressioni umide retrodunali, con suoli più o meno salini, come la vegetazione pioniera a *Salicornia* (Habitat 1310), quella perenne delle zone fangose e sabbiose (Habitat 1420) e i giunchetti mediterranei (*Juncetalia maritimii*) delle depressioni umide retrodunali (Habitat 1410). Si osservano, inoltre, canneti a dominanza di *Phragmites australis*.

Il sito di ricerca è stato a più riprese oggetto di interesse per studiosi e ambientalisti, che nel tempo hanno prodotto dati di diverso tipo ed elaborato progetti sull'area. Le indagini botaniche sono state avviate alla fine degli anni '80. La prima carta della vegetazione è stata realizzata dal botanico Bonifazi (1986), mentre, in seguito, esistono segnalazioni di diverse specie vegetali da parte di Lucchese nel 1996. Successivamente, è stato realizzato un censimento della flora vascolare e delle comunità vegetali (Buccino e Loporatti 2009). L'inquadramento fitosociologico della vegetazione, che descrive, oltre alle comunità psammofile, gli habitat legati alle depressioni umide retrodunali, è stato completato nel 2005. Il monitoraggio annuale della vegetazione dunale è stato avviato a partire del 2007 tramite 3 transetti perpendicolari alla linea di costa e 30 quadrati random suddivisi in 3 aree equidistanti tra loro all'interno del sito. Le misurazioni vengono ripetute ogni anno nello stesso periodo (primavera). I dati di vegetazione sono inseriti in un database Turboveg, programma di archiviazione dati standardizzato a

La Palude di Torre Flavia rappresenta uno degli ultimi lembi delle zone umide che si estendevano, fino ai primi decenni del secolo scorso, su gran parte della maremma laziale. Le aree umide, benché discontinue ed eterogenee, sono state progressivamente bonificate e messe a coltura, specialmente negli anni '70 del secolo scorso. La zona umida si sviluppa su terreni argilloso-limosi, ricchi di materiale organico vegetale, ed è separata dal

livello europeo che consente l'inserimento di dati floristici, stazionali e climatici (Hennekens & Schaminée 2001).

Gli Uccelli, monitorati con frequenza annuale a partire dal 2003 (Sorace *et al.* 2003, 2015), costituiscono una componente importante della diversità biologica di questo sito. Le ricerche comprendono osservazione diretta, inanellamento scientifico e mappaggio dei nidificanti (*Anatidae*, *Ardeidae*). È stata rilevata la nidificazione o tentativi di nidificazione del Corriere piccolo (*Charadrius dubius*; specie in Lista Rossa) e del Fratino (*Charadrius alexandrinus*; specie in Lista Rossa enella Direttiva Uccelli) sulle dune. Vengono inoltre studiati i seguenti gruppi: Coleotteri, Gasteropodi, Erpetofauna.

Nel 2009 è stata condotta un'analisi delle caratteristiche fisico-chimiche dei suoli, registrando: granulometria, pH e materia organica. Sono inoltre stati misurati dei parametri legati al vento, come l'aerosol marino e l'abrasione del vento. All'interno del sito non è presente una stazione meteorologica; i dati climatici vengono acquisiti dalle stazioni termo pluviometriche di Ladispoli e Fiumicino e registrati nel database di vegetazione.

Inoltre, sono stati quantificati i cambiamenti a scala di paesaggio negli ultimi 50 anni, con particolare enfasi sulla configurazione degli habitat dunali in relazione alla copertura artificiale del suolo (Malavasi *et al.* 2016). Sono state usate mappe di uso del suolo datate 1954, 1986 e 2006. Infine, è stata analizzata la relazione tra la morfologia dunale e la distribuzione degli habitat costieri usando la tecnologia LiDAR (Bazzichetto *et al.* 2016).

Enti coinvolti nelle attività di ricerca del sito:

Università Roma Tre

Prof.ssa Alicia T.R. Acosta

Dipartimento di Scienze

V.le Marconi 446, 00146 Roma

Città metropolitana di Roma Capitale, Dipartimento IV Tutela e valorizzazione ambientale, Servizio Aree protette, tutela della flora e della biodiversità

Dott. Corrado Battisti

Via Tiburtina 691, 00159 Roma

Risultati

L'analisi multitemporale tramite sensori remoti dimostra che il paesaggio costiero ha subito notevoli cambiamenti dal dopo guerra in poi. Nel territorio dove si inserisce il sito è stato evidenziato un forte aumento delle aree coltivate e un aumento dei processi di urbanizzazione con la conseguente frammentazione e scomparsa degli habitat naturali (Malavasi *et al.* 2013, 2016). In seguito ad un esperimento di recinzione di due aree dunali, i risultati hanno evidenziato una veloce ripresa della comunità vegetale, sia in termini di numero che di abbondanza di specie dunali. Il lavoro ha dimostrando come la limitazione del calpestio, gestita in modo semplice ed economico, può influenzare la struttura e la funzione degli habitat dunali con ripercussioni positive anche sulla componente animale (Santoro *et al.* 2012; Acosta *et al.* 2013).

In 14 anni di studi, sono stati catturati 10.630 individui appartenenti a 55 specie diverse di uccelli. Le specie più abbondanti sono: *Remiz pendulinus*, *Emberiza schoeniclus*, *Phylloscopus collybita*, *Erithacus rubecula*, *Acrocephalus melanopogon*, *Cettia cetti*, *Saxicola torquatus* e *Acrocephalus cirpaceus*. Diverse specie catturate sono incluse nell'Allegato I della Direttiva Uccelli, come *Alcedo atthis*, *Luscinias vecica* e *Acrocephalus melanopogon*, per le quali la Palude di Torre Flavia sembra essere un sito di primaria importanza per le migrazioni. Le fluttuazioni annuali della comunità ornitica (composizione e abbondanza) sono influenzate dai cambiamenti ambientali a scala locale, come il livello dell'acqua nei canali, la struttura e l'estensione dei canneti e la copertura della vegetazione arbustiva (Sorace *et al.* 2015).

L'analisi della distribuzione dei rifiuti spiaggiati ("beach litter") dimostra che riguardano principalmente plastica e polistirolo e si concentrano soprattutto nei mesi invernali sugli habitat più

pionieri vicini alla linea di costa (Poeta *et al.* 2014). I rifiuti provengono in gran parte dalle zone interne e, trasportati da fiumi e torrenti, si depositano successivamente sulle spiagge (Poeta *et al.* 2016).

I principali progetti avviati nel sito riguardano l'analisi multi-temporale dei cambiamenti a scala di paesaggio e della morfologia dunale, tramite l'utilizzo di cartografia di uso del suolo e con il supporto della tecnologia LiDAR. Diversi progetti e tesi di dottorato hanno riguardato:

- lo studio delle comunità di coleotteri tenebrionidi e di come sono organizzate in relazione alle diverse comunità vegetali delle dune sabbiose;
- l'analisi delle minacce, secondo il protocollo IUCN, finalizzata alla redazione di uno studio propedeutico al Piano di Gestione del sito;
- l'analisi della composizione, struttura e distribuzione negli habitat dunali e dei residui spiaggiati (“beach litter”).

Il gruppo di lavoro ha partecipato al progetto europeo “European Red List of Habitats” finanziato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (Janssen *et al.* 2016) e alla stesura dei manuali di monitoraggio per gli habitat di interesse comunitario (Angelini *et al.* 2016), in qualità di esperti di habitat dunali costieri. All'interno della Rete LTER, è stata avviata una collaborazione nel sito LTER “Ambienti d'alta quota, Alpi Nord Occidentali” (IT19-000-T) ai fini del monitoraggio a scala di dettaglio tramite la tecnologia UAV (aeromobile a pilotaggio remoto). Il gruppo di lavoro collabora stabilmente con vari ricercatori afferenti a diversi Atenei italiani e internazionali. È attualmente in corso una collaborazione con l'ISPRA per la rendicontazione ex Art. 17 della Direttiva Habitat, la compilazione del IV Report nazionale e la valutazione dello stato di conservazione degli habitat dunali italiani.

Attività di divulgazione e formazione

Il sito organizza regolarmente attività di divulgazione scientifica nelle scuole dei comuni di Ladispoli e Cerveteri: il Dott. Corrado Battisti e i suoi collaboratori coordinano lezioni di Ecologia Applicata ed eventi pubblici come “plastic blitz” e pulizia delle spiagge. Nell'ambito di queste attività, gli studenti delle scuole primarie e secondarie hanno provveduto a realizzare pannelli informativi e strutture a delimitazione delle dune, coordinati dal referente dell'area protetta e con il supporto degli Operatori Specializzati Ambiente. Il sito collabora con i comuni di Ladispoli e Cerveteri e con la Regione Lazio per quanto riguarda le attività di vigilanza, supporto alla gestione, i progetti di ripristino ambientale e gli aspetti normativi dell'area protetta. È stato attivato un campo di sorveglianza per il Fratino (*Charadrius alexandrinus*) e per il Corriere piccolo (*Charadrius dubius*).

Prospettive future

I risultati a medio-termine ottenuti sono molto utili per comprendere i fattori principali che influenzano la struttura e la composizione floristica degli ambienti costieri e per individuare cambiamenti sia a livello di specie che di comunità. Da questo punto di vista, essendo i siti inclusi anche nella Rete Natura 2000, si intende portare avanti un monitoraggio a lungo termine in quanto è di cruciale importanza nello sviluppo di piani di gestione e conservazione, al fine di preservare le dinamiche costiere e la funzionalità di questi habitat fortemente minacciati dalla pressione antropica.

Abstract

The site, located along the Tyrrhenian coast, north of Rome, is a Special Protection Area (SPA) for migratory birds (Code IT6030020, Directive 79/409/CEE Birds). The Torre Flavia wetland is one of the last stretches of the Lazio wetlands that have been progressively reclaimed and cultivated during the last century. The main sand habitats of European interest are those of the annual vegetation of drift lines (Habitat 1210), the embryonic shifting dunes (Habitat 2110), the mobile dunes with *Ammophila arenaria* (Habitat 2120) and the dune grasslands (Habitat 2230). There are also habitats related to wet and mud soils, as Mediterranean salt meadows and reed beds dominated by *Phragmites australis* (Habitat

1310, 1410, 1420). The vegetation is monitored annually since 2007 through 3 transects perpendicular to the shoreline and 30 random plots.

The Birds, monitored annually since 2003, are an important component of the biological diversity of this site. The research includes direct observation, scientific ringing and mapping of nesting breeders (*Anatidae*, *Ardeidae*). Nesting or nesting attempts of the little ringed plover (*Charadrius dubius*) and the Kentish plover (*Charadrius alexandrinus*) on the dunes were detected. The following groups are also studied: *Coleoptera*, *Gasteropoda*, Reptiles and Amphibians.

In 2009 an analysis of the physic-chemical characteristics of the soils was carried out, recording: granulometry, pH and organic matter. Wind-related parameters, including as marine aerosol and wind abrasion, have also been measured. Landscape scale changes have been quantified over the last 50 years, with particular emphasis on the configuration of dune habitats in relation to artificial land cover. The relationship between dune morphology and the distribution of coastal habitats was analyzed using LiDAR technology.

Foce Trigno-Marina di Petacciato

Autori

Angela Stanisci¹, Alicia T.R. Acosta², Irene Prisco², Carmen Maria Rosskopf¹.

Affiliazione

¹ Università del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio

² Università Roma Tre, Dipartimento di Scienze

Sigla: IT20-002-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/1835cda2-b56d-400a-b413-ab5c74086dc5>

Responsabile sito: Angela Stanisci



Descrizione del sito

Il sito include due Zone di Conservazione Speciale (Z.S.C. - Direttiva 92/43/CEE Habitat): Foce Trigno-Marina di Petacciato codice IT7228221 (Molise) e Punta Aderci-Punta Penna (Abruzzo).

La prima Z.S.C. si trova nei comuni di Montenero di Bisaccia e Petacciato (provincia di Campobasso). Ha un'estensione di 746 ettari e un'altitudine media (s.l.m.) di 20 m. La seconda Z.S.C. si

trova nel comune di Vasto (provincia di Chieti). Ha un'estensione di 317 ettari e un'altitudine media di 30 m s.l.m.

Poiché le aree dove viene svolto il monitoraggio ecologico sono relativamente ben conservate e la linea di costa è rispettivamente in leggera progradazione e sostanzialmente stabile, gli habitat tipici delle prime dune sabbiose si rinvengono ben sviluppati. Inoltre, nell'area molisana sono



Fig. 3 - Dune alla foce del fiume Trigno

presenti una macchia mediterranea sulla parte più interna della duna e rimboschimenti a pino sulle dune fisse. I principali habitat di Direttiva presenti sono: Habitat 1210 (Vegetazione annua delle linee di deposito marine), Habitat 2110 (Dune embrionali mobili), Habitat 2120 (Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*), Habitat 2230 (Dune con prati dei *Malcolmietalia*), Habitat 2260 (Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia*) e Habitat prioritario 2270* (Dune con foreste di *Pinus pinea* e/o *Pinus pinaster*).

Diversi studi di tipo floristico-cenologico hanno riguardato, nel corso degli anni passati, la costa abruzzese e molisana (Pirone 1983, 1985, 1988, 1995, 1997; Pirone *et al.* 2001, 2005; Taffetani & Biondi 1989; Stanisci & Conti 1990; Conti & Pirone 1996; Stanisci *et al.* 2007; Stanisci *et al.* 2014). In particolare, le indagini fitosociologiche sono state avviate negli anni '80. Il primo monitoraggio della vegetazione è stato effettuato nel 2001 mediante un transetto a fascia perpendicolare alla linea di costa. I dati di vegetazione sono inseriti in un database Turboveg, programma di archiviazione dati standardizzato a livello europeo che consente l'inserimento di dati floristici, stazionali e climatici (Hennekens & Schaminée 2001).

Dal punto di vista faunistico viene realizzato il censimento dell'avifauna nidificante secondo la metodologia standardizzata dei punti di ascolto, nell'ambito del progetto MITO2000(Pan European Common Bird Monitoring). Vengono annualmente registrati i siti di nidificazione del Fratino (*Charadrius alexandrinus*; specie in Lista Rossa e nella Direttiva Uccelli) lungo il litorale delle due aree ZSC. Vengono inoltre studiate le dinamiche di popolazione delle specie *Testudo hermanni* (Berardo *et al.* 2015) e la dinamica temporale dell'avifauna nidificante (*Anatidae*, *Ardeidae*).

All'interno del sito non è presente una stazione meteorologica; i dati climatici vengono acquisiti dalla stazione termo pluviometrica di Termoli.

Per la costa molisana sono stati quantificati i cambiamenti a scala di paesaggio negli ultimi 50 anni, con particolare enfasi sulla configurazione degli habitat dunali in relazione alla copertura artificiale del

suolo (Malavasi *et al.* 2016). Sono state usate mappe di uso del suolo datate 1954, 1986 e 2006. Inoltre, è stata analizzata la relazione tra la morfologia dunale e la distribuzione degli habitat costieri usando la tecnologia LiDAR (Bazzichetto *et al.* 2016). Recentemente sono state analizzate anche la distribuzione dell'esotica *Acacia saligna*, il suo impatto sulla biodiversità e i principali fattori ambientali e antropici che favoriscono la sua diffusione (Del Vecchio *et al.* 2013; Marzialetti *et al.* 2019). Inoltre è stato svolto un monitoraggio su composizione e consistenza del “beach litter” negli habitat di interesse comunitario psammofili nei siti Z.S.C. del sito LTER (de Francesco *et al.* 2019).

Infine, sono stati valutati in ambiente GIS i cambiamenti della linea di riva e le variazioni di superficie della costa molisana per il complessivo periodo 1954-2014 e vari periodi parziali (Rosskopf *et al.* 2017). A partire dal 2001, mediamente ogni 4 anni, vengono inoltre effettuati dei periodici rilievi con DGPS lungo transetti trasversali alla linea di costa. L'analisi comparativa delle serie temporali di profili di spiaggia così ottenuti è finalizzata ad evidenziare i cambiamenti morfologici di breve e medio termine delle spiagge molisane, in particolare abbassamenti topografici e arretramenti del piede delle dune retrostanti, così da rilevare eventuali perdite di volumi di sabbia utili ai fini del ripascimento naturale e dell'alimentazione dei retrostanti sistemi dunali, ed a fornire dati topografici indispensabili per la valutazione della vulnerabilità all'erosione e all'inondazione del litorale molisano (Aucelli *et al.* 2018).

Enti coinvolti nelle attività di ricerca del sito

Università del Molise

Prof.ssa Angela Stanisci

Prof.ssa Carmen Maria Rosskopf

Dipartimento di Bioscienze e Territorio

Via Duca degli Abruzzi s.n.c., 86039 Termoli (CB)

Università Roma Tre

Prof.ssa Alicia T.R. Acosta

Dipartimento di Scienze

V.le Marconi 446, 00146 Roma

Risultati

Nell'area sono stati condotti diversi studi multi-temporali sui cambiamenti a scala di comunità vegetale (Del Vecchio *et al.* 2015; Prisco *et al.* 2015, 2016) e a scala di paesaggio (Malavasi *et al.* 2016; Carranza *et al.* 2018). Gli habitat di questo tratto di costa sono tra i pochi habitat dunali italiani in buono stato di conservazione: il pattern di vegetazione è rappresentativo delle tipiche dune sabbiose del Mediterraneo, segue il gradiente mare-terra e comprende tutti gli habitat della zonazione dunale, dalle prime fasce di vegetazione pioniera alla vegetazione arborea delle dune fisse. L'area è tuttavia minacciata dall'erosione costiera, dall'introduzione di specie esotiche e dai cambiamenti climatici globali, come evidenziato dall'aumento di specie termofile negli ultimi 20 anni (Del Vecchio *et al.* 2015). Recentemente sono stati analizzati i processi di invasione da parte della specie esotica invasiva *Acacia saligna* (Del Vecchio *et al.* 2013; Calabrese *et al.* 2017; Marzialetti *et al.* 2019). Questi studi hanno evidenziato una ruderalizzazione della composizione floristica dei siti dove l'acacia ha una alta copertura e una maggiore vulnerabilità delle aree prossime a foci fluviali e vie di accesso alla spiaggia a subire processi invasivi da parte di questa specie.

Inoltre sono stati analizzati la distribuzione, la composizione e la provenienza dei rifiuti presenti negli habitat dunali, i risultati hanno messo in evidenza una netta prevalenza di materiali plastici e polistirolo provenienti dalle filiere della pesca e del turismo; inoltre è stato riscontrato un accumulo di contenitori di polistirolo nelle aree più interne della zonazione dunale, negli ambienti di macchia mediterranea lungo le coste (de Francesco *et al.* 2018, 2019).

Per quanto riguarda la dinamica costiera, gli studi condotti hanno evidenziato che la costa molisana ha subito nel periodo 1954-2014 una notevole perdita di spiaggia, pari a circa 940.000 m² (Rosskopf *et al.* 2017). L'erosione costiera si è concentrata nei due tratti costieri che sottendono le foci dei fiumi

Trigno e Biferno totalizzando un deficit di oltre 1.500.000 m², parzialmente bilanciato dall'avanzamento di altri segmenti di costa. Hanno messo inoltre in evidenza una progressiva frammentazione e erosione frontale dei sistemi dunali presenti. L'evoluzione più recente della costa molisana mostra un crescente coinvolgimento dei segmenti costieri posti a sud dei tratti di foce, quindi anche dei siti molisani sotto monitoraggio, nei processi di erosione e un conseguente incremento della loro vulnerabilità all'erosione e all'inondazione costiera,

I principali progetti avviati nel sito riguardano l'analisi multi-temporale dei cambiamenti a scala di paesaggio e della morfologia dunale, tramite l'utilizzo di cartografia di uso del suolo e della tecnologia LiDAR. Diversi progetti, tesi di dottorato e collaborazioni hanno riguardato:

- l'analisi dell'impatto della specie esotica *Acacia saligna* sull'ecologia degli habitat dunali;
- l'analisi degli effetti sulla vegetazione dunale dell'uso di passerelle in legno per l'accesso alla spiaggia;
- studi sulla germinazione e l'atteggiamento di specie dunali in azioni di ripristino ambientale;
- lo studio delle comunità di coleotteri tenebrionidi e di come sono organizzate in relazione alle diverse comunità vegetali delle dune sabbiose;
- un'analisi della distribuzione, composizione e provenienza del "beach litter";
- l'analisi multi temporale della linea di costa e dei processi erosivi.

Il gruppo di lavoro ha partecipato al progetto europeo "European Red List of Habitats" finanziato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (Janssen *et al.* 2016) e alla stesura dei manuali di monitoraggio per gli habitat di interesse comunitario (Angelini *et al.* 2016), in qualità di esperti di habitat dunali costieri. All'interno della Rete LTER, è stata avviata una collaborazione nel sito LTER "Ambienti d'alta quota, Alpi Nord Occidentali" (IT19-000-T) ai fini del monitoraggio a scala di dettaglio tramite la tecnologia drone. Il sito collabora con la rete delle aree protette costiere dell'Adriatico (ADRIAPAN), inoltre, ha ricevuto due finanziamenti europei nell'ambito dei progetti LIFE+ (LIFE 10/NAT/IT/262 MAESTRALE e LIFE17 NAT/IT/000565 LIFE CALLIOPE).

Recentemente i ricercatori sono stati coinvolti, come consulenti della Regione Molise, in due progetti INTERREG EUROPE (HERICOAST e LANDSEA), orientati ad ottimizzare la gestione del patrimonio naturalistico e la promozione di un turismo sostenibile della costa molisana.

Il gruppo di lavoro collabora stabilmente con vari ricercatori afferenti a diversi Atenei italiani e internazionali. È attualmente in corso una collaborazione con l'ISPRA per la rendicontazione ex Art. 17 della Direttiva Habitat, la compilazione del IV Report nazionale e la valutazione dello stato di conservazione degli habitat dunali italiani.

Attività di divulgazione e formazione

Il sito ha un programma di educazione ambientale rivolto a classi delle scuole elementari, medie e superiori della provincia di Campobasso a cura dell'associazione Ambiente Basso Molise; organizza regolarmente eventi pubblici come "plastic blitz", pulizia delle spiagge, passeggiate ecologiche, visite guidate con esperti di flora e fauna, "bat night", aperitivi culturali ed eventi ludico-ambientali, molti dei quali svolti presso il Centro di Educazione Ambientale (CEA) di Petacciato (CB). Il sito ha partecipato al Cammino LTER "Mesothalassia: dalle Dune del Molise al golfo di Napoli (ciclo viaggio)", all'iniziativa "Naturalmente sulla costa molisana", alle edizioni 2015 e 2016 di "Iniziative Oceaniche" e all'allestimento ed esposizione di una mostra itinerante sugli habitat e le specie di interesse comunitario presenti nei siti LTER.

Il sito collabora con i comuni di Termoli, Petacciato, Guglionesi, Vasto, San Salvo, la Regione Molise, la Regione Abruzzo, l'ENEA, l'associazione Ambiente Basso Molise, il WWF Molise, la Riserva Regionale di Punta Aderci (Vasto, CH), il Centro Studi Naturalistici (FG), il Vivaio Forestale Regionale Le Marinelle, l'ARSAP Molise, la rete CAMP-Italy, l'area protetta Torre del Cerrano, il CIRSPE, l'Università Frederick di Cipro.

Prospettive future

I risultati ottenuti sono molto utili per comprendere i fattori principali che influenzano la struttura e la composizione floristica degli ambienti costieri e per individuare cambiamenti temporali sia a livello di specie che di comunità. Da questo punto di vista, essendo i siti inclusi anche nella Rete Natura 2000, portare avanti un monitoraggio a lungo termine è di cruciale importanza nello sviluppo di piani di gestione e conservazione, al fine di preservare le dinamiche costiere e la funzionalità di questi habitat fortemente minacciati dalla pressione antropica. L'opportunità di svolgere in questo territorio progetti LIFE+, cofinanziati dalla CE, contribuisce a garantire la prosecuzione delle attività di monitoraggio ecologico in corso.

Abstract

The site, located in the province of Campobasso (Molise region), is a Site of Community Importance (SIC Code IT7228221, Directive 92/43/EEC Habitat). The main sand habitats of European interest are those of the annual vegetation of drift lines (Habitat 1210), the embryonic shifting dunes (Habitat 2110), the mobile dunes with *Ammophila arenaria* (Habitat 2120), the dune grasslands (Habitat 2230), the Mediterranean maquis (Habitat 2260) and the priority habitat of dunes with pine forest (Habitat 2270*). The vegetation is monitored annually since 2008 through 3 transects perpendicular to the shoreline. The monitoring also includes a transect in Punta Aderci (province of Vasto, Abruzzo).

The census of the nesting avifauna is carried out according to the standardized methodology of the listening points, as part of the MITO2000 project. Yearly, the breeding sites of the little ringed plover (*Charadrius alexandrinus*) were recorded along the coast; the population dynamics of *Testudo hermanni* and the temporal dynamics of the nesting avifauna (*Anatidae*, *Ardeidae*) are also studied.

Landscape scale changes have been quantified over the last 50 years, with emphasis on the configuration of dune habitats in relation to artificial land cover. Moreover, complex relationship between dune morphology and habitat distribution was also analyzed using LiDAR technology as well as the distribution and composition of beach litter in different EC habitats.

Moreover, the shoreline changes and related surface area variations of the Molise coast for period 1954-2014 and several sub-periods, along with recent shoreline dynamics and morpho-topographic changes of the beaches have been assessed.

Foce Saccione – Bonifica Ramitelli

Autori

Angela Stanisci ¹, Alicia T.R. Acosta ², Irene Prisco ², Carmen Maria Rosskopf ¹

Affiliazione

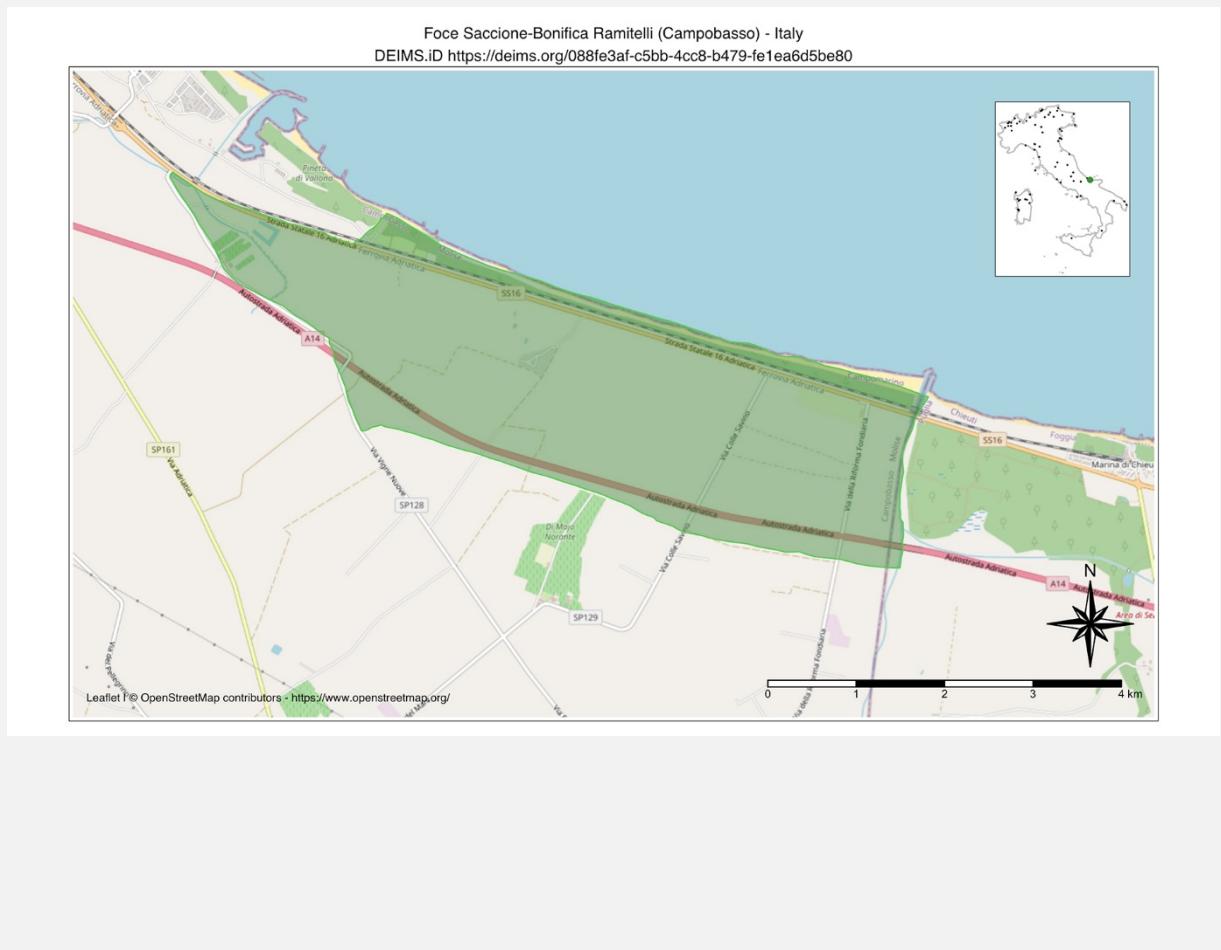
¹ Università del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio

² Università Roma Tre, Dipartimento di Scienze

Sigla: IT20-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/088fe3af-c5bb-4cc8-b479-fe1ea6d5be80>

Responsabile sito: Angela Stanisci



Descrizione del sito

Il sito si trova nel comune di Campomarino (provincia di Campobasso). Ha un'estensione di 870 ettari e un'altitudine media di 20 m s.l.m. È un Site di Importanza Comunitaria (SIC) (codice IT7222217; Direttiva 92/43/CEE Habitat).



Fig. 4 - Dune sabbiose a Campomarino

I principali Habitat di Direttiva presenti sono: Habitat 1210 (Vegetazione annua delle linee di deposito marine), Habitat 2110 (Dune embrionali mobili), Habitat 2120 (Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria*), Habitat 2230 (Dune con prati dei *Malcolmietalia*), Habitat prioritario 2250* (Dune costiere con *Juniperus*spp.) e Habitat 2260 (Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia*). Nel sito gli habitat tipici delle prime dune sabbiose si rinvengono degradati e frammentati poiché la linea di costa è in erosione.

È da evidenziare, però, che in questo sito si riscontra l'habitat prioritario a ginepro costiero (2250*) insieme a lembi di macchia mediterranea (Habitat 2260). Questi habitat, tipici delle dune più consolidate, sono attualmente molto rari nel litorale Adriatico: questa stazione di ricerca è una delle ultime relativamente ben conservata.

Diversi studi di tipo floristico-cenologico hanno riguardato, nel corso degli anni passati, la costa abruzzese e molisana (Pirone 1983, 1985, 1988, 1995, 1997; Pirone *et al.* 2001, 2005; Taffetani & Biondi 1989; Stanisci & Conti 1990; Conti & Pirone 1996; Stanisci *et al.* 2007; Stanisci *et al.* 2014). In particolare, le indagini fitosociologiche sono state avviate negli anni '80. Il primo monitoraggio della vegetazione è stato effettuato nel 2001 mediante un transetto a fascia perpendicolare alla linea di costa. A partire dal 2008 i campionamenti si svolgono con cadenza annuale nello stesso periodo (primavera). I dati di vegetazione sono inseriti in un database Turboveg, programma di archiviazione dati standardizzato a livello europeo che consente l'inserimento di dati floristici, stazionali e climatici (Hennekens & Schaminée 2001). Inoltre, nell'ambito del progetto LIFE MAESTRALE (NAT/IT/000262), sono stati analizzati i cambiamenti dell'habitat a ginepro costiero (2250*) a partire dal 2002, con particolare attenzione agli effetti di un incendio che ha interessato la zona nel 2007.

Dal punto di vista faunistico viene realizzato il censimento dell'avifauna nidificante secondo la metodologia standardizzata dei punti di ascolto, nell'ambito del progetto MITO2000 (Pan European Common Bird Monitoring). Annualmente vengono registrati i siti di nidificazione del Fratino (*Charadrius alexandrinus*; specie in Lista Rossa e nella Direttiva Uccelli) lungo il litorale alla foce del fiume Saccione. Sono state inoltre studiate le dinamiche di popolazione delle specie *Testudo hermanni* (Berardo *et al.* 2015), la dinamica temporale dell'avifauna nidificante (*Anatidae*, *Ardeidae*) e sono stati censiti i Coleotteri Tenebrionidi presenti nel sito (Fattorini *et al.* 2016).

All'interno del sito non è presente una stazione meteorologica; i dati climatici vengono acquisiti dalla stazione termo pluviometrica di Termoli. Inoltre, lungo la costa molisana viene svolto un monitoraggio della dinamica evolutiva della linea di riva dagli anni '50 ad oggi (Aucelli *et al.* 2009; Iannantuono *et al.* 2003; Rosskopf *et al.* 2017).

Sono stati quantificati i cambiamenti a scala di paesaggio negli ultimi 50 anni, con particolare enfasi sulla configurazione degli habitat dunali in relazione alla copertura artificiale del suolo (Malavasi *et al.* 2016). Inoltre, è stata analizzata la relazione tra la morfologia dunale e la distribuzione degli habitat

costieri usando la tecnologia LiDAR (Bazzichetto *et al.* 2016). Inoltre, sulla base della distribuzione e copertura delle diverse tipologie CORINE Land Cover e degli habitat d'interesse comunitario sono stati valutati i servizi ecosistemici relativi allo stoccaggio del carbonio, alla protezione dall'erosione costiera, al valore ricreativo degli habitat costieri (Drius *et al.* 2017; Carranza *et al.* 2018; Drius *et al.* 2019).

Enti coinvolti nelle attività di ricerca del sito

Università del Molise

Prof.ssa Angela Stanisci

Prof.ssa Maria Carmen Rosskopf

Dipartimento di Bioscienze e Territorio

Via Duca degli Abruzzi s.n.c., 86039 Termoli (CB)

Università Roma Tre

Prof.ssa Alicia T.R. Acosta

Dipartimento di Scienze

V.le Marconi 446, 00146 Roma

Risultati

Nell'area sono stati condotti diversi studi multi-temporali sui cambiamenti della vegetazione (Del Vecchio *et al.* 2015; Prisco *et al.* 2015, 2016). Gli habitat di questo tratto di costa sono tra i pochi habitat dunali italiani in buono stato di conservazione: il pattern di vegetazione è rappresentativo delle tipiche dune sabbiose del Mediterraneo, segue il gradiente mare-terra e comprende tutti gli habitat della zonazione dunale, dalle prime fasce di vegetazione pioniera alla vegetazione arborea delle dune fisse. L'area è tuttavia minacciata in alcuni tratti dall'erosione costiera (Rosskopf *et al.* 2017) e connesso all'arretramento del piede delle dune, dall'introduzione di specie esotiche e dai cambiamenti climatici globali, come evidenziato dall'aumento di specie termofile negli ultimi 20 anni (Del Vecchio *et al.* 2015).

L'analisi della popolazione locale della specie di interesse conservazionistico *Testudo hermanni* ha evidenziato una variazione della preferenza dell'habitat da parte della specie in relazione alle sue specifiche esigenze: alimentazione, termoregolazione e riproduzione. La testuggine di Hermann ha una marcata preferenza per la macchia mediterranea (Habitat 2260), ma stagionalmente utilizza i ginepri (Habitat prioritario 2250*), le pinete (Habitat prioritario 2270*) e i pratelli interdunali (Habitat 2230), sottolineando l'importanza di preservare l'integrità del sistema dunale (Berardo *et al.* 2015).

L'area è inoltre un hot spot adriatico per fornitura di diversi servizi ecosistemici legati alla mitigazione dell'erosione costiera e allo stoccaggio del carbonio, e ha un grande valore come habitat per una biodiversità vulnerabile e esclusiva, e per i benefici alla collettività per quanto riguarda gli aspetti ricreativo-culturali (Drius *et al.* 2017; Carranza *et al.* 2018; Drius *et al.* 2019).

I principali progetti avviati nel sito riguardano l'analisi multi-temporale dei cambiamenti a scala di paesaggio e della morfologia dunale, tramite l'utilizzo di cartografia di uso del suolo e della tecnologia LiDAR. Diversi progetti, tesi di dottorato e collaborazioni hanno riguardato:

- l'analisi dell'impatto della specie esotica *Acacia saligna* sull'ecologia degli habitat dunali;
- l'analisi degli effetti sulla vegetazione dunale dell'uso di passerelle in legno per l'accesso alla spiaggia;
- studi sulla germinazione e l'atteggiamento di specie dunali in azioni di ripristino ambientale;
- lo studio delle comunità di coleotteri tenebrionidi e di come sono organizzate in relazione alle diverse comunità vegetali delle dune sabbiose;
- un'analisi della composizione, struttura e dinamica del beach litter
- l'analisi della dinamica e dell'evoluzione temporale della linea di costa.

Il gruppo di lavoro ha partecipato al progetto europeo "European Red List of Habitats" finanziato dall'Agenzia Europea per l'Ambiente (Janssen *et al.* 2016) e alla stesura dei manuali di monitoraggio per gli habitat di interesse comunitario (Angelini *et al.* 2016), in qualità di esperti di habitat dunali costieri.

All'interno della Rete LTER, è stata avviata una collaborazione nel sito LTER “Ambienti d'alta quota, Alpi Nord Occidentali” (IT19-000-T) ai fini del monitoraggio a scala di dettaglio tramite la tecnologia drone. Il sito collabora con la rete ADRIAPAN, inoltre, ha ricevuto un finanziamento europeo nell'ambito dei progetti LIFE+ (LIFE 10/NAT/IT/262 MAESTRALE).

Il gruppo di lavoro collabora stabilmente con vari ricercatori afferenti a diversi Atenei italiani e internazionali. È attualmente in corso una collaborazione con l'ISPRA per la rendicontazione ex Art. 17 della Direttiva Habitat, la compilazione del IV Report nazionale e la valutazione dello stato di conservazione degli habitat dunali italiani.

Attività di divulgazione e formazione

Il sito ha un programma di educazione ambientale rivolto a 45 classi delle scuole elementari, medie e superiori della provincia di Campobasso a cura dell'associazione Ambiente Basso Molise; organizza regolarmente eventi pubblici come “plastic blitz”, pulizia delle spiagge, passeggiate ecologiche, visite guidate con esperti di flora e fauna, “bat night”, aperitivi culturali ed eventi ludico-ambientali, molti dei quali svolti presso il Centro di Educazione Ambientale (CEA) di Petacciato (CB). Il sito ha partecipato al Cammino LTER “Mesothalassia: dalle Dune del Molise al golfo di Napoli (ciclo viaggio)”, all'iniziativa “Naturalmente sulla costa molisana”, alle edizioni 2015 e 2016 di “Iniziative Oceaniche” e all'allestimento ed esposizione di una mostra itinerante sugli habitat e le specie di interesse comunitario presenti nei siti LTER.

Il sito collabora con i comuni di Termoli, Campomarino, la Regione Molise, l'ENEA, l'associazione Ambiente Basso Molise, l'associazione DEMETRA onlus, il WWF Molise, il Centro Studi Naturalistici (FG), il Vivaio Forestale Regionale Le Marinelle, l'ARSAP Molise, la rete CAMP-Italy, l'area protetta Torre del Cerrano.

Inoltre, un volume a fumetti è stato realizzato dal dr. Franco Sacchetti per spiegare l'ecologia delle dune e il ciclo di vita del fratino (*Charadrius alexandrinus*) (Sacchetti 2018).

Prospettive future

Il monitoraggio ecologico a lungo termine è di cruciale importanza nello sviluppo di piani di gestione e conservazione, al fine di preservare le dinamiche costiere e la funzionalità di questi habitat fortemente minacciati dalla pressione antropica. Si intende proseguire con tutte le attività in corso contando sulle risorse umane del personale degli Atenei coinvolti e sul supporto finanziario di progetti con finanziamenti europei diretti e indiretti.

Abstract

The site, located in the province of Campobasso (Molise region), is a Site of Community Importance (SIC Code IT7222217, Directive 92/43/EEC Habitat). The main sand habitats of European interest are those of the annual vegetation of drift lines (Habitat 1210), the embryonic shifting dunes (Habitat 2110), the mobile dunes with *Ammophilaarenaria* (Habitat 2120), the dune grasslands (Habitat 2230), the priority habitat of dunes with junipers (Habitat 2250*) and the Mediterranean maquis (Habitat 2260). The vegetation is monitored annually since 2008 through 3 transects perpendicular to the shoreline. The monitoring also includes a transect in Punta Aderci (province of Vasto, Abruzzo).

The shoreline changes of the Molise coast during the overall period 1954-2014 and several sub-periods, the associated coastal surface area and dune cover changes have been assessed in GIS environment (Rosskopf *et al.* 2017).

The census of the nesting avifauna is carried out according to the standardized methodology of the listening points, as part of the MITO2000 project. Yearly, the breeding sites of the little ringed plover (*Charadrius alexandrinus*) were recorded along the coast at the mouth of the river Trigno. Moreover, the

population dynamics of *Testudo hermanni* and the temporal dynamics of the nesting avifauna (*Anatidae*, *Ardeidae*) have been studied, coupled with the inventory of darkling beetles (*Coleoptera: Tenebrionidae*).

Landscape scale changes have been quantified over the last 50 years, with particular emphasis on the configuration of dune habitats in relation to artificial land cover. The relationship between dune morphology and the distribution of coastal habitats was analyzed using LiDAR technology. Moreover, ecosystem services provided by coastal dunes were evaluated.

Sitografia

<http://www.parks.it/mn.torre.flavia/index.php>
<http://www.envix-lab.unimol.it/STAT/laboratori-1/environmetrica>
<https://mito2000.it/il-progetto-mito2000/ebcc-pecbms/>
<http://lifemaestrale.eu/>

Bibliografia citata

Lavori ISI

- Acosta A.T.R., Carranza M.L., Izzi C.F. (2009). Are there habitats that contribute best to plant species diversity in coastal dunes? *Biodiversity and Conservation* 18: 1087-1098.
- Aucelli P.P.C., Di Paola G., Rizzo A., Rosskopf C.M. (2018). Present day and future scenarios of coastal erosion and flooding processes along the Italian Adriatic coast: the case of Molise region. *Environ Earth Sci* 77: 371. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7535-y>.
- Battisti C. (2014). Bird assemblages on a Mediterranean sandy beach: a yearly study. *Rivista Italiana di Ornithologia - Research in Ornithology* 84 (1): 5-10.
- Battisti C., Bazzichetto M., Poeta G., Pietrelli L., Acosta A.T.R. (2017). Measuring non-biological diversity using commonly used metrics: Strengths, weaknesses and caveats for their application in beach litter management. *Journal of Coastal Conservation* 21 (2): 303-310.
- Battisti C., Boano A., Cento M., Circosta A., Muratore S. (2015). Waders (Aves, Charadriiformes) in a Mediterranean remnant wetland: a year-round pilot study evidences contrasting patterns in diversity metrics. *Rivista Italiana di Ornithologia - Research in Ornithology*, 85 (1): 61-66.
- Battisti C., Boano A., Monaco E., Muratore S., Mazzarani D., De Zuliani E., Demartis P., Piroli R., Scrocca R. (2016). Ciclo annuale delle comunità ornitiche in due zone umide costiere del Lazio (Palude di Torre Flavia e Macchiatonda, Italia centrale). *Alula* 23 (1-2): 3-13.
- Battisti C., Poeta G., Pietrelli L., Acosta A.T.R. (2016). An unexpected consequence of plastic litter clean-up on beaches: too much sand might be removed. *Environmental Practice* 18(4): 242-246.
- Bazzichetto M., Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2016). How does dune morphology shape coastal EC habitats occurrence? A remote sensing approach using airborne LiDAR on the Mediterranean coast. *Ecological Indicators* 71: 618-626.
- Berardo F., Carranza M.L., Frate L., Stanisci A., Loy A. (2015). Seasonal habitat preference by the flagship species *Testudo hermanni*: implications for the conservation of coastal dunes. *Comptes Rendus Biologies* 33 (5): 343-350.
- Carboni M., Carranza M.L., Acosta A.T.R. (2009). Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach. *Landscape and Urban Planning* 91: 17-25.
- Carboni M., Santoro R., Acosta A.T.R. (2010). Are some communities of the coastal dune zonation more susceptible to alien plant invasion? *Journal of Plant Ecology* 3 (2): 139-134.

-
- Carboni M., Santoro R., Acosta A.T.R. (2011). Dealing with scarce data to understand how environmental gradients and propagule pressure shape fine-scale alien distribution patterns on coastal dunes. *Journal of Vegetation Science* 22: 751-761.
- Carboni M., Thuiller W., Izzi C.F., Acosta A.T.R. (2010). Disentangling the relative effect of environmental versus human factors on native-alien patterns of plant diversity on Mediterranean sandy shores. *Diversity and Distributions* 16: 537-546.
- Carranza M.L., Carboni M., Feola S., Acosta A.T.R. (2010). Landscape-scale patterns of alien plant species on coastal dunes. The case of iceplant in central Italy. *Applied Vegetation Science* 13: 135-145.
- Carranza M.L., Drius M., Malavasi M., Frate L., Stanisci A. (2018). Assessing land take and its effects on dune carbon pools. An insight into the Mediterranean coastline. *Ecological Indicators* 85: 951-955.
- Conti F., Pirone G. (1996). Specie vegetali minacciate di estinzione lungo il litorale Abruzzese. *Plant Biosystems* 130 (1): 437.
- Conti L., de Bello F., Leps J., Acosta A.T.R. (2017). Environmental gradients and micro-heterogeneity shape fine-scale plant community assembly on coastal dunes. *Journal of Vegetation Science* 28: 762-773.
- de Francesco M.C., Carranza M.L., Stanisci A. (2019). Beach litter in Mediterranean coastal dunes: an insight on the Adriatic coast (central Italy). *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*.
- Del Vecchio S., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2013). The impact of *Acacia saligna* invasion on Italian coastal dune EC habitats. *Comptes Rendus Biologies* 336: 364-369.
- Del Vecchio S., Jucker T., Carboni M., Acosta A.T.R. (2017). Linking plant communities on land and at sea: The effects of Posidonia oceanica wrack on the structure of dune vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 184: 30-36.
- Del Vecchio S., Prisco I., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2015). Changes in plant species composition of coastal dune habitats over a 20-year period. *AoB PLANTS* 7: plv018.
- Drius M., Jones L., Marzialetti F., de Francesco M.C., Stanisci A., Carranza M.L. (2019). Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. *Science of the Total Environment* 668: 1139-11.
- Drius M., Malavasi M., Acosta A.T.R., Ricotta C., Carranza M.L. (2013). Boundary-based analysis for the assessment of coastal dune landscape integrity over time. *Applied Geography* 45: 41-48.
- Drius M., Carranza M.L., Stanisci A., Jones L. (2016). The role of Italian coastal dunes as carbon sinks and diversity sources. A multi-service perspective. *Applied Geography* 75:127-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.08.007>.
- Fanelli G., Battisti C., Malavasi R. (2014). Comparing alpha-diversity between plants and birds in a remnant wetland: evidence for a threshold and implication for management. *Wetlands Ecology and Management* 22 (5): 565-569.
- Fattorini S., Romiti F., Carpaneto G.M., Poeta G., Bergamaschi D. (2016). I Coleotteri Tenebrionidi del Sito d'Importanza Comunitaria "Foce Saccione - Bonifica Ramitelli" (Molise) (ColeopteraTenebrionidae). *Boll. Soc. Entomol. Ital.* 148 (2): 57-62. ISSN: 0373-3491.
- Fattorini S., Santoro R., Maurizi E., Acosta A.T.R., Di Giulio A. (2012). Environmental tuning of an insect ensemble: the tenebrionid beetles inhabiting a Mediterranean coastal dune zonation. *Comptesrendusbiologies* 335 (10): 708-711.
- Feola S., Carranza M.L., Schaminée J.H.J., Janssen J.A.M., Acosta A.T.R. (2011). EU habitats of interest: an insight into Atlantic and Mediterranean beach and foredunes. *Biodiversity and Conservation* 20: 1457-1468. DOI: 10.1007/s10531-011-0037-9.
- Hennekens S.M., Schaminée J.H.J. (2001). TURBOVEG, a comprehensive database management system for vegetation data. *Journal of Vegetation Science* 12: 589-591.

-
- Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L., Bartolozzi L., Bassett A., Bassignana M., Campanaro A., Canullo R., Carruggio F., Cavallaro V., Cianferoni F., Cindolo C., Cocciuffa C., Corriero G., D'Amico F.S., Forte F., Freppaz M., Mantino F., Matteucci G., Pierri C., Stanisci A., Colangelo P. (2018). Plant invasions in Italy: An integrative approach using the European Life Watch infrastructure database. *Ecological Indicators* 91: 182-188.
- Malavasi M., Carboni M., Cutini M., Carranza M.L., Acosta M.L. (2014). Landscape fragmentation, land-use legacy and propagule pressure promote plant invasion on coastal dunes: a patch-based approach. *Landscape ecology* 29(9): 1541-1550.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2016). The impact of human pressure on landscape patterns and plant species richness in Mediterranean coastal dunes. *Plant Biosystems* 150(1): 73-82.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2013). What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. *Landscape and Urban Planning* 119: 54-63.
- Malavasi M., Conti L., Carboni M., Cutini M., Acosta A.T.R. (2016). Multifaceted analysis of patch-level plant diversity in response to landscape spatial pattern and history on Mediterranean dunes. *Ecosystems* 19(5): 850-864.
- Marzialetti F., Bazzichetto M., Giulio S., Acosta A.T.R., Stanisci A., Malavasi M., Carranza M.L. (2019). Modelling *Acacia saligna* invasion on the Adriatic coastal landscape: An integrative approach using LTER data. In: Mazzocchi M.G., Capotondi L., Freppaz M., Lugliè A., Campanaro A. (Eds) Italian Long-Term Ecological Research for understanding ecosystem diversity and functioning. Case studies from aquatic, terrestrial and transitional domains. *Nature Conservation* 34: 127-144. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.29575>.
- Pietrelli L., Poeta G., Battisti C., Sighicelli M. (2017). Characterization of plastic beach debris finalized to its removal: a proposal for a recycling scheme. *Environmental Science and Pollution Research* 24(19): 16536-16542.
- Pirone G. (1995). La vegetazione alofila della costa abruzzese (Adriatico centrale). *Fitosociologia* 30: 233-256.
- Pirone G., Ciaschetti G., Frattaroli A.R. (2005). La vegetazione della Riserva Naturale Regionale "Abetina di Rosello" (Abruzzo, Italia). *Fitosociologia* 42 (1): 121-137.
- Poeta G., Battisti C., Acosta A.T.R. (2014). Marine litter in Mediterranean sandy littorals: Spatial distribution patterns along central Italy coastal dunes. *Marine Pollution Bulletin* 89: 168-173.
- Poeta G., Battisti C., Bazzichetto M., Acosta A.T.R. (2016). The cotton buds beach: Marine litter assessment along the Tyrrhenian coast of central Italy following the marine strategy framework directive criteria. *Marine pollutionbulletin* 113(1): 266-270.
- Poeta G., Conti L., Malavasi M., Battisti C., Acosta A.T.R. (2016). Beach litter occurrence in sandy littorals: The potential role of urban areas, rivers and beach users in central Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 181: 231-237.
- Poeta G., Fanelli G., Pietrelli L., Acosta A.T.R., Battisti C. (2017). Plasticsphere in action: evidence for an interaction between expanded polystyrene and dunal plants. *Environmental Science and Pollution Research* 24(12): 11856-11859.
- Prisco I., Carboni M., Acosta A.T.R. (2013). The fate of threatened coastal dune habitats in Italy under climate change scenarios. *PLoS ONE* 8 (7): e68850.
- Prisco I., Carboni M., Jucker T., Acosta A.T.R. (2016). Temporal changes in the vegetation of Italian coastal dunes: identifying winners and losers through the lens of functional traits. *Journal of AppliedEcology* 53 (5): 1533-1542.
- Prisco I., Stanisci A., Acosta A.T.R. (2015). Temporal changes in Adriatic coastal dunes: results from a short-term vegetation monitoring. *PlantSociology* 52 (2): 95-100.

-
- Prisco I., Stanisci A., Acosta A.T.R. (2016). Mediterranean dunes on the go: Evidence from a short-term study on coastal herbaceous vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 182: 40-46.
- Roskopp C.M., Di Paola G., Atkinson D.F., Rodríguez G., Walker I.J. (2017). Recent shoreline evolution and beach erosion along the central Adriatic coast of Italy: the case of Molise region. *Journal of Coastal Conservation* 22(5): 879-895.
- Santoro R., Jucker T., Prisco I., Carboni M., Battisti C., Acosta A.T.R. (2012). Effects of trampling limitation on coastal dune plant communities. *Environmental Management* 49: 534-542.
- Stanisci A., Acosta A., Di Iorio A., Vergalito M. (2010). Leaf and root trait variability of alien and native species along Adriatic coastal dunes (Italy). *Plant Biosystems* 144: 47-52.
- Stanisci A., Acosta A.T.R., Carranza M.L., de Chiro M., Del Vecchio S., Di Martino L., Frattaroli A.R., Fusco S., Izzi C.F., Pirone G., Prisco I. (2014). EU habitats monitoring along the coastal dunes of the LTER sites of Abruzzo and Molise (Italy). *Plant Sociology* 51 (Suppl. 1): 51-56. DOI: 10.7338/pls2014512S1/07.
- Stanisci A., Acosta A.T.R., Carranza M.L., Feola S., Giuliano M. (2007). Gli habitat di interesse comunitario sul litorale molisano e il loro valore naturalistico su base floristica. *Fitosociologia* 44 (2): 171-175.

Lavori non ISI

- Aucelli P.P.C., Iannantuono E., Roskopp C. (2009). Evoluzione recente e rischio di erosione della costa molisana (Italia meridionale). *Bollettino Della Società Geologica Italiana* 128: 759-771. ISSN: 0037-8763.
- Aucelli P.P.C., Di Paola G., Rizzo A., Roskopp C.M. (2017). Rischio all'erosione costiera del settore meridionale della costa molisana. *Studi costieri* 26: 107-122.
- Battisti C., Boano A., Monaco E., Muratore S., Mazzarani D., De Zuliani E., Demartis P., Piroli R., Scrocca R. (2016). Ciclo annuale delle comunità ornitiche in due zone umide costiere del Lazio (Palude di Torre Flavia e Macchiatonda, Italia centrale). *Alula* 23 (1-2): 3-13.
- Buccomino G., Leporatti M.L. (2009). Contributo alla conoscenza della flora vascolare del Monumento naturale Palude di Torre Flavia (Lazio). *Informatore Botanico Italiano* 41 (2) 325-341.
- Calabrese V., Frate L., Iannotta F., Prisco I., Stanisci A. (2017). *Acacia saligna: specie invasiva delle coste molisane.* Forest@ 14: 28-33 online 2017-01-31 URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2211-013>.
- de Francesco M.C., Carranza M.L., Stanisci A. (2019). Beach litter in Mediterranean coastal dunes: an insight on the Adriatic coast (central Italy). *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0740-5>.
- Giuliano M.C., Stanisci A. (2010). Biodiversity conservation in coastal areas in Molise (Italy). *Bollettino dei Musei e degli Istituti biologici dell'Università di Genova* 72, 144-147.
- Iannantuono E., Roskopp C.M., Stanisci A., Acosta A., Aucelli P.P.C. (2004). Effetti della dinamica costiera sull'evoluzione dei sistemi dunali presenti lungo la costa molisana (Italia meridionale). In: Accademia Nazionale dei Lincei 205: 321-331. ISBN: 88-218-0924-2.
- Pirone G. (1983). La vegetazione del litorale pescarese (Abruzzo). *Not. Fitosoc.* 18: 37-62.
- Muratore S., Corradi A., Boano A., Capizzi D., Battisti C. (2015). Seasonal patterns in abundance of common aerial forager birds in two Tyrrhenian wetlands: a comparison among species and sites. *Vie et milieu - Life and Environment* 65 (3): 181-186.
- Pirone G. (1988). La vegetazione alofila residua alle foci del fiume Saline e del torrente Piomba (Abruzzo, Italia). *Doc. Phytosoc.*, n.s., 11: 447-458.
- Pirone G., Corbetta F., Frattaroli A.R. (2001). Aspetti della vegetazione costiera dell'Abruzzo. *Biogeographia* 22 (1): 169-191.

-
- Prisco I., Acosta A.T.R., Ercole S. (2012). An overview of the Italian coastal dune EU habitats. *Annali di Botanica* 2: 39-48.
- Sorace A., Battisti C., Cecere J., Savo E., Gustin M., Laurenti S., Duiz A., Fanfani A. (2003). Variazioni annuali del passaggio di migratori nel Monumento naturale “Palude di Torre Flavia” (Ladispoli, Roma). *Avocetta* 27: 50.
- Sorace A., Savo E., De Santis E., Duiz A., Iavicoli D., Riello S., Battisti C. (2015). Autumn captures from Torre Flavia ringing station (Latium, central Italy) in 2001-2014. *Avocetta* 39: 73-81.
- Stanisci A., Conti F. (1990). Aspetti vegetazionali di un settore costiero molisano-abruzzese. *Annali di Botanica* 48 (suppl. 7): 85-94.
- Taffetani F., Biondi E. (1989). La vegetazione del litorale molisano e pugliese tra le foci dei Fiumi Biferno e Fortore (Adriatico centro-meridionale). *Coll. Phytosoc.* 18: 323-350.

Libri e capitoli di libri

- Acosta A.T.R. (2010). La conservazione della biodiversità in ecosistemi dunali costieri. In: La conservazione ex situ della biodiversità delle specie vegetali spontanee e coltivate in Italia. In: Artese C. Tra Terra e Mare. Le piante della duna e della falesia nella Riserva Naturale di Punta Aderci. p. 24-26, PENNE: COGESTRE Edizioni.
- Acosta A.T.R., Izzi C.F. (2007). Le specie esotiche negli ecosistemi costieri del Lazio. Lanuvio: Aracne Editrice, p. 1-112, ISBN: 978-88-548-1311-3.
- Acosta A.T.R., Jucker T., Prisco I., Santoro R. (2013). Passive recovery of Mediterranean coastal dunes following limitations to human trampling. In: Martinez M.I., Hesp P., Gallego-Fernandez J.B. (Eds.) Restoration of coastal dunes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Cap. 12.
- Battisti C. (2006). Biodiversità, gestione, conservazione di un’area umida del litorale tirrenico: la Palude di Torre Flavia. Provincia di Roma, Gangemi Editore, Roma.
- Battisti C., Poeta G., Fanelli G. (2016). An introduction to disturbance ecology. A road map for wildlife management and conservation. Springer. ISBN: 978-3-319-32475-3.
- Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci A., Cesarini C. (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l’esempio della rete LTER-Italia. In: Avveduto S., Paciello M., Arrigoni T., Mangia C., Martinelli L. (Eds.), Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve. IRPPS Monografie, Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali, Roma. CNR-IRPPS e-Publishing: <http://www.irpps.cnr.it/e-pub/ojs/>.
- Roszkopf C., Aucelli P.P.C., Iannantuono E. (2011). La costa del Molise. In: Ginesu S., La costa d’Italia. p. 353-366. Carlo Delfino Editore. ISBN: 978-88-7138-581-5.
- Roszkopf C.M., Di Paola G., Rodriguez G., Walker I.J. (2016). Recent evolution of the Molise coast of Italy: present dynamics and critical issues. 88° Congresso SGI: Geosciences on a changing planet: learning from the past, exploring the future, Napoli, 7-9 Settembre 2016. In: Abstract book edited by Calcaterra D., Mazzoli S., Petti F.M., Carmina B. & Zuccari A., Rend. Online Soc. Geol. It., Suppl. N. 1 al Vol. 40 (2016).
- Sacchetti F. (2018). Fratini d’Italia. Terra Nuova Edizioni. <https://www.terranovalibri.it/libro/dettaglio/franco-sacchetti/fratini-ditalia-9788866811442-236042.html>.
- Stanisci A., Carranza M.L., Feola S., Giuliano M. (2008). I siti SIC del litorale Molisano: habitat e specie vegetali d’interesse conservazionario. In: Lontano dal paradiso: Le dune del Molise. Centro Servizio per il Volontariato il Melograno. Officina Grafica Termoli. pp. 21-44.
- Stanisci A. (2015). La ricerca ecologica a lungo termine nelle coste sabbiose italiane. In: Acosta A.T.R., Ercole S. (eds.) (2015). Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione. ISPRA, serie Rapporti, 215/2015. pp. 86-87.

Report

- Acosta A.T.R., Ercole S. (Eds.) (2015). Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione. ISPRA, Serie Rapporti, 215/2015.
- Acosta A.T.R., Izzi C.F., Ercole S. (2010). La conservazione della biodiversità in ecosistemi dunali costieri. In: Piotto B., Giacanelli V., Ercole S., La conservazione ex situ della biodiversità delle specie vegetali spontanee e coltivate in Italia. Stato dell'arte, criticità e azioni da compiere. ROMA: Tipolitografia CSR, ISBN/ISSN: 978-88-448-0416-9.
- Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (Eds.) (2016). Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016.
- de Francesco M.L., Carranza M.L., Varricchione M., Tozzi F.P., Stanisci A. (2019). Aree protette costiere: osservatori speciali dei rifiuti spiaggiati e del loro impatto sull'ambiente. RETICULA (ISPRA) 20/2019: 26-34.
- Janssen J.A.M., Rodwell J.S., Criado M.G., Gubbay S., Arts G.H.P., Haynes T., Nieto A., Sanders N., Landucci F., Loidi J., Ssymank A., Tahvanainen T., Valderrabano M., Acosta A.T.R., Aronsson M., Arts G., Attorre F., Bergmeier E., Bijlsma R.-J., Bioret F., Bită-Nicolae C., Biurrun I., Calix M., Capelo J., Čarni A., Chytrý M., Dengler J., Dimopoulos P., Essl F., Gardfjell H., Gigante D., Giusso del Galdo G., Hájek M., Jansen F., Jansen J., Kapfer J., Mickolajczak A., Molina J.A., Molnár Z., Paternoster D., Piernik A., Poulin B., Renaux B., Schaminée J.H.J., Šumberová K., Toivonen H., Tonteri T., Tsiripidis I., Tzonev R., Valachovič M. (2016). European Red List of Habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats. European Union. DOI: 10.2779/091372.

Lavori divulgativi

- Berardo F., Carranza M.L., Ciccarelli G., Del Vecchio S., Fusco S., Iannotta F., Loy A., Roscioni F., Stanisci A. (2012). Un SIT per la gestione, e la conservazione della biodiversità nelle dune costiere. Il caso di MAESTRALE (LIFE 10NAT/IT/000262). Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA – Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012, pp. 203-209.
- Bonifazi L. (1986). La flora e la vegetazione di Torre Flavia. In: AA.VV., Tra acqua e terra, la palude, gli equilibri naturali e l'uomo. Istituto Ricerche Economico-Sociali Placido Martini, Officina Edizioni.
- Calabrese V., Frate L., Iannotta F., Prisco I., Stanisci A. (2017). *Acacia saligna*: specie invasiva delle coste molisane. Forest@ 14: 28-33.
- de Chiro M., Carranza M.L., Ciabò S., Di Martino L., Frattaroli A.R., Giannelli A., Pirone G., Stanisci A. (2015). Distribuzione e stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario lungo le coste dell'Abruzzo meridionale (Italia). In: Benincasa F. (Ed.), Proceedings of Fifth International Symposium “Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques”, Livorno (Italy), 17-18-19 June 2014. Published by: CNR-IBIMET Florence (Italy). ISBN: 978-88-95597-19-5, pp. 914-923.
- de Francesco M.C., Cappiello S., Carranza M.L., Stanisci A. (2018). Beach litter ed ecosistemi dunali nell'Adriatico centrale. Energia, ambiente e innovazione 1/2018. DOI: 10.12910/EAI2018-025.
- de Francesco M.L., Carranza M.L., Varricchione M., Tozzi F.P., Stanisci A. (2019). Aree protette costiere: osservatori speciali dei rifiuti spiaggiati e del loro impatto sull'ambiente. RETICULA (ISPRA) 20/2019: 26-34.
- Di Franco C., Salerno G., Carranza M.L., Stanisci A. (2012). Ambienti umidi salmastri in Molise: biodiversità e vulnerabilità. Territori, 7: 47-53.
- Giannelli A., Stanisci A., Carranza M.L. (2011). La struttura del paesaggio vegetale nelle dune costiere. Territori, 3: 49-57.
- Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Di Paola G., Iannantuono E., Rosskopf C.M., Stanisci A. (2010). L'impatto dell'erosione costiera sulle comunità vegetali delle coste sabbiose del Molise: un approccio

-
- di monitoraggio integrato. In: Benincasa F. (ed.). Atti del Terzo Simposio “Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura”, Livorno 15-16-17 giugno 2010 – ISBN: 978-88-902210-4-0.
- Lucchese F. (1996). Note scientifiche: Torre Flavia. In: AA.VV., Ambienti di particolare interesse naturalistico del Lazio. Regione Lazio, Ass. Cultura; Università La Sapienza, Dipartimento di Biologia Vegetale, Roma, pp. 70-71.
- Mastronardi L., de Francesco M.L., Giannelli A., Stanisci A. (2015). Biodiversità e turismo nella costa teatina: conflitto o complementarietà. Geopress 2.
- Pirone G. (1985). Aspetti della vegetazione di Vasto, “l’ultima spiaggia d’Abruzzo”. In: Immagini di Vasto. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, pp. 95-100.
- Pirone G. (1997). La vegetazione del litorale di Martinsicuro nel contesto dell’ambiente costiero dell’Abruzzo: aspetti e problemi. In: Le dune di Martinsicuro, pp. 23-74. Comune di Martinsicuro (TE).
- Prisco I., Berardo F., Carranza M.L., Frate L., Fusco S., Iannotta F., Loy A., Roscioni F., Stanisci A. (2017). SOS Dune: le buone pratiche del progetto Life Maestrale. Layman’s Report. Aracne Editrice, Roma. ISBN: 978-88-255-0224-4.
- Stanisci A., Acosta A.T.R., Izzi C.F., Vergalito M. (2006). Flora e vegetazione del litorale molisano: un patrimonio da tutelare. Ed. Università del Molise, Università di Roma Tre, Legambiente Basso Molise.
- Stanisci A., Carranza M.L. (2008). Stato di conservazione delle coste Molisane. In: Marchetti M. (ed.). Relazione sullo Stato dell’Ambiente della Regione Molise.
- Stanisci A., Carranza M.L., Feola S., Giuliano M. (2008). Gli habitat di interesse comunitario e la flora di interesse conservazionistico sul litorale molisano. In: Mastantuono A. (ed.). Lontano dal paradiso: le dune del Molise. Collana “I quaderni del Melograno”. Termoli.
- ## Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni
- ### Lavori ISI
- Acosta A.T.R., Carranza M.L., Izzi C.F. (2009). Are there habitats that contribute best to plant species diversity in coastal dunes? *Biodiversity and Conservation* 18: 1087-1098.
- Aucelli P.P.C., Di Paola G., Rizzo A., Rosskopf C.M. (2018). Present day and future scenarios of coastal erosion and flooding processes along the Italian Adriatic coast: the case of Molise region. *Environ Earth Sci* 77: 371. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7535-y>.
- Battisti C. (2014). Bird assemblages on a Mediterranean sandy beach: a yearly study. *Rivista Italiana di Ornitologia – Research in Ornithology* 84 (1): 5-10.
- Battisti C., Bazzichetto M., Poeta G., Pietrelli L., Acosta A.T.R. (2017). Measuring non-biological diversity using commonly used metrics: Strengths, weaknesses and caveats for their application in beach litter management. *Journal of Coastal Conservation* 21 (2): 303-310.
- Battisti C., Boano A., Cento M., Circosta A., Muratore S. (2015). Waders (Aves, Charadriiformes) in a Mediterranean remnant wetland: a year-round pilot study evidences contrasting patterns in diversity metrics. *Rivista Italiana di Ornitologia - Research in Ornithology*, 85 (1): 61-66.
- Battisti C., Boano A., Monaco E., Muratore S., Mazzarani D., De Zuliani E., Demartis P., Piroli R., Scrocca R. (2016). Ciclo annuale delle comunità ornitiche in due zone umide costiere del Lazio (Palude di Torre Flavia e Macchiatonda, Italia centrale). *Alula* 23 (1-2): 3-13.
- Battisti C., Poeta G., Pietrelli L., Acosta A.T.R. (2016). An unexpected consequence of plastic litter clean-up on beaches: too much sand might be removed. *Environmental Practice* 18(4): 242-246.

-
- Bazzichetto M., Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2016). How does dune morphology shape coastal EC habitats occurrence? A remote sensing approach using airborne LiDAR on the Mediterranean coast. Ecological Indicators 71: 618-626.
- Berardo F., Carranza M.L., Frate L., Stanisci A., Loy A. (2015). Seasonal habitat preference by the flagship species *Testudo hermanni*: implications for the conservation of coastal dunes. Comptes Rendus Biologies 33 (5): 343-350.
- Carboni M., Carranza M.L., Acosta A.T.R. (2009). Assessing conservation status on coastal dunes: a multiscale approach. Landscape and Urban Planning 91: 17-25.
- Carboni M., Santoro R., Acosta A.T.R. (2010). Are some communities of the coastal dune zonation more susceptible to alien plant invasion? Journal of Plant Ecology 3 (2): 139-134.
- Carboni M., Santoro R., Acosta A.T.R. (2011). Dealing with scarce data to understand how environmental gradients and propagule pressure shape fine-scale alien distribution patterns on coastal dunes. Journal of Vegetation Science 22: 751-761.
- Carboni M., Thuiller W., Izzi C.F., Acosta A.T.R. (2010). Disentangling the relative effect of environmental versus human factors on native-alien patterns of plant diversity on Mediterranean sandy shores. Diversity and Distributions 16: 537-546.
- Carranza M.L., Carboni M., Feola S., Acosta A.T.R. (2010). Landscape-scale patterns of alien plant species on coastal dunes. The case of iceplant in central Italy. Applied Vegetation Science 13: 135-145.
- Carranza M.L., Drius M., Malavasi M., Frate L., Stanisci A. (2018). Assessing land take and its effects on dune carbon pools. An insight into the Mediterranean coastline. Ecological Indicators 85: 951-955.
- Conti F., Pirone G. (1996). Specie vegetali minacciate di estinzione lungo il litorale Abruzzese. Plant Biosystems 130 (1): 437.
- Conti L., de Bello F., Leps J., Acosta A.T.R. (2017). Environmental gradients and micro-heterogeneity shape fine-scale plant community assembly on coastal dunes. Journal of Vegetation Science 28: 762-773.
- de Francesco M.C., Carranza M.L., Stanisci A. (2019). Beach litter in Mediterranean coastal dunes: an insight on the Adriatic coast (central Italy). Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali.
- Del Vecchio S., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2013). The impact of *Acacia saligna* invasion on Italian coastal dune EC habitats. Comptes Rendus Biologies 336: 364-369.
- Del Vecchio S., Jucker T., Carboni M., Acosta A.T.R. (2017). Linking plant communities on land and at sea: The effects of Posidonia oceanica wrack on the structure of dune vegetation. Estuarine, Coastal and Shelf Science 184: 30-36.
- Del Vecchio S., Prisco I., Acosta A.T.R., Stanisci A. (2015). Changes in plant species composition of coastal dune habitats over a 20-year period. AoB PLANTS 7: plv018.
- Drius M., Jones L., Marzialetti F., de Francesco M.C., Stanisci A., Carranza M.L. (2019). Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. Science of the Total Environment 668: 1139-11.
- Drius M., Malavasi M., Acosta A.T.R., Ricotta C., Carranza M.L. (2013). Boundary-based analysis for the assessment of coastal dune landscape integrity over time. Applied Geography 45: 41-48.
- Drius M., Carranza M.L., Stanisci A., Jones L. (2016). The role of Italian coastal dunes as carbon sinks and diversity sources. A multi-service perspective. Applied Geography 75:127-136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2016.08.007>.
- Fanelli G., Battisti C., Malavasi R. (2014). Comparing alpha-diversity between plants and birds in a remnant wetland: evidence for a threshold and implication for management. WetlandsEcology and Management 22 (5): 565-569.

-
- Fattorini S., Romiti F., Carpaneto G.M., Poeta G., Bergamaschi D. (2016). I Coleotteri Tenebrionidi del Sito d'Importanza Comunitaria "Foce Saccione – Bonifica Ramitelli" (Molise) (ColeopteraTenebrionidae). *Boll. Soc. Entomol. Ital.* 148 (2): 57-62. ISSN: 0373-3491.
- Fattorini S., Santoro R., Maurizi E., Acosta A.T.R., Di Giulio A. (2012). Environmental tuning of an insect ensemble: the tenebrionid beetles inhabiting a Mediterranean coastal dune zonation. *Comptesrendusbiologies* 335 (10): 708-711.
- Feola S., Carranza M.L., Schaminée J.H.J., Janssen J.A.M., Acosta A.T.R. (2011). EU habitats of interest: an insight into Atlantic and Mediterranean beach and foredunes. *Biodiversity and Conservation* 20: 1457-1468. DOI: 10.1007/s10531-011-0037-9.
- Malavasi M., Acosta A.T.R., Carranza M.L., Bartolozzi L., Basset A., Bassignana M., Campanaro A., Canullo R., Carruggio F., Cavallaro V., Cianferoni F., Cindolo C., Cocciuffa C., Corriero G., D'Amico F.S., Forte F., Freppaz M., Mantino F., Matteucci G., Pierri C., Stanisci A., Colangelo P. (2018). Plant invasions in Italy: An integrative approach using the European Life Watch infrastructure database. *Ecological Indicators* 91: 182-188.
- Malavasi M., Carboni M., Cutini M., Carranza M.L., Acosta M.L. (2014). Landscape fragmentation, land-use legacy and propagule pressure promote plant invasion on coastal dunes: a patch-based approach. *Landscape ecology* 29(9): 1541-1550.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2016). The impact of human pressure on landscape patterns and plant species richness in Mediterranean coastal dunes. *Plant Biosystems* 150(1): 73-82.
- Malavasi M., Santoro R., Cutini M., Acosta A.T.R., Carranza M.L. (2013). What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. *Landscape and Urban Planning* 119: 54-63.
- Malavasi M., Conti L., Carboni M., Cutini M., Acosta A.T.R. (2016). Multifaceted analysis of patch-level plant diversity in response to landscape spatial pattern and history on Mediterranean dunes. *Ecosystems* 19(5): 850-864.
- Pietrelli L., Poeta G., Battisti C., Sighicelli M. (2017). Characterization of plastic beach debris finalized to its removal: a proposal for a recycling scheme. *Environmental Science and Pollution Research* 24(19): 16536-16542.
- Poeta G., Battisti C., Acosta A.T.R. (2014). Marine litter in Mediterranean sandy littorals: Spatial distribution patterns along central Italy coastal dunes. *Marine Pollution Bulletin* 89: 168-173.
- Poeta G., Battisti C., Bazzichetto M., Acosta A.T.R. (2016). The cotton buds beach: Marine litter assessment along the Tyrrhenian coast of central Italy following the marine strategy framework directive criteria. *Marine pollutionbulletin* 113(1): 266-270.
- Poeta G., Conti L., Malavasi M., Battisti C., Acosta A.T.R. (2016). Beach litter occurrence in sandy littorals: The potential role of urban areas, rivers and beach users in central Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 181: 231-237.
- Poeta G., Fanelli G., Pietrelli L., Acosta A.T.R., Battisti C. (2017). Plasticsphere in action: evidence for an interaction between expanded polystyrene and dunal plants. *Environmental Science and Pollution Research* 24(12): 11856-11859.
- Prisco I., Carboni M., Acosta A.T.R. (2013). The fate of threatened coastal dune habitats in Italy under climate change scenarios. *PLoS ONE* 8 (7): e68850.
- Prisco I., Carboni M., Jucker T., Acosta A.T.R. (2016). Temporal changes in the vegetation of Italian coastal dunes: identifying winners and losers through the lens of functional traits. *Journal of AppliedEcology* 53 (5): 1533-1542.
- Prisco I., Stanisci A., Acosta A.T.R. (2015). Temporal changes in Adriatic coastal dunes: results from a short-term vegetation monitoring. *PlantSociology* 52 (2): 95-100.

-
- Prisco I., Stanisci A., Acosta A.T.R. (2016). Mediterranean dunes on the go: Evidence from a short-term study on coastal herbaceous vegetation. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 182: 40-46.
- Roskopp C.M., Di Paola G., Atkinson D.F., Rodríguez G., Walker I.J. (2017). Recent shoreline evolution and beach erosion along the central Adriatic coast of Italy: the case of Molise region. *Journal of Coastal Conservation* 22(5): 879-895.
- Santoro R., Jucker T., Prisco I., Carboni M., Battisti C., Acosta A.T.R. (2012). Effects of trampling limitation on coastal dune plant communities. *Environmental Management* 49: 534-542.
- Stanisci A., Acosta A., Di Iorio A., Vergalito M. (2010). Leaf and root trait variability of alien and native species along Adriatic coastal dunes (Italy). *Plant Biosystems* 144: 47-52.
- Stanisci A., Acosta A.T.R., Carranza M.L., de Chiro M., Del Vecchio S., Di Martino L., Frattaroli A.R., Fusco S., Izzi C.F., Pirone G., Prisco I. (2014). EU habitats monitoring along the coastal dunes of the LTER sites of Abruzzo and Molise (Italy). *Plant Sociology* 51 (Suppl. 1): 51-56. DOI: 10.7338/pls2014512S1/07.

Lavori non ISI

- Aucelli P.P.C., Iannantuono E., Roskopp C. (2009). Evoluzione recente e rischio di erosione della costa molisana (Italia meridionale). *Bollettino Della Società Geologica Italiana* 128: 759-771. ISSN: 0037-8763.
- Aucelli P.P.C., Di Paola G., Rizzo A., Roskopp C.M. (2017). Rischio all'erosione costiera del settore meridionale della costa molisana. *Studi costieri* 26: 107-122.
- Battisti C., Boano A., Monaco E., Muratore S., Mazzarani D., De Zuliani E., Demartis P., Piroli R., Scrocca R. (2016). Ciclo annuale delle comunità ornitiche in due zone umide costiere del Lazio (Palude di Torre Flavia e Macchiatonda, Italia centrale). *Alula* 23 (1-2): 3-13.
- Buccomino G., Leporatti M.L. (2009). Contributo alla conoscenza della flora vascolare del Monumento naturale Palude di Torre Flavia (Lazio). *Informatore Botanico Italiano* 41 (2) 325-341.
- Calabrese V., Frate L., Iannotta F., Prisco I., Stanisci A. (2017). *Acacia saligna: specie invasiva delle coste molisane.* Forest@ 14: 28-33 online 2017-01-31 URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2211-013>.
- de Francesco M.C., Carranza M.L., Stanisci A. (2019). Beach litter in Mediterranean coastal dunes: an insight on the Adriatic coast (central Italy). *Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali*. <https://doi.org/10.1007/s12210-018-0740-5>.
- Giuliano M.C., Stanisci A. (2010). Biodiversity conservation in coastal areas in Molise (Italy). *Bollettino dei Musei e degli Istituti biologici dell'Università di Genova* 72, 144-147.
- Muratore S., Corradi A., Boano A., Capizzi D., Battisti C. (2015). Seasonal patterns in abundance of common aerial forager birds in two Tyrrhenian wetlands: a comparison among species and sites. *Vie et milie – Life and Environment* 65 (3): 181-186.
- Prisco I., Acosta A.T.R., Ercole S. (2012). An overview of the Italian coastal dune EU habitats. *Annali di Botanica* 2: 39-48.
- Sorace A., Savo E., De Santis E., Duiz A., Iavicoli D., Riello S., Battisti C. (2015). Autumn captures from Torre Flavia ringing station (Latium, central Italy) in 2001-2014. *Avocetta* 39: 73-81.

Libri e capitoli di libri

- Acosta A.T.R. (2010). La conservazione della biodiversità in ecosistemi dunali costieri. In: *La conservazione ex situ della biodiversità delle specie vegetali spontanee e coltivate in Italia*. In: Artese C., Tra Terra e Mare. Le piante della duna e della falesia nella Riserva Naturale di Punta Aderci, pp. 24-26, PENNE: COGESTRE Edizioni.

-
- Acosta A.T.R., Jucker T., Prisco I., Santoro R. (2013). Passive recovery of Mediterranean coastal dunes following limitations to human trampling. In: Martinez M.I., Hesp P., Gallego-Fernandez J.B. (Eds.) *Restoration of coastal dunes*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Cap. 12.
- Battisti C., Poeta G., Fanelli G. (2016). An introduction to disturbance ecology. A road map for wildlife management and conservation. Springer. ISBN: 978-3-319-32475-3.
- Ravaioli M., Mazzocchi M.G., Pugnetti A., Bergami C., Capotondi L., Mangia C., Stanisci A., Cesarini C. (2015). Il contributo delle donne alla ricerca ecologica a lungo termine: l'esempio della rete LTER-Italia. In: Avveduto S., Paciello M., Arrigoni T., Mangia C., Martinelli L. (Eds.), *Scienza, genere e società. Prospettive di genere in una società che si evolve*. IRPPS Monografie, Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali, Roma. CNR-IRPPS e-Publishing: <http://www.irpps.cnr.it/e-pub/ojs/>.
- Roskopf C., Aucelli P.P.C., Iannantuono E. (2011). La costa del Molise. In: Ginesu S., *La costa d'Italia*. p. 353-366. Carlo Delfino Editore. ISBN: 978-88-7138-581-5.
- Roskopf C.M., Di Paola G., Rodriguez G., Walker I.J. (2016). Recent evolution of the Molise coast of Italy: present dynamics and critical issues. 88° Congresso SGI: Geosciences on a changing planet: learning from the past, exploring the future, Napoli, 7-9 Settembre 2016. In: Abstract book edited by Calcaterra D., Mazzoli S., Petti F.M., Carmina B. & Zuccari A., *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Suppl. N. 1 al Vol. 40 (2016).
- Sacchetti F. 2018. Fratini d'Italia. Terra Nuova Edizioni. <https://www.terranuovalibri.it/libro/dettaglio/franco-sacchetti/fratini-ditalia-9788866811442-236042.html>.
- Stanisci A., Carranza M.L., Feola S., Giuliano M. (2008). I siti SIC del litorale Molisano: habitat e specie vegetali d'interesse conservazionario. In: *Lontano dal paradiso: Le dune del Molise*. Centro Servizio per il Volontariato il Melograno. Officina Grafica Termoli, pp. 21-44.
- Stanisci A. (2015). La ricerca ecologica a lungo termine nelle coste sabbiose italiane. In: Acosta A.T.R., Ercole S. (eds.) (2015). *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, serie Rapporti, 215/2015, pp. 86-87.

Report

- Acosta A.T.R., Ercole S. (Eds.) (2015). *Gli habitat delle coste sabbiose italiane: ecologia e problematiche di conservazione*. ISPRA, Serie Rapporti, 215/2015.
- Acosta A.T.R., Izzi C.F., Ercole S. (2010). La conservazione della biodiversità in ecosistemi dunali costieri. In: Piotto B., Giacanelli V., Ercole S. *La conservazione ex situ della biodiversità delle specie vegetali spontanee e coltivate in Italia. Stato dell'arte, criticità e azioni da compiere*. ROMA: Tipolitografia CSR, ISBN/ISSN: 978-88-448-0416-9.
- Angelini P., Casella L., Grignetti A., Genovesi P. (Eds.) (2016). *Manuali per il monitoraggio di specie e habitat di interesse comunitario (Direttiva 92/43/CEE) in Italia: habitat*. ISPRA, Serie Manuali e linee guida, 142/2016.
- de Francesco M.L., Carranza M.L., Varicchione M., Tozzi F.P., Stanisci A. (2019). Aree protette costiere: osservatori speciali dei rifiuti spiaggiati e del loro impatto sull'ambiente. RETICULA (ISPRA) 20/2019: 26-34.
- Janssen J.A.M., Rodwell J.S., Criado M.G., Gubbay S., Arts G.H.P., Haynes T., Nieto A., Sanders N., Landucci F., Loidi J., Ssymank A., Tahvanainen T., Valderrabano M., Acosta A.T.R., Aronsson M., Arts G., Attorre F., Bergmeier E., Bijlsma R.-J., Bioret F., Bită-Nicolae C., Biurrun I., Calix M., Capelo J., Čarní A., Chytrý M., Dengler J., Dimopoulos P., Essl F., Gardfjell H., Gigante D., Giusso del Galdo G., Hájek M., Jansen F., Jansen J., Kapfer J., Mickolajczak A., Molina J.A., Molnár Z., Paternoster D., Piernik A., Poulin B., Renaux B., Schaminée J.H.J., Šumberová K., Toivonen H., Tonteri T., Tsiripidis I., Tzonev R., Valachovič M. (2016). *European Red List of Habitats. Part 2. Terrestrial and freshwater habitats*. European Union. DOI: 10.2779/091372.

Lavori divulgativi

- Berardo F., Carranza M.L., Ciccorelli G., Del Vecchio S., Fusco S., Iannotta F., Loy A., Roscioni F., Stanisci A. (2012). Un SIT per la gestione, e la conservazione della biodiversità nelle dune costiere. Il caso di MAESTRALE (LIFE 10NAT/IT/000262). Atti 16a Conferenza Nazionale ASITA – Fiera di Vicenza 6-9 novembre 2012, pp. 203-209.
- Calabrese V., Frate L., Iannotta F., Prisco I., Stanisci A. (2017). *Acacia saligna*: specie invasiva delle coste molisane. Forest@ 14: 28-33.
- de Chiro M., Carranza M.L., Ciabò S., Di Martino L., Frattaroli A.R., Giannelli A., Pirone G., Stanisci A. (2015). Distribuzione e stato di conservazione degli habitat di interesse comunitario lungo le coste dell’Abruzzo meridionale (Italia). In: Benincasa F. (Ed.), Proceedings of Fifth International Symposium “Monitoring of Mediterranean coastal areas: problems and measurement techniques”, Livorno (Italy), 17-18-19 June 2014. Published by: CNR-IBIMET Florence (Italy). ISBN: 978-88-95597-19-5, pp. 914-923.
- de Francesco M.C., Cappiello S., Carranza M.L., Stanisci A. (2018). Beach litter ed ecosistemi dunali nell’Adriatico centrale. Energia, ambiente e innovazione 1/2018, DOI: 10.12910/EAI2018-025.
- de Francesco M.L., Carranza M.L., Varricchione M., Tozzi F.P., Stanisci A. (2019). Aree protette costiere: osservatori speciali dei rifiuti spiaggiati e del loro impatto sull’ambiente. RETICULA (ISPRA) 20/2019: 26-34.
- Di Franco C., Salerno G., Carranza M.L., Stanisci A. (2012). Ambienti umidi salmastri in Molise: biodiversità e vulnerabilità. Territori, 7: 47-53.
- Giannelli A., Stanisci A., Carranza M.L. (2011). La struttura del paesaggio vegetale nelle dune costiere. Territori, 3: 49-57.
- Izzi C.F., Acosta A., Carranza M.L., Di Paola G., Iannantuono E., Rosskopf C.M., Stanisci A. (2010). L’impatto dell’erosione costiera sulle comunità vegetali delle coste sabbiose del Molise: un approccio di monitoraggio integrato. In: Benincasa F. (ed.). Atti del Terzo Simposio “Il Monitoraggio Costiero Mediterraneo: problematiche e tecniche di misura”, Livorno 15-16-17 giugno 2010 – ISBN: 978-88-902210-4-0.
- Mastronardi L., de Francesco M.L., Giannelli A., Stanisci A. (2015). Biodiversità e turismo nella costa teatina: conflitto o complementarietà. Geopress 2.
- Prisco I., Berardo F., Carranza M.L., Frate L., Fusco S., Iannotta F., Loy A., Roscioni F., Stanisci A. (2017). SOS Dune: le buone pratiche del progetto Life Maestrale. Layman’s Report. Aracne Editrice, Roma. ISBN: 978-88-255-0224-4.
- Stanisci A., Carranza M.L. (2008). Stato di conservazione delle coste Molisane. In: Marchetti M. (ed.). Relazione sullo Stato dell’Ambiente della Regione Molise.
- Stanisci A., Carranza M.L., Feola S., Giuliano M. (2008). Gli habitat di interesse comunitario e la flora di interesse conservazionistico sul litorale molisano. In: Mastantuono A. (ed.). Lontano dal paradiso: le dune del Molise. Collana “I quaderni del Melograno”. Termoli.

Autori

Alessandro Ludovisi¹, David Cappelletti¹, Antonia Concetta Elia¹, Daniela Gigante², Enzo Goretti¹, Massimo Lorenzoni¹, Gianandrea La Porta¹, Roberto Venanzoni¹

Affiliazione

¹ Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Via Elce di Sotto, 06124 Perugia, Italy. Sito web: <http://www.dccb.unipg.it>.

² Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Borgo XX giugno 74, 06121 Perugia, Italy

DEIMS.ID: <https://deims.org/35b099dd-dd9c-4578-9cfc-75539b943d32>

Referente Macrosito: Alessandro Ludovisi

Elenco dei Siti di ricerca del Macrosito: sito unico

Tipologia di ecosistema: Acque interne

Status di protezione: Z.P.S., S.I.C., Parco Regionale e Oasi Legambiente (area sud-orientale), Sito Natura 2000.

Classificazione EUNIS: C1.23-C1.33

Coordinate geografiche: 43.133 N 12.100 E

Livello medio: 257 m a.s.l.

Area lago: 121.5 km²

Area bacino imbrifero: 261.9 km²

Profondità: media 4 m, massima 6 m

Perimetro: 53.1 km

Tempo teorico di ricambio idrico: > 20 anni

Stato trofico: meso-eutrofia

Citare questo capitolo come segue: Ludovisi A., Cappelletti D., Elia A.C. *et al.* (2021). IT21-A Lago Trasimeno, p. 663-673. DOI: 10.5281/zenodo.5584771. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità



Fig. 1 - Lago Trasimeno

Il Lago Trasimeno è un lago meso-eutrofico poco profondo di origine tettonica ubicato in Umbria, in prossimità del confine toscano. L'impermeabilità del bacino e l'assenza di emissari naturali determinano una stretta dipendenza del livello idrometrico lacustre dalle precipitazioni, e una condizione di lago chiuso. Queste condizioni hanno causato eventi drammatici di piena e di secca nel corso dei secoli, inducendo interventi di regimentazione sin dall'epoca etrusca e romana. La ristrutturazione dell'emissario artificiale di S. Savino, completata alla fine del 19° secolo, ha innescato un progressivo abbassamento dei livelli idrometrici lacustri, determinando una transizione repentina verso la condizione di lago poco profondo. Le ricorrenti fasi di basso livello idrico impongono particolare attenzione nel quadro dei correnti cambiamenti climatici.

Il lago è oggetto di ricerche naturalistiche ed ecologiche da circa un secolo. Studi sistematici sono stati condotti soprattutto in seguito alla nascita dell'Istituto di Idrobiologia e Pescicoltura G.B. Grassi di Monte del Lago, nel 1951. Qui hanno svolto pionieristiche indagini ecologiche ricercatori di fama mondiale, tra i quali il Prof. Giampaolo Moretti, promotore e fondatore dell'Istituto di Monte del Lago. L'attività di ricerca ecologica sul Lago Trasimeno prosegue tuttora soprattutto ad opera dei ricercatori dell'Università degli Studi di Perugia, che operano in piena collaborazione con gli Enti gestori del comprensorio lacustre. Numerosi progetti di ricerca di interesse nazionale e regionale sono stati condotti nell'ultimo decennio su tematiche inerenti l'impatto dei cambiamenti climatico-ambientali sull'idrologia e l'idrochimica e sullo stato delle diverse componenti della biocenosi lacustre, con particolare riferimento alle componenti di plancton, fauna ittica, macroinvertebrati e macrofite.

Abstract

Lake Trasimeno is a shallow meso-eutrophic lake of a tectonic origin, located in Umbria. The impermeability of the basin and the absence of natural emissaries produce a strict dependence of the lake water level on precipitation, and a condition of closed lake. These conditions have caused dramatic floods and droughts over the centuries and human interventions have been made in order to regulate the lake level since Etruscan or Roman times. The recurrent phases of low water level urge a particular attention in relation to the present and future scenarios of climate change. Lake Trasimeno has been a subject of naturalistic and ecological investigations since the beginning of the last century. Systematic studies have been conducted especially since the foundation of the Institute of Hydrobiology and Aquaculture G.B. Grassi in 1951. Here, a number of leading ecologists, including one of the founder of the Institute, Prof. Giampaolo Moretti, carried out their pioneering ecological research. The research still continues today, mainly by the activity of the researchers working at the Università degli Studi di Perugia, who operate in a strict collaboration with the Local Administration offices. A number of research project of a National and Regional interest have been carried out during the last decades on issues dealing with the impact of climate-environmental changes on the hydrology, the hydrochemistry and state of the biocoenotic components, with a particular reference to plankton, fish, macroinvertebrates and macrophytes.

Lago Trasimeno

Autori

Alessandro Ludovisi¹, David Cappelletti¹, Antonia Concetta Elia¹, Daniela Gigante², Enzo Goretti¹, Massimo Lorenzoni¹, Gianandrea La Porta¹, Roberto Venanzoni¹

Affiliazioni

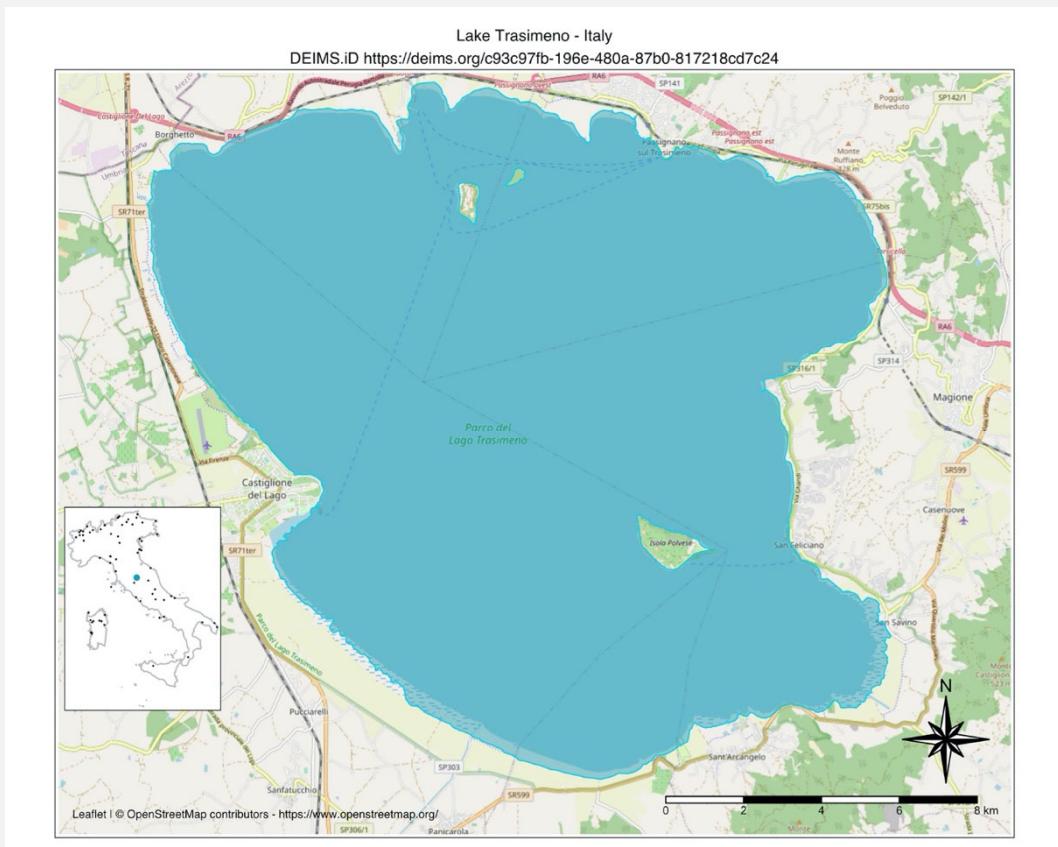
¹ Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Via Elce di Sotto, 06124 Perugia, Italy. Sito web: <http://www.dccb.unipg.it>

² Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Borgo XX giugno 74, 06121 Perugia, Italy

Sigla: IT21-001-A

DEIMS.ID: <https://deims.org/c93c97fb-196e-480a-87b0-817218cd7c24>

Responsabile Sito: Alessandro Ludovisi



Descrizione del sito e delle sue finalità

In ambito LTER, viene considerato di massimo rilievo lo studio della evoluzione temporale degli aspetti meteorologici, idrologici e idrochimici, nonché della composizione delle principali componenti della biocenosi lacustre (fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrati, osteitti, macrofite acquatiche e ripariali). Di seguito si elencano le principali variabili investigate in ambito LTER e relativa disponibilità (non sempre storicamente continua) di dati di lungo termine:

Dati morfo-idrologici e meteorologici:

- livelli lacustri (e correlati) mensili a partire dal 1870;
- dati termo-pluviometrici giornalieri (varie stazioni del bacino) dal 1920;
- altri dati meteorologici semi-orari (varie stazioni del bacino) dal 1987;
- temperatura dell'acqua giornaliera dal 1965;
- valori stimati dei termini di bilancio idrico a partire dal 1963.

Dati idrochimici:

- principali dati idrochimici (trasparenza, pH, D.O., conducibilità, alcalinità, cloruri, solfati, calcio, magnesio, fosforo totale e reattivo, azoto totale e inorganico, clorofilla, etc.) mensili o stagionali a partire dal 1960.

Dati biotici:

- fitoplancton e zooplancton: serie storiche quali-quantitative settimanali, mensili o stagionali a partire dagli anni '60;
- macroinvertebrati: dati sulla composizione di alcuni gruppi faunistici (con particolare riferimento a Chironomidi, Oligocheti, Anellidi e Odonati) a partire dagli anni '50;
- fauna ittica: dati di pescato e sforzo pesca a partire dagli anni '60;
- macrofite: dati di estensione del canneto a *Phragmites australis* a partire dal 1956; dati sulla composizione delle comunità vegetali a partire dagli anni'60.

Dati da archivi sedimentari (da n. 4 carote di sedimento lacustre con datazione a partire dal 1850):

- dati sedimentologici e chimici: suscettività magnetica, densità, contenuto in acqua e sostanza organica, concentrazione metalli (Al, Ca, Fe, Mg, Mn, K, V, Co, Ni, Cd, Pb, Cr, Cu, Sr, Ti, Zn), macroelementi (C, P, N, S, TOC, TIC) e relativa frazione isotopica ($\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$);
- dati di abbondanza di resti silicei (diatomee, spicole sponge).

L'accesso ai dati è al momento libero per i dati pubblicati e discrezionale per dati di dettaglio, con obbligo di citazione della fonte.

Il mantenimento delle serie storiche è garantito dall'attività del gruppo dei referenti del sito, grazie anche alla collaborazione con Enti territoriali e di ricerca (tra i quali ARPA Umbria, Regione Umbria, Osservatorio sulla Biodiversità regionale, Provincia di Perugia, Centro Ittiogenico provinciale, Cooperativa Pescatori del Trasimeno, ASL n.2 Umbria, Istituto Zooprofilattico del Piemonte, Liguria e Valle D'Aosta, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari dell'Università di Torino, Dipartimento di Scienze 3A dell'Università di Perugia) e all'accesso a finanziamenti per **progetti** di ricerca, tra i quali figurano, nell'ultimo quinquennio:

2014-2017: Progetto "SUN" LIFE13 NAT/IT/000371: Azione D1 "Formulazione e avvio dell'implementazione del programma di monitoraggio scientifico della rete" comprendente l'aggiornamento delle conoscenze su Habitat e Specie di allegato nella Rete Natura 2000 umbra, sotto il coordinamento della Regione Umbria;

2014-2017: Progetto di Ricerca Triennale FIRB (MIUR, Decreto del 28/12/2012 prot. n. 956/Ric) “Studio della regressione di *Phragmites australis* in Italia centrale, come indicatore dello stato di conservazione degli ecosistemi palustri”;

2014-2016: Progetto finanziato dalla Provincia di Perugia dal titolo “Controllo delle popolazioni di Chironomidi al Lago Trasimeno”;

2015-2016: Progetto Ricerca di Base finanziato dall’Università degli Studi di Perugia dal titolo “Tratti bio-ecologici chiave in una specie invasiva: *Procambarus clarkii*”;

2017-2020: Progetto Fondazione Brunello e Federica Cucinelli finalizzato al controllo dei Chironomidi al Lago Trasimeno”;

2018-2020; Progetto Ricerca di Base finanziato dall’Università degli Studi di Perugia dal titolo “Combining paleolimnological and genetic analyses to disentangle anthropogenic/climate impacts on a perturbed lake ecosystem”;

Come si evince dalla tipologia di Enti e progetti coinvolti, le attività del sito si articolano in profonda integrazione con il territorio e le problematiche locali, e al contempo fruiscono di ampia partecipazione pubblica, tramite pubblicazione in monografie (si veda, e.g., Elia *et al.* 2012; Lorenzoni e Ghetti 2012; Ludovisi *et al.* 2012) e divulgazione in incontri e convegni di rilievo territoriale, quali il Convegno ARPA Umbria “Conoscenze, valutazioni, proposte per il futuro del lago Trasimeno”, tenutosi a Castiglione del Lago (PG) nel 2010. In particolare, ARPA Umbria contribuisce alla partecipazione pubblica tramite le proprie pubblicazioni (si veda pubblicazioni ARPA Umbria in Sitografia) e le attività del Centro “Cambiamento Climatico e Biodiversità in ambienti lacustri e aree umide” (si veda CCCB ARPA Umbria in Sitografia) recentemente istituito all’isola Polvese, che vedono coinvolti il gruppo referente del sito. Eventi organizzati da associazioni ambientaliste e di categoria hanno inoltre rappresentato momenti di discussione pubblica sulle tematiche acqua/ambiente/cambiamento climatico/biodiversità.

L’attività di ricerca LTER è condotta primariamente dal gruppo referente del sito, in crescente collaborazione con ricercatori operanti in altri siti LTER-Italy, e in connessione con l’Infrastruttura Europea Lifewatch-ERIC (E-Science and Technology European Research Infrastructure Consortium for Biodiversity and Ecosystem Research, si veda Lifewatch-ERIC in sitografia), come testimoniato da recenti pubblicazioni scientifiche (Boggero *et al.* 2014; Boggero *et al.* 2016; Colangelo *et al.* 2017; Pareeth *et al.* 2017; Morabito *et al.* 2018).

Tra gli eventi di divulgazione scientifica di valenza internazionale, particolare rilievo ha rivestito la 15th World Lake Conference, tenutasi a Perugia nel 2014, che ha visto ampia partecipazione del gruppo referenti del sito (Elia *et al.* 2014; Ludovisi 2014; Mancinelli *et al.* 2014; Rossi *et al.* 2014).

Il complesso delle attività del sito è arricchito da numerose ricerche condotte con finalità non eminentemente LTER, che sono state focalizzate su numerose tematiche, quali la penetrazione e la biologia di specie aliene (con particolare riferimento al gambero *Procambarus clarkii*, il mollusco *Dreissena polymorpha*, l’anfipode *Dikerogammarus villosus* e il pesce gatto *Ameiurus melas*), la caratterizzazione della rete trofica lacustre su base isotopica $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$, le dinamiche di bioaccumulo e detossificazione di inquinanti persistenti (metalli pesanti, POPs), la dinamica del fenomeno del *die-back* di *Phragmites australis*, la lotta biologica agli insetti molesti, l’analisi dei flussi termodinamici a scala lacustre. Bibliografia estesa inherente il sito è riportata nel Sito DEIMS-SDR (vedi Sitografia).

Risultati

Il mantenimento e l’ampliamento della serie storica di dati ha permesso l’acquisizione di un’importante base di conoscenze per lo sviluppo dell’attività di ricerca LTER. In particolare, la recente inclusione di tematiche floristico-vegetazionali e paleolimnologiche tra le attività portanti della ricerca LTER nel sito trasimenico rappresenta un ampiamento significativo dello spettro di tematiche scientifiche affrontate, con ricadute potenziali su interdisciplinarità della ricerca, progettualità perseguitibili e coinvolgimento di portatori d’interesse nell’attività del sito.

Si riportano di seguito sintesi dei risultati ottenuti nell'ultimo quinquennio (per risultati precedenti si rimanda a Ludovisi 2012), nei seguenti ambiti:

- Ricostruzione storica della temperatura superficiale lacustre da dati satellitari;
- Modificazioni di lungo termine del popolamento fitoplanctonico;
- Ricostruzione dei profili sedimentari di metalli e macroelementi trofici;
- Bilancio idrico storico e proiezioni nel quadro climatico corrente.

La ricostruzione storica della temperatura superficiale lacustre è stata effettuata in collaborazione con i ricercatori operanti in altri siti lacustri LTER di grandi dimensioni (Lago Maggiore, Lago di Garda, Lago di Iseo e Lago di Como). Complessivamente, un totale di quasi 63000 immagini satellitari diurne nei canali infrarossi ($10,5\text{-}11,5 \mu\text{m}$ and $11,5\text{-}12,5 \mu\text{m}$, risoluzione spaziale 1 km) rilevate da 13 satelliti orbitanti nel trentennio 1986-2015 sono state elaborate e calibrate per confronto con serie di dati termometrici raccolti *in situ*. Lo studio (Pareeth *et al.* 2017), oltre a supportare l'impiego di dati di remote sensing per la costruzione di serie storiche di temperatura superficiale dei laghi, mostra l'incremento coerente della temperatura nei laghi esaminati e stima un innalzamento medio dell'ordine di $0,17^\circ\text{C}$ per decade, particolarmente accentuato ($+0,32^\circ\text{C}$ per decade) nel periodo estivo (si veda Fig. 2 per il Lago Trasimeno).

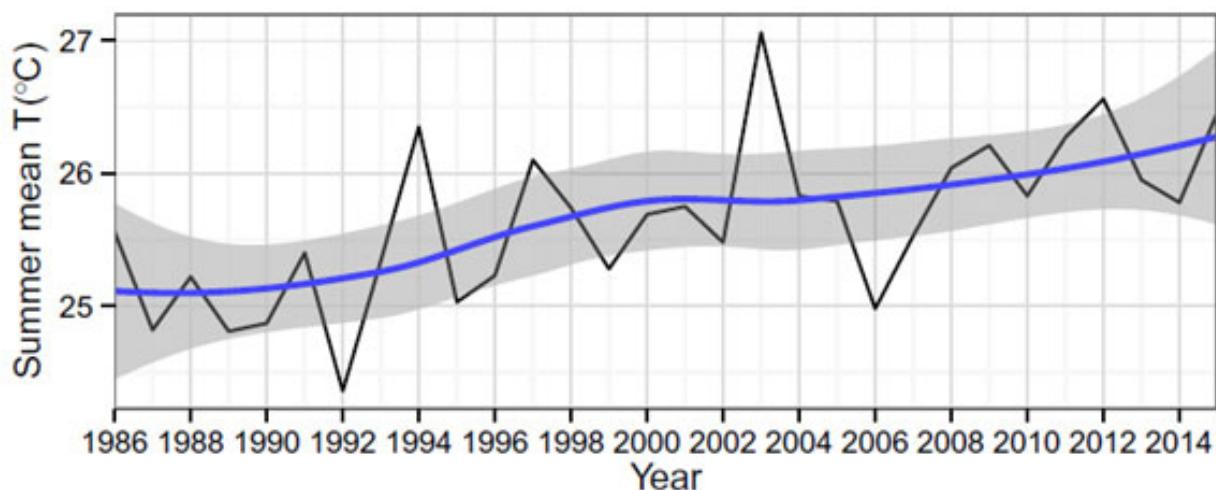


Fig. 2 - Andamenti della temperatura superficiale dell'acqua (LSWT) nel periodo estivo nel Lago Trasimeno, derivate da rilevamenti satellitari effettuati tra il 1986 e il 2015. In nero i dati annuali e in azzurro l'andamento interpolato tramite smoothing, con intervallo di confidenza al 95% (area grigia). Modificato da Pareeth *et al.* 2017

Le modificazioni a lungo termine del popolamento fitoplanctonico del Lago Trasimeno sono state valutate comparando serie storiche di abbondanza specifica raccolte mensilmente in tre periodi: 1969-70, 1990-92 e 2012-14, previa armonizzazione e aggiornamento dell'attribuzione tassonomica e omogeneizzazione dei dati di conteggio e calcolo dei biovolumi (Brancale 2018). L'esame dei dati di densità di biomassa, effettuato a livello di classe al fine di evitare eventuali incongruenze legate a difformità nell'attribuzione tassonomica a livello inferiore, ha evidenziato profonde modificazioni di medio/lungo termine, particolarmente spiccate nell'ultimo ventennio (Fig. 3).

In particolare, si evidenziano i seguenti aspetti: i) le sequenze stagionali di dominanza per classe sono sostanzialmente diversi nei tre periodi storici; ii) la biodiversità tassonomica strutturale (numero di classi tassonomiche ed equipartizione) risulta progressivamente ridotta, in tutti i mesi dell'anno, nella sequenza temporale 1969-70, 1990-92, 2012-14; iii) gli anni più recenti appaiono nettamente dominati da Chlorophyceae, Dinophyceae e Cyanophyceae.

Un'analisi di correlazione con i dati di qualità delle acque suggerisce che le modificazioni meteoclimatiche e idrologiche occorse nell'ultimo cinquantennio abbiano rappresentato una delle principali forzanti responsabili delle modificazioni avvenute a carico del popolamento fitoplanctonico,

in accordo con quanto suggerito da Morabito *et al.* (2018) circa i principali drivers per le modificazioni del plancton su scala nazionale. In particolare, è ragionevole supporre che la progressiva salinizzazione delle acque del lago sia stata un fattore importante per la semplificazione tassonomica osservata, effetto generale osservato in numerosi corpi idrici soggetti a salinizzazione (Davis *et al.* 2003; Hart *et al.* 2003; Nielsen *et al.* 2003).

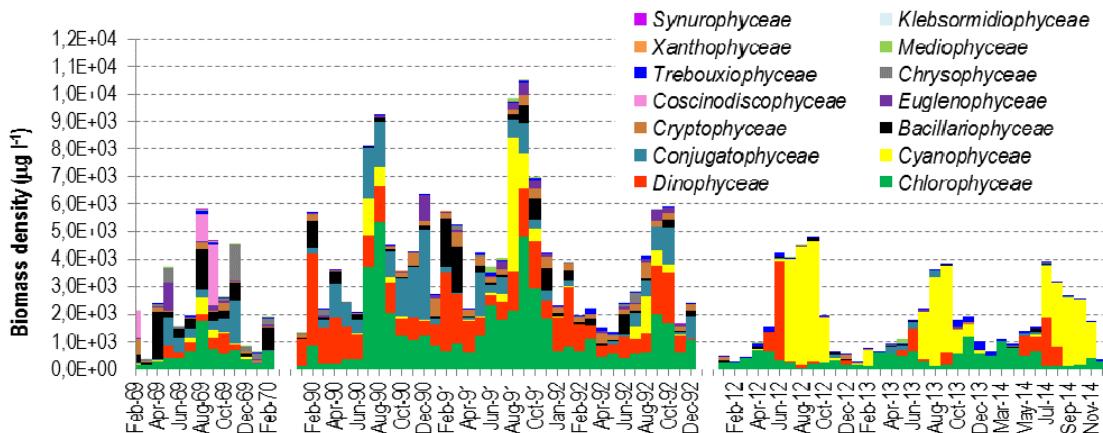


Fig. 3 - Variazioni mensili e di lungo termine della densità di biomassa fitoplantonica per classe nel Lago Trasimeno per tre periodi storici (1969-70, 1990-92 e 2012-14). Modificato da Brancale, 2018

La ricostruzione dei profili sedimentari di metalli e macroelementi trofici nel lago Trasimeno è stata effettuata analizzando 3 carote di sedimento lacustre estratte in diverse zone del lago (Gaino *et al.* 2012), la cui datazione isotopica fa risalire gli strati sedimentari più antichi a metà XIX secolo. L'analisi dei profili sedimentari, tuttora in elaborazione, mette in luce molteplici patterns di variazione, alcuni dei quali immediatamente riconducibili alle principali attività ed interventi antropici effettuati sul bacino lacustre a partire dalla rivoluzione industriale (Gravina 2017). In sequenza temporale, i profili dei macroelementi trofici (C, P, N, S, TOC, TIC, $\delta^{15}\text{N}$, $\delta^{13}\text{C}$) evidenziano in particolare la transizione repentina realizzata a fine '800 in corrispondenza dei lavori di ristrutturazione dell'emissario artificiale del lago, con conseguente transizione verso una condizione di shallow lake, e, a partire dalla metà degli anni '70 del secolo scorso, il probabile impatto delle pratiche fertilizzanti sulla situazione trofica del lago. D'altra parte, i profili dei metalli pesanti evidenziano il probabile impatto di attività agricole e industriali e dell'uso di additivi a base di piombo nei combustibili per autotrazione.

Per quanto riguarda la situazione idrologica, il Lago Trasimeno attraversa attualmente una fase caratterizzata da significative oscillazioni interannuali di livello, che, nel quadro attuale di cambiamento climatico per l'area mediterranea, sollecita un'accurata valutazione di rischio siccità. L'applicazione di un modello idrologico (Ludovisi *et al.* 2013) su dati registrati nel trentennio 1980-2010 ha mostrato che gli apporti idrici da precipitazioni hanno leggermente ecceduto le perdite per evaporazione. In termini predittivi, il modello stima che solo nel caso in cui si verificassero le proiezioni climatiche IPCC (Christensen *et al.* 2007) più ottimistiche per l'Europa meridionale e mediterranea secondo uno scenario A1B, non si determineranno condizioni di rischio prosciugamento del lago entro il secolo corrente. Nei casi in cui si verificassero le proiezioni medie o più pessimistiche, neanche le misure di mitigazione attualmente ipotizzate sembrano sufficienti per scongiurare il rischio di prosciugamento. Pertanto, una revisione consapevole delle politiche di gestione delle risorse idriche regionali appare quanto mai urgente per la salvaguardia del bacino lacustre.

Come e più che in passato, il destino del Lago Trasimeno è affidato alla capacità dell'uomo di gestire in modo appropriato le risorse naturali e mitigare gli impatti. La novità storica, che sottrae quanto appena detto alla retorica, riguarda la scala spazio-temporale degli impatti antropici, che appaiono sempre più dominati da fenomeni di scala globale e tempi lunghi, ambito naturale di lavoro per LTER.

Prospettive future

L'esame dei dati storici ha mostrato che la gestione idrica praticata nella prima metà del secolo scorso ha profondamente modificato dello stato ecologico del lago Trasimeno, determinando un significativo impatto sulle dinamiche ecosistemiche. La modificata disponibilità di habitat ha certamente ridotto la fitness di alcune specie tipiche del lago e favorito la penetrazione di popolazioni di specie alloctone, specificatamente nell'ittiofauna (Lorenzoni e Ghetti 2012; Carosi *et al.* 2018) e nella fauna a macroinvertebrati, con specie invasive quali *D. polymorpha* (Lancioni & Gaino 2005) e *P. clarkii* (Dörr *et al.* 2006).

Oltre ad incidere sul valore naturalistico del lago, la riduzione del livello delle acque ha avuto ricadute significative anche sui servizi ecosistemici offerti dal lago. Un'analisi del pescato commercializzato nel periodo a cavallo dell'intervento di ampliamento del bacino imbrifero del Lago Trasimeno (anni 1956-80) ha infatti mostrato come la crisi idrica di quegli anni abbia avuto un impatto negativo sulla qualità e quantità del pescato (Mearelli *et al.* 1990). La scarsa trasparenza delle acque, oltre ad incidere negativamente sul valore paesaggistico e ricreativo del litorale lacustre, ha spesso contribuito a vietare la balneazione in diverse stazioni turistiche circumlacuali. Nel quadro idrologico attuale, le problematiche emergenti riguardano la mancanza di ricambio idrico, che amplifica diversi fenomeni di accumulo, tra i quali la salinizzazione delle acque e l'ispessimento dello strato sedimentario nei fondali.

Tuttavia, le problematiche appena esposte appaiono del tutto irrisorie se confrontate con i rischi potenziali che corre il Lago Trasimeno nelle attuali prospettive di cambiamento climatico. Come esposto, la possibilità che il Lago Trasimeno possa prosciugarsi nell'arco del secolo in corso è da tenere in seria considerazione. Tale rischio assume carattere di ulteriore imminenza se si considera che gli eventi siccitosi estremi sono ritenuti progressivamente più frequenti nell'area mediterranea (Bates *et al.* 2008).

Il quadro appena illustrato mostra la rilevanza che la ricerca a lungo termine assume per il sito Lago Trasimeno, sia per quanto riguarda gli aspetti scientifici che per quelli culturali e gestionali. La disponibilità di serie storiche significative e la suscettibilità del sistema lago agli impatti antropici di scala locale e globale, configurano il lago Trasimeno come laboratorio 'naturale' privilegiato ai fini dell'individuazione di patterns e meccanismi di risposta degli ecosistemi lacustri (segnatamente degli shallow lakes) ai cambiamenti climatico/ambientali in area mediterranea. Contemporaneamente, i servizi ecosistemici erogati dal lago (il comparto turistico-alberghiero circumlacuale, intrinsecamente basato sul valore paesaggistico, ricreativo e culturale del lago, conta circa mezzo milione di presenze annue e funge da traino per le filiere agroalimentare, agritouristica, ittica e manifatturiera del comprensorio) e le risorse pubbliche investite da decenni nella gestione della risorsa idrica e biocenotica, lo propongono come modello sperimentale in ambito gestionale.

In prospettiva Horizon 2020, il sito si configura pertanto come modello privilegiato per l'implementazione di ricerche LTER e LTSER (Long-term Socio-Ecological Research), analisi DPSIR (Driver-Pressure-State-Impact-Response), e conseguenti azioni per lo sviluppo sostenibile a salvaguardia della risorsa idrica, della biodiversità e delle tradizioni locali.

Le attività storiche di ricerca ecologica iniziate presso l'Istituto G.B. Grassi di Monte del Lago, sono attualmente garantite in prospettiva long-term dal supporto infrastrutturale e strumentale dell'Università degli Studi di Perugia e da un supporto economico non dedicato, legato alle risorse finanziarie che il gruppo dei referenti del sito è in grado di attrarre, anche in collaborazione con Enti locali, principalmente dall'Unione Europea, dal ministero dell'Università e della Ricerca, dallo stesso Ateneo, dalle Amministrazioni locali, dalle Fondazioni e dalle imprese del comprensorio.

Il Network ILTER, LTER Italy e l'Infrastruttura Europea Lifewatch (di cui l'Università di Perugia è membro nella Joint Research Unit) forniscono un supporto essenziale per i servizi informatici, la condivisione di dati e la divulgazione.

Tuttavia, il numero esiguo di bandi locali, nazionali e internazionali focalizzati su tematiche LTER e connesse, e la loro natura a termine, mette a rischio la continuità, la risoluzione temporale e l'ampiezza

delle serie storiche di dati, e di conseguenza la consistenza e la varietà delle ricerche di lungo termine affrontabili.

La crescente dominanza di impatti antropici di scala globale e tempi lunghi impone inoltre l'implementazione di ricerche (e azioni) long-term di carattere trans-nazionale e inter-dominio, per le quali è necessario, in primo luogo, un riconoscimento istituzionale di pari scala. D'altra parte, la natura intrinsecamente peculiare e distribuita degli ecosistemi e delle società ad essi connesse impone un supporto logistico indirizzato ai singoli siti di ricerca long-term, affinché possano erogare servizi utili sia a scala trans-nazionale che locale. In questo contesto, la sfida principale cui è chiamata la nascente infrastruttura europea LTER-RI è quella di coniugare la propria missione istituzionale di servizio trans-nazionale con le necessità di sostegno e dotazione che i siti eletti possano richiedere, anche ai fini di armonizzazione e omogeneizzazione delle attività complessiva dell'infrastruttura e delle progettualità sviluppate.

Bibliografia citata nel testo

- Christensen J.H., Hewitson B., Busuioc A., Chen A., Gao X., Held I., Jones R., Kolli R.K., Kwon W.T., Laprise R., Magaña Rueda V., Mearns L., Menéndez C.G., Räisänen J., Rinke A., Sarr A. & Whetton P. (2007). Regional climate projections. In Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z.A., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds), *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York: 847-940.
- Davis Jenny A., McGuire M., Halse S.A., Hamilton D., Horwitz P., McComb A.J., Froend R.H., Lyons M. and Sim L. (2003). What happens when you add salt: predicting impacts of secondary salination on shallow aquatic ecosystems by using an alternative -states model; *Australian Journal of Botany*, 51, 715-724.
- Hart B.T., Lake P.S., Webb J.A. and Grace M.R. (2003). Ecological risk to aquatic systems from salinity increases; *Australian Journal of Botany*, 51, 689-702.
- Nielsen D.L., Brock M.A., Rees G.N. and Baldwin D.S. (2003). Effects of increasing salinity on freshwater in Australia, *Australian Journal of Botany*, 51, 655-655.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Bacci G., Cerri M., Lastrucci L., Ferranti F., Ferri V., Foggi B., Gigante D., Venanzoni R., Viciani D., Mengoni A., Reale L., Coppi A. (2018). Applying predictive models to decipher rhizobacterial modifications in common reed die-back affected populations. *Science of the Total Environment* 642: 708-722.
- Boggero A., Bassetti A., Austoni M., Barbone E., Bartolozzi L., Bertani I., Campanaro A., Cattaneo A., Cianferoni F., Corriero G., Dörr A.M., Elia A.C., Ficetola G.F., Kamburska L., La Porta G., Lauceri S., Ludovisi A., Gaino E., Goretti E., Lorenzoni M., Manca M., Marchetto A., Morabito G., Marzano F.N., Oggioni A., Pierri C., Riccardi N., Rossetti G., Ungaro N., Volta P., Zaupa S., Fontaneto D. (2014). Weak effects of habitat type on susceptibility to invasive freshwater species: an Italian case study. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 24: 841-852.
- Carosi A., Ghetti L., Padula R., Lorenzoni M. (2018). Potential effects of global climate change on fisheries in the Trasimeno Lake (Italy), with special reference to the goldfish *Carassius auratus* invasion and the endemic southern pike *Esox cisalpinus* decline. *Fisheries Management and Ecology*, 6: 1-22.

-
- Cerri M., Coppi A., Lastrucci L., Gigante D., Ferranti F., Foggi B., Onofri A., Viciani D., Venanzoni R., Reale L. (2018). Influence of die-back syndrome on reproduction strategies within *Phragmites australis* populations. *Plant Biosystems*, 153(2) 250-256, DOI: 10.1080/11263504.2018.1473302.
- Colangelo P., Fontaneto D., Marchetto A., Ludovisi A., Basset A., Bartolozzi L., Bertani I., Campanaro A., Cattaneo A., Cianferoni F., Corriero G., Ficetola G.F., Nonnis-Marzano F., Pierri C., Rossetti G., Rosati I., Boggero A. (2017). Alien species in Italian freshwater ecosystems: a macroecological assessment of invasion drivers. *Aquatic Invasions* 12: 299-309.
- Gaino E., Scoccia F., Piersanti S., Rebora M., Bellucci L.G., Ludovisi A. (2012). Spicule records of *Ephydatia fluviatilis* as a proxy for hydrological and environmental changes in the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy). *Hydrobiologia* 679: 139-153.
- Ludovisi A., Gaino E. (2010). Meteorological and water quality changes in Lake Trasimeno (Umbria, Italy) during the last fifty years. *Journal of Limnology* 69: 174-188.
- Ludovisi A., Gaino E., Bellezza M., Casadei S. (2013). Impact of climate change on the hydrology of the shallow Lake Trasimeno (Umbria, Italy): history, forecasting and management. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 16(2):190-197.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A., Bergami C., Flaim G., Accoroni S., Basset A., Bastianini M., Belmonte G., Bernardi Aubry F., Bertani I., Bresciani M., Buzzi M., Cabrini M., Camatti E., Caroppo C., Cataletto B., Castellano M., Del Negro P., de Olazabal A., Di Capua I., Elia A.C., Fornasaro D., Giallain M., Grilli F., Leoni B., Lipizer M., Longobardi L., Ludovisi A., Lugliè A., Manca M., Margiotta F., Mariani M.A., Marini M., Marzocchi M., Obertegger U., Oggioni A., Padedda B.M., Pansera M., Piscia R., Povero P., Pulina S., Romagnoli T., Rosati I., Rossetti G., Rubino F., Sarno D., Satta C.T., Sechi N., Stanca E., Tirelli V., Totti C., Pugnetti A. (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy Network. Patterns, fluctuations, drivers. *Science of the Total Environment* 627: 373-387.
- Pareeth S., Bresciani M., Buzzi F., Leoni B., Lepori F., Ludovisi A., Morabito G., Adrian R., Neteler M., Salmaso N. (2017). Warming trends of perialpine lakes from homogenised time series of historical satellite and in-situ data. *Science of The Total Environment* 578: 417-426.

Riviste non ISI

- Boggero A., Pierri C., Alber R., Austoni M., Barbone E., Bartolozzi L., Bertani I., Campanaro A., Cattaneo A., Cianferoni F., Colangelo P., Corriero G., Dörr A.M., Elia A.C., Ficetola G.F., Fontaneto D., Gaino E., Goretti E., Kamburska L., La Porta G., Lauceri S., Lorenzoni M., Ludovisi A., Manca M., Morabito G., Nonnis Marzano F.N., Oggioni A., Riccardi N., Rossetti G., Tagliolato P., Thaler B., Ungaro N., Volta P., Zaupa S., Rosati I., Fiore N., Basset A., Marchetto A. (2016). A geographic distribution data set of biodiversity in Italian freshwaters. *Biogeographia – The Journal of Integrative Biogeography* 31: 55-72.

Libri e capitoli di libri

- Elia A.C., Todini C., Di Brizio M., Taticchi M.I. (2012). Struttura e composizione del popolamento fitoplanctonico del Lago Trasimeno negli ultimi 50 anni. In: Martinelli A. (Ed.): Tutela ambientale del lago Trasimeno. Libri Arpa Umbria: 89-99.
- Lorenzoni M., Ghetti L. (2012). Evoluzione della fauna ittica e problematiche gestionali del lago Trasimeno. In: Martinelli A. (Ed.): Tutela ambientale del lago Trasimeno. Libri Arpa Umbria: 227-242.
- Ludovisi A. (2012). Lago Trasimeno. In: R. Bertoni (Ed.), *La rete italiana per la ricerca ecologica a lungo termine (LTER-Italia)* – ARACNE editrice: 155-158.
- Ludovisi A., Rebora M., Goretti E., Scoccia F., Piersanti S., Gaino E. (2012). L’ecosistema del Trasimeno tra passato e futuro. In: Martinelli A. (Ed.). *Tutela ambientale del Lago Trasimeno*. Libri Arpa Umbria: 337-345.

Tesi di Laurea

Brancale M.I. (2018). Modificazioni di lungo termine nel fitoplancton del lago Trasimeno e connessioni con i cambiamenti climatico-ambientali. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Biomolecolari e Ambientali presso l'Università degli Studi di Perugia.

Gravina P. (2017). Caratterizzazione chimica degli archivi stratigrafici di sedimento nel bacino del Trasimeno: studio degli effetti antropici e climatici. Tesi di Laurea Magistrale in Scienze Chimiche presso l'Università degli Studi di Perugia.

Prodotti divulgativi

Elia A.C., Todini C., Taticchi M.I., Ludovisi A. (2014). Long Term changes of phytoplankton assemblages in Late Trasimeno. 15th World Lake Conference, Perugia, Italy, 1-5 September 2014.

Ludovisi A. (2014). Lake Trasimeno between past and future. 15th World Lake Conference, Perugia, Italy, 1-5 September 2014.

Mancinelli G., Vizzini S., Ludovisi A., Lorenzoni M. (2014). The trophic position of the invasive crayfish *Procambarus clarkii* Girard, 1852 in the Trasimeno and Bolsena lakes (Central Italy): a preliminary assessment by stable isotopes analysis. 15th World Lake Conference, Perugia, Italy, 1-5 September 2014.

Rossi R., Ludovisi A., Paracucchi R., Selvaggi R., Fagotti A., Simoncelli F., Di Rosa I. (2014). The delayed effects of meteorological changes on the water frogs in Central Italy: perspectives within the framework of climate change. 15th World Lake Conference, Perugia, Italy, 1-5 September 2014.

Sitografia

Sito DEIMS-SDR: https://deims.org/site/lter_eu_it_096_001

Pubblicazioni ARPA Umbria: <http://www.arpa.umbria.it/pagine/pubblicazioni>

CCCB ARPA Umbria:

<http://www.arpa.umbria.it/pagine/centro-cambiamento-climatico-e-biodiversita-in-amb>.

Autori

Antonella Petrocelli, Maria Immacolata Acquaviva, Giorgio Alabiso, Manuela Belmonte, Francesca Biandolino, Nicola Cardelluccio, Carmela Caroppo, Rosa Anna Cavallo, Antonella Di Leo, Giovanni Fanelli, Santina Giandomenico, Marcella Narracci, Isabella Parlapiano, Giuseppe Portacci, Ermelinda Prato, Fernando Rubino, Lucia Spada, Loredana Stabili, Ester Cecere.

Affiliazioni

Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA-CNR), Talassografico “A. Cerruti” Taranto, Via Roma 3, 74123 Taranto, Italy.

DEIMS.ID: <https://deims.org/ac3f674d-2922-47f6-b1d8-2c91daa81ce1>

Referente Macrosito: Ester Cecere

Siti di ricerca del Macrosito: sito unico

Tipologia di ecosistema: marino / acque di transizione



Fig. 1 - Mar Piccolo di Taranto, veduta satellitare

Citare questo capitolo come segue: Petrocelli A., Acquaviva M.I., Alabiso G. *et al.* (2021). IT22-M Mar Piccolo di Taranto, p. 675-700. DOI: 10.5281/zenodo.5584773. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del Macrosito e Sito e delle sue finalità

Il Mar Piccolo di Taranto si estende su una superficie di 20,72 Km² ed è suddiviso in due bacini più piccoli: il Primo Seno a Ovest, con una profondità massima di 12 m, ed il Secondo Seno a Est, con una profondità massima di 8 m. L'idrodinamismo è scarso, così come scarsi sono gli scambi con l'adiacente bacino di Mar Grande, che avvengono prevalentemente tramite il Canale Navigabile, artificiale, largo 58 m e profondo 12 m, e in minor misura attraverso il Canale di Porta Napoli, naturale, largo 48 m e profondo 2,5 m. Ciò porta ad una stratificazione delle acque del Mar Piccolo, soprattutto nel Secondo Seno e in estate. L'escurzione di marea è ridotta e si aggira intorno ai 30-40 cm. I substrati duri sono pochi e per la maggior parte artificiali, a causa del forte impatto antropico (es. moli in cemento, strutture di impianti di mitilicoltura). I pochi substrati duri naturali consistono per lo più in sassi sparsi e valve di molluschi abbandonate sul fondo, mentre gli unici fondi rocciosi si trovano in prossimità di Punta Penna e Punta Pizzone, che delimitano l'istmo di collegamento tra il Primo e il Secondo Seno, oltre che nella zona più confinata e occidentale del Secondo Seno. I substrati mobili sono sabbiosi in prossimità della costa e fangosi al centro di entrambi i Seni.

Le caratteristiche chimico-fisiche mostrano un andamento variabile nelle varie stagioni e nei due Seni. Tali variazioni evidenziano livelli crescenti di confinamento andando dal Primo verso il Secondo Seno, e consentono l'immediato riconoscimento dei due bacini, denotando, nella stessa direzione, una notevole instabilità di quello più confinato. La temperatura media superficiale, misurata nel periodo 1996-2017, varia tra 7,5°C e 32,3°C. La salinità varia tra 33,0 e 37,7 (Cecere *et al.* 2016a).

L'andamento di questi valori è fortemente influenzato:

dai "citri", sorgenti sottomarine, che immettono nel bacino acqua dolce a una temperatura costante di 18°C. Cerruti (1938b) aveva censito 20 "citri" nel Primo Seno e 14 nel Secondo Seno. I più importanti sono il "Galeso" e il "Citrello" nel Primo Seno e il "Le Copre" nel Secondo Seno;

da alcuni piccoli fiumi, tra i quali il più importante è il "Galeso" che sfocia nel Primo Seno. Altri corsi d'acqua, che risultano meno importanti poiché la loro portata risente fortemente dei ritmi stagionali delle precipitazioni atmosferiche, sono il "Cervaro", il "Rasca" e il "Rubafemmine" tutti localizzati nel Secondo Seno.

Questi apporti di acqua dolce determinano le caratteristiche lagunari del Mar Piccolo.

Poiché questo è un sistema di transizione semichiuso e riparato, è stato da sempre intensamente utilizzato per lo svolgimento di numerose attività, tra le quali quella più antica è la mitilicoltura. Fino al 2011, la produzione di mitili stimata per l'intero bacino era di circa 60.000 t/anno. Successivamente, in seguito all'innalzamento oltre la soglia di legge dei valori di PCB nelle carni dei molluschi allevati nel Primo Seno, l'allevamento degli adulti in questa area è stata interdetta, rimanendo consentita solo la produzione dei giovanili (il cosiddetto "seme"), che si attesta intorno alle 7 t/anno. Pertanto, la crescita degli individui di taglia commerciale è permessa solo nel Secondo Seno, con una produzione di circa 50.000 t/anno (Cecere *et al.* 2016b).

Nel Primo Seno, sono presenti i bacini di carenaggio dell'Arsenale della Marina Militare, una piccola flotta peschereccia con circa 300 imbarcazioni, alcuni piccoli cantieri e officine navali, nonché l'idrovora dell'industria siderurgica che cattura acqua per gli impianti di raffreddamento. Sulla costa del Secondo Seno, insistono essenzialmente le attività dell'Aeronautica Militare, con il deposito carburanti e la Scuola Volontari (SVAM). Inoltre, tutto il Mar Piccolo è soggetto ad inquinamento agricolo poiché riceve le acque irrigue dei campi coltivati presenti nei dintorni, attraverso sia i piccoli fiumi tributari sia i "citri". Per lungo tempo, ben 14 scarichi urbani hanno sversato nel Mar Piccolo liquami non trattati provenienti dalla città e da altri centri abitati nelle vicinanze, determinando l'eutrofia delle sue acque in entrambi i Seni. A partire dal 2000, nove di questi scarichi sono stati chiusi e le acque di scolo sono state convogliate in una condotta che versa al largo in Mar Grande (Caroppo *et al.* 2010).

Una piccola parte della costa nord-orientale del Primo Seno e la gran parte della costa del Secondo Seno, per un totale di 1375 ha, sono una zona SIC (IT9130004) dal 2005. Nel 2009, è stata richiesta

l'estensione dell'area SIC anche al tratto di mare circostante la zona sud-orientale del Secondo Seno, per un'estensione di 130 ha, data l'elevata biodiversità di flora e fauna bentonica, di ittiofauna e avifauna, e la funzione di "area nursery" che la zona svolge per le specie di pesci presenti (Cecere E. *in verbis*). In tale zona è presente la Riserva Naturale Regionale orientata "Palude La Vela", già Oasi del WWF, che si estende su una superficie di 120 ha ed ospita numerose specie di uccelli stanziali, diverse specie di passo, nonché una ricca flora di ambiente palustre salino (<http://www.comune.taranto.it/index.php/riserva-naturale-palude-la-vela>).

Abstract

The Mar Piccolo of Taranto (LTER_EU_IT_095) is a transitional water system located north of Taranto, which extends to a 20.72 km² surface. It is divided into two smaller basins that are the western First Inlet, and the eastern Second Inlet. Hydrodynamism is scarce with a tidal range of about 30-40 cm. The Mar Piccolo communicates with the near Mar Grande basin mainly through the Navigabile Canal, and to a lesser extent through the Porta Napoli Channel. The few natural hard substrata consist in scattered stones and mussel shells; rocky bottoms are limited to the coast near Punta Penna and Punta Pizzone that delimitate the isthmus of connection between the First and Second Inlet and to the inner western part of the Second Inlet. Artificial hard substrata are mostly concrete wharves and facilities for mussel farming, such as lines, poles and frame structures arising from mussel farming, mainly distributed into the First Inlet. Long-term measurements showed that seawater surface temperature yearly ranges from 7.5°C to 32.3°C and seawater surface salinity from 33.0 to 37.7. Both parameter values are substantially influenced by freshwater coming from more than 30 submarine springs (locally named "cetri") and a few small rivers. Part of the Second Inlet coast is a Site of Community Importance (SCI, IT9130004).

The Mar Piccolo is seat of an ancient traditional mussel farming, which reached a yearly production of 60,000 tons/year up to 2011, but recently it underwent a dramatic collapse due to the increase of PCB in the flesh of mussels coming from the First Inlet.

Several research projects have been carried out aiming to enlarge the knowledge on this basin and to detect possible management actions to restore and preserve its peculiarities. Starting from 2014, several activities started aiming to the clean-up and the upgrading of the Mar Piccolo seawaters and coastline.

Mar Piccolo di Taranto

Autori

Antonella Petrocelli, Maria Immacolata Acquaviva, Giorgio Alabiso, Manuela Belmonte, Francesca Biandolino, Nicola Cardelluccio, Carmela Caroppo, Rosa Anna Cavallo, Antonella Di Leo, Giovanni Fanelli, Santina Giandomenico, Marcella Narracci, Isabella Parlapiano, Giuseppe Portaccia, Ermelinda Prato, Fernando Rubino, Lucia Spada, Loredana Stabili, Ester Cecere

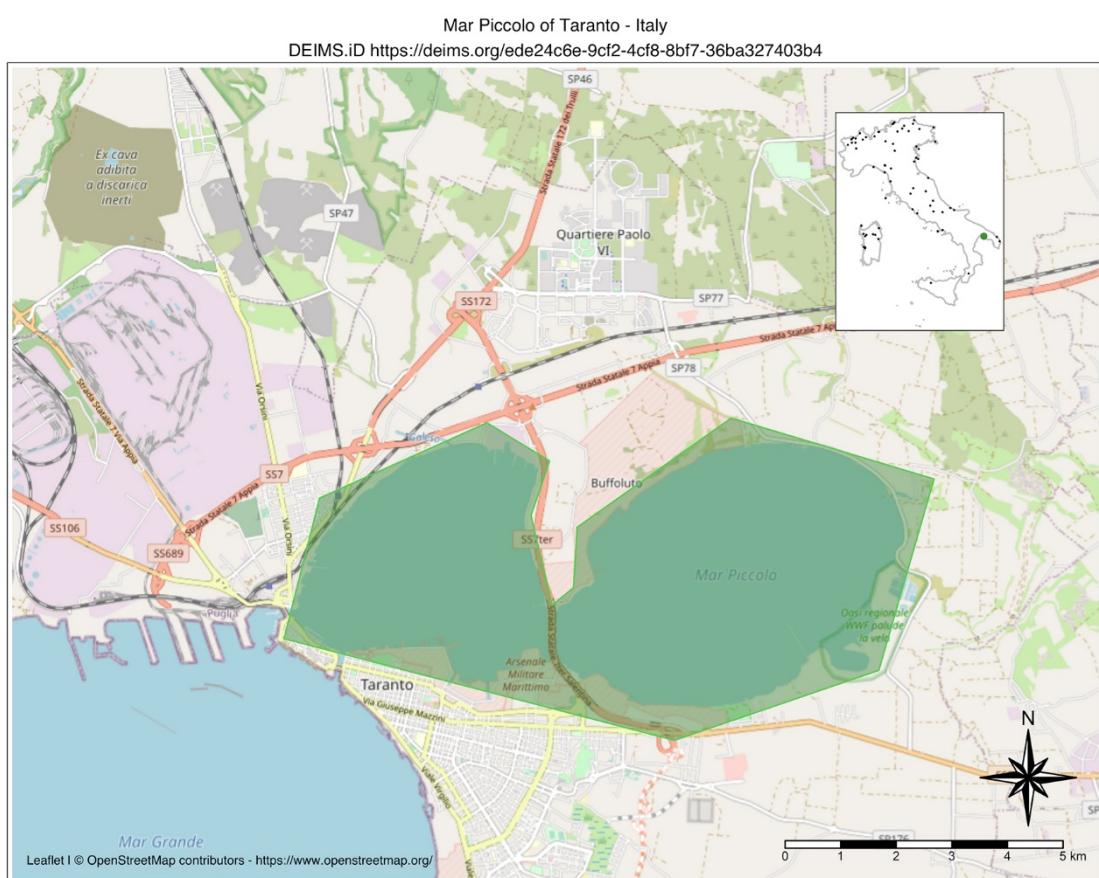
Affiliazione

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), Talassografico “A. Cerruti” Taranto, Via Roma 3, 74123 Taranto, Italy

Sigla: IT22-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/ac3f674d-2922-47f6-b1d8-2c91daa81ce1>

Responsabile Sito: Ester Cecere e Antonella Petrocelli



Descrizione del Macrosito e Sito e delle sue finalità

Il Mar Piccolo (Puglia, mare Jonio) è un bacino interno con caratteristiche lagunari, situato a Nord della città di Taranto ($40^{\circ}28'38.39''N$; $17^{\circ}16'52.32''E$), sede di attività di pesca e di sfruttamento dei



Fig. 2 - Veduta su Taranto

molluschi da tempi remoti (Caffio 2009, 2014). Tale sito, decantato sin dall'antichità per le sue bellezze naturalistiche (Caffio 2014), è da lungo tempo oggetto di studi scientifici, data l'importanza che ha sempre avuto nel contesto socio-economico della stessa città (Parenzan 1960; Pastore 1993; Cecere e Petrocelli 2009). Le prime informazioni documentate riguardano gli organismi viventi nel bacino e risalgono alla prima metà dell'800 (Costa 1844).

Tuttavia, è solo agli inizi del '900 che si ebbe

l'impulso verso studi riguardanti sia l'ambiente abiotico sia quello biotico. Infatti, nel 1914, fu fondato il Regio Istituto Demaniale di Biologia Marina, deputato al controllo e allo sviluppo delle attività di molluschicoltura e guidato dal professor Attilio Cerruti (Lo Giudice 1913; Cerruti 1925, 1938a, 1938b). I dati relativi alle variabili chimico-fisiche dell'acqua di mare, ovvero temperatura, salinità, ossigeno dissolto furono i primi disponibili (Cerruti 1925). Agli stessi anni risalgono anche le prime informazioni sui popolamenti fitobentonici del Mar Piccolo, grazie alle osservazioni condotte dalla professoressa Irma Pierpaoli, un'algologa marchigiana, insegnante a Taranto (Pierpaoli 1923; Cecere 2010). Molti degli esemplari di macroalghe raccolte lungo le coste del bacino furono essiccati dalla stessa Pierpaoli, talvolta anche dettagliatamente disegnati e colorati, e inseriti in un erbario, oggi denominato "Irma Pierpaoli" e conservato presso il Museo di Biologia Marina di Porto Cesareo (Cecere e Saracino 1999; Miglietta *et al.* 2017).

Nel tempo, l'Istituto Demaniale è progressivamente divenuto una struttura scientifica multidisciplinare, oggi Sede Secondaria dell'Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA) del CNR, nota a Taranto come Istituto Talassografico "A. Cerruti". Pertanto, a partire dalla seconda metà del '900, la conoscenza sulla struttura e la funzionalità del bacino si è notevolmente ampliata. Gli studi di oceanografia sono stati estesi anche ad altre variabili (es. nutrienti, clorofilla, particellato sospeso etc.) (Vatova 1972a, 1972b; Strusi and Pastore 1975; Alabiso *et al.* 1997, 2000; Matarrese *et al.* 2004; Alabiso *et al.* 2005, 2006; Umgieser *et al.* 2007; De Vittor 2016; Kralj *et al.* 2016). Ad oggi, sono disponibili diverse serie storiche di dati sui principali parametri chimico-fisici, ovvero alcune serie frammentarie risalenti agli inizi e alla seconda metà del secolo scorso, dati raccolti con continuità a cadenza quindicinale dagli inizi degli anni '90 fino al 2008, e dati raccolti con ritmo stagionale fino al 2009. Successivamente, i dati sono stati raccolti saltuariamente nell'ambito di progetti di ricerca specifici. Dal 2005, in quattro stazioni fisse (2 nel Primo e 2 nel Secondo Seno) ad 1 m di profondità, è immerso un data logger per la misurazione in continuo della temperatura.

Nel 1986, raccogliendo il testimone lasciato dalla professoressa Pierpaoli, è stato avviato lo studio sistematico dei popolamenti macrofitobentonici del bacino da un punto di vista floristico e vegetazionale (Cecere *et al.* 1991; Cecere *et al.* 1992). Questa attività, oggi condotta con cadenza stagionale in 5 stazioni del Mar Piccolo (2 nel Primo Seno e 3 nel Secondo Seno) (Cecere e Petrocelli 2009; Petrocelli *et al.* 2014), ha consentito la creazione di un database di dati qualitativi e quantitativi, ai quali si aggiunge l'Erbario “TAR” (http://sweetgum.nybg.org/science/ih/herbarium_details.php?im=124336), che conserva diverse centinaia di *exsicata* di macrofite raccolte prevalentemente nel Mar Piccolo a partire dalla fine degli anni '80 (Cecere e Petrocelli 1999). Questo, insieme all'erbario “Irma Pierapoli”, rappresenta una serie storica quasi centenaria di dati sul macrofitobenthos del bacino.

Più recente è la conoscenza della componente microfitobentonica. In questo ambito, sono risultati di particolare importanza:

- l'analisi della dinamica degli stadi di resistenza nei sedimenti, ovvero di stadi letargici degli organismi del plancton, comunemente chiamati cisti (Rubino *et al.* 1996; Rubino *et al.* 2016; Ferraro *et al.* 2017). A tal proposito, tre studi annuali, condotti tra il 1996-1997 (Rubino *et al.* 1996, 1998) e il 2010-2011 (Belmonte 2012) con l'utilizzo di trappole per sedimento, hanno permesso di monitorare la produzione di cisti e quindi la dinamica temporale di incistamento;
- lo studio di microalge potenzialmente tossiche (es. *Ostreopsis ovata*) (Caroppo e Bisci 2010).

Per quanto riguarda lo zoobenthos, una prima breve nota su alcuni molluschi risale alla seconda metà dell'800 (Costa 1844). Successivamente, furono pubblicati i risultati di alcune ricerche condotte sui molluschi più rappresentativi del bacino, come ad esempio *Pinna nobilis* e *Ostrea edulis* (Cerruti 1938c, 1939, 1941). Studi sulla biodiversità animale sono stati avviati nella seconda metà del secolo scorso, prevalentemente sulle comunità fouling, e continuano tuttora, seppure non continuativamente (Tursi *et al.* 1974; Parenzan 1977; Tortorici e Panetta 1977; Prato *et al.* 1995; Longo *et al.* 2004; Prato e Biandolino 2005; Pierri *et al.* 2010). Ulteriori informazioni sui popolamenti zoobentonici sono derivate da mappe biocenotiche (Pastore 1993; Matarrese *et al.* 2004).

Anche per quanto concerne la componente microzoobentonica del Mar Piccolo, i primi studi hanno riguardato gli stadi di incistamento bentonici dello zooplancton (Belmonte *et al.* 1997; Rubino *et al.* 1996). Più recentemente, il campo di indagine è stato ampliato all'individuazione di foraminiferi ed ostracodi (Ferraro *et al.* 2017).

Le prime informazioni sul fitoplancton risalgono alla fine degli anni '50 (De Angelis e Della Valle 1959) e sono rimaste frammentarie e occasionali sino alla seconda metà degli anni '90 (Caroppo e Cardellichio 1995; Caroppo 1996; Rubino *et al.* 1996; Saracino 1996). Successivamente, seppure in maniera discontinua, è stata avviata la raccolta di dati sulle comunità fitoplanctoniche del Mar Piccolo, inclusi i cianobatteri, anche in rapporto alla loro importanza per le attività di mitilicoltura (Caroppo e Fiocca 2005; Caroppo *et al.* 2006; Caroppo e Stabili 2007; Caroppo *et al.* 2013, 2015; Karuza *et al.* 2016). Più recentemente, a partire da maggio 2018, nell'ambito del progetto Horizon 2020 CyanoAlert (H2020-EO-2016, Earth Observation; proposal number 730141), sono stati avviati campionamenti di pico-, nano e microfitoplancton (Caroppo C. *in verbis*).

Relativamente allo zooplancton, i primi studi risalgono agli inizi degli anni '90 e sono stati piuttosto frammentari nel tempo (Belmonte *et al.* 2013).

Scarsi sono i dati sul necton, limitati ad una campagna annuale 2008-2009 sui giovanili delle specie di Mugilidi di interesse commerciale (Prato e Biandolino in Anastasopoulou *et al.* 2016).

Gli studi sulle comunità micrliche del Mar Piccolo hanno avuto inizio negli anni '90, incentrati sugli indicatori di inquinamento (Cavallo *et al.* 1994, 1996, 1999). Successivamente, l'interesse si è focalizzato sui vibrioni, elementi della flora batterica acquatica autoctona marina, molti dei quali sono risultati patogeni poiché responsabili di infezioni nell'uomo o in animali acquatici (Cavallo e Stabili 2002; Narracci *et al.* 2014). La loro abbondanza è stata valutata sia nella matrice acquosa sia nei sedimenti, che

rappresentano un serbatoio di microrganismi, da cui possono poi diffondere nell'ambiente circostante (Cavallo e Stabili 2002; Zacccone *et al.* 2005; Cavallo *et al.* 2009; Cavallo *et al.* 2012; Quero *et al.* 2015).

A partire dagli inizi del 2000, il Mar Piccolo è stato approfonditamente studiato anche per quello che riguarda la presenza e l'impatto di metalli pesanti (Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni and V), IPA e PCB nei sedimenti e nei molluschi eduli (Lerario *et al.* 2003; Cardellicchio *et al.* 2007; Petronio *et al.* 2012; Spada 2012; Cardellicchio *et al.* 2016; Giandomenico *et al.* 2016).

Inoltre, negli ultimi anni, per la stima della qualità ambientale di acqua e sedimenti del Mar Piccolo di Taranto, sono stati avviati studi ecotossicologici con test di tossicità acuta e cronica, che sono parte integrante del biomonitoraggio, e consentono di verificare gli effetti indesiderati derivanti dall'immissione nell'ambiente di una singola sostanza o di una miscela di sostanze. Nel lungo termine, la capacità di determinare se un organismo sia stato esposto in modo significativo ad una sostanza tossica rappresenta un importante strumento per gli organi decisionali nella gestione del rischio. A tal fine, per restituire un quadro più realistico ed affidabile della qualità della matrice indagata, è stata presa in considerazione una batteria di test che impiega organismi appartenenti a differenti livelli trofici (batteri bio-luminescenti, microalghe, rotiferi, crostacei, molluschi) (Prato *et al.* 2006; Annicchiarico *et al.* 2007; Narracci *et al.* 2009; Prato *et al.* 2011, 2012), e, a seconda della tipologia dell'organismo, sono stati misurati diversi tipi di "endpoints" (ad es. mortalità, alterazione di funzioni fisiologiche essenziali quali fecondazione, schiusa delle uova, bioluminescenza, crescita, motilità, ecc.) (Prato *et al.* 2013; Costa *et al.* 2016).

Il Mar Piccolo di Taranto è sede storica dell'allevamento di *Mytilus galloprovincialis*, un'attività socio-economica rilevante. Inoltre, fino agli inizi del secolo scorso era praticato anche l'allevamento dell'ostrica piatta *Ostrea edulis*, anch'esso con tradizioni che si fanno risalire al 90 a.C. (Fanelli e Portacci 2009). Le prime informazioni documentate sull'andamento di queste attività risalgono agli anni che precedettero la Prima Guerra Mondiale, quando l'ostricoltura prevaleva sulla mitilicoltura. In concomitanza con il conflitto, le produzioni subirono una drastica riduzione a causa sia di cattive forme di gestione sia degli impatti generati dall'avvento dell'industria navale bellica, che portò al cambio della destinazione d'uso del Mar Piccolo (Mazzarelli 1913). Durante la Guerra, la situazione peggiorò

ulteriormente non solo in seguito all'esplosione della corazzata Leonardo Da Vinci, avvenuta il 2 agosto 1916, ma anche per la penuria di operatori, richiamati al fronte. Alla fine del conflitto, la produzione delle ostriche era diventata nettamente inferiore a quella dei mitili (Alemanno 1925), dal momento che l'ostricoltura esigeva condizioni ecologiche migliori e una maggiore manutenzione rispetto alla più rustica mitilicoltura. Il continuo peggioramento delle condizioni ambientali

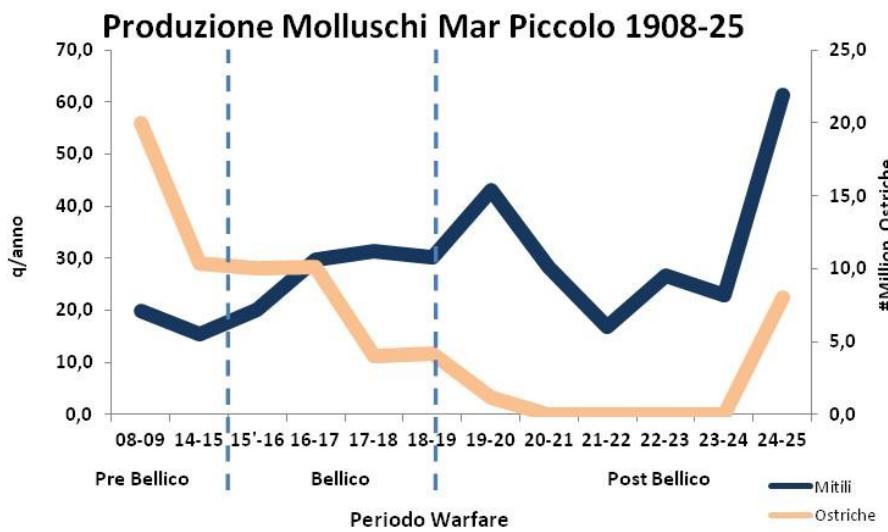


Fig. 3 - Andamento della produzione di ostriche e mitili nel Mar Piccolo nel periodo 1908-1925 (da Caroppo e Portacci 2017)

condusse al declino anche delle produzioni mitiliche. Tuttavia, nei primi anni degli anni '20, a seguito dell'eliminazione delle cause di inquinamento bellico e dell'avvio di nuove e fondamentali forme di gestione, ci fu una ripresa della mitilicoltura. Nel periodo 1924-25, la produzione totale dei mitili a Taranto fu di circa 60.000 q, la massima mai ottenuta fino ad allora (Fig. 3) (Caroppo & Portacci 2017).

Successivamente, l'ostricoltura è completamente scomparsa dal Mar Piccolo, mentre la mitilicoltura ha visto periodi di produzioni fiorenti alternati a periodi di profonda crisi, legati a diversi avvenimenti (es. Seconda Guerra Mondiale, epidemia di colera). Negli ultimi decenni, le crescenti pressioni antropiche e il cambiamento climatico hanno provocato il deterioramento della qualità dei mitili prodotti. In particolare, nel 2011, a causa delle concentrazioni elevate di PCB e Diossina, superiori ai limiti imposti dal Regolamento UE 1259/2011, riscontrate nei mitili allevati nel Primo Seno (Di Leo 2014), l'Autorità Sanitaria Locale ha proibito la commercializzazione e la movimentazione di bivalvi prelevati in questa area (Ordinanza 1989/2011). Pertanto, a partire dal 2004, è stata analizzata la qualità dei mitili attraverso la misurazione della lunghezza e del peso secco della conchiglia, del peso secco della polpa, e il calcolo dell'indice di condizione, ovvero una misura del riempimento della conchiglia da parte dei tessuti molli dell'animale. La rilevazione è stata effettuata annualmente nel periodo di massima commercializzazione per gli anni 2004-2012, e almeno due volte l'anno nel periodo 2013-2018.

Inoltre, la collaborazione con altre realtà scientifiche, quali le Università limitrofe (UniBA e UniSalento), ha consentito di approfondire ulteriormente le conoscenze sul Mar Piccolo, ad esempio con studi di correntometria e geologia (Lisco *et al.* 2016; Zuffianò *et al.* 2016; Armenio *et al.* 2017).

Il Mar Piccolo di Taranto, per la presenza di dati storici e per la grande quantità di forzanti antropiche, è stato uno dei 18 siti di studio scelti nell'ambito del progetto europeo SPICOSA (2007-2011) (www.spicosa.eu), per l'applicazione della metodologia SAF (System Approach Framework) e l'elaborazione di interventi politici miranti alla gestione sostenibile della zona costiera (Caroppo *et al.* 2011, 2012).

Anche il progetto bandiera RITMARE (2012-2016) (www.ritmare.it) ha visto il Mar Piccolo come uno degli ecosistemi target, data la forte pressione antropica (Cardelluccio *et al.* 2016). A tal fine, un numero speciale della rivista Environmental Science and Pollution Research (Integrated environmental characterization of the contaminated marine coastal area of Taranto, Ionian Sea (southern Italy) – the RITMARE Project, Volume 23, issue 13) è stato dedicato all'area di Taranto, con numerosi contributi sul Mar Piccolo.

Al fine di fronteggiare e superare la grave criticità ambientale e sanitaria che a tutt'oggi persiste nel Mar Piccolo di Taranto, nel 2012, è stato nominato un Commissario Straordinario per gli interventi urgenti per la bonifica, l'ambientalizzazione e la riqualificazione dell'area di Taranto, che è inclusa tra i siti di interesse nazionale dal 1998 (L. 426/98). Sono state così avviate numerose attività sulle acque e sulle coste del bacino, che vedono coinvolte unità di ricerca del CNR-IRSA di Bari e Taranto e dell'Università di Bari, ovvero indagini interdisciplinari volte a valutare il reale rischio ambientale ed ecologico dell'area, a localizzare le fonti di contaminazione ancora esistenti e ad individuare le migliori soluzioni per la bonifica e il risanamento dei sedimenti contaminati. Tra le attività messe in atto, e per la maggior parte ancora in corso, vi sono: l'analisi delle biocenosi bentoniche e delle specie protette; l'individuazione e rimozione dei materiali di natura antropica presenti sul fondale, inclusi i residui bellici; il censimento degli scarichi abusivi; l'analisi geomorfologica dei fondali; la caratterizzazione chimica, geochimica, fisica, idromeccanica, microbiologica ed ecotossicologica dei sedimenti inquinati; l'analisi e valutazione di qualità e portata delle acque dei Citri; (www.commissariobonificataranto.it).

Nel 2017, è stato avviato il Progetto “A New Life for Mar Piccolo” (LIFE14 ENV/IT/000461) che attraverso la realizzazione di un impianto pilota innovativo di filtrazione, ha l'obiettivo di verificare la possibilità di bonificare i sedimenti e le acque di alcune zone del Mar Piccolo, particolarmente ricche di inquinanti (www.lifemarpiccolo.it)

Risultati

La presenza di serie storiche di dati ha permesso di mettere in evidenza i cambiamenti occorsi nel Mar Piccolo su lunghi periodi di tempo (Cecere *et al.* 2011). Ad esempio, l'esame dei dati di temperatura dell'acqua nel periodo 1996-2017 ha mostrato una tendenza significativa all'aumento di circa 1°C dei valori medi annuali (Cecere *et al.* 2016a; Alabiso G. *in verbis*). Inoltre, la presenza di dati antecedenti la

chiusura degli scarichi fognari, avvenuta a partire dal 2000 (Caroppo *et al.* 2010), ha consentito di valutarne gli effetti benefici a poco più di 10 anni. Infatti, misurazioni effettuate negli anni 2013 e 2014 nell'ambito del Progetto RITMARE, confrontate con quelle disponibili risalenti al periodo 1991-2009, hanno mostrato un incremento significativo dei valori di salinità superficiale e un decremento significativo della concentrazione dei nutrienti (Kralj *et al.* 2016). Notevoli e vari sono stati i cambiamenti osservati, nell'arco di circa un secolo, anche nella biodiversità del fitobenthos e nella struttura dei popolamenti (Cecere *et al.* 1991; Cecere *et al.* 1992; Petrocelli *et al.* 2014, 2019). Tra quelli più significativi, si può evidenziare:

1. la ricomparsa negli ultimi anni di specie, soprattutto di alghe brune, segnalate negli anni '20 e non ritrovate negli anni '80 e '90, quando lo sversamento dei liquami nel Mar Piccolo era sostenuto (es. *Padina pavonica*) (Fig. 4);
2. la comparsa, con un trend in continua crescita, di specie non-indigene, introdotte principalmente con l'importazione dei molluschi eduli, incrementata notevolmente negli ultimi anni a causa della carenza di prodotti locali (Petrocelli *et al.* 2013; Cecere *et al.* 2016b);
3. l'aumento in densità delle praterie di *Cymodocea nodosa*, una fanerogama presente nel Primo Seno con chiazze molto rade fino agli inizi del 2000, e oggi ampiamente diffusa in entrambe i Seni, con fiori e frutti (Fig. 5);
4. la riduzione delle biomasse di macroalghe pleustofitiche, molto abbondanti in ambienti con un elevato carico eutrofico.



Fig. 4 - L'alga bruna *Padina pavonica*



Fig. 5 - La fanerogama *Cymodocea nodosa*

Gli studi sugli stadi di incistamento degli organismi del fitoplancton hanno portato all'individuazione di un numero di morfotipi superiore a 100 e di densità che vanno fino a circa 2000 cisti per grammo di sedimento secco, che corrispondono a milioni di cisti per metro quadro di sedimento (Rubino *et al.* 1996, 1998; Belmonte 2012; Ferraro *et al.* 2017). Questi numeri sono la prova che la dinamica di incistamento ed excistamento è un meccanismo importante che regola il funzionamento del plancton nel Mar Piccolo. Nel corso dei 20 anni di studio, ci sono stati cambiamenti nella struttura delle comunità. Per molte specie sono state osservate sensibili variazioni nelle loro densità, ma soprattutto sta cambiando la composizione specifica. Alcune specie prima assenti da alcuni anni si osservano costantemente e questo può essere dovuto alle accresciute competenze acquisite dal punto di vista tassonomico durante gli anni, ma altre specie sono scomparse e questo è sicuramente un segno di cambiamento. Le cause possono essere cercate nell'aumento della temperatura dell'acqua, ma anche nella chiusura di molti scarichi, in particolare dei reflui urbani nel Primo Seno che hanno alterato lo stato trofico del bacino (Ferraro *et al.* 2017; Morabito *et al.* 2018).

Anche il confronto tra i dati di fitoplancton pregressi alla chiusura degli scarichi e quelli raccolti in due anni di campagne nell'ambito del Progetto RITMARE ha mostrato un cambiamento notevole a carico delle comunità del Mar Piccolo, sia in termini di abbondanza sia di composizione specifica (Caroppo *et al.* 2016). In un arco di tempo di circa 25 anni, il nanoplancton è diventato dominante sul microplancton, e ben 25 taxa non-indigeni sono stati introdotti nel bacino (Caroppo *et al.* 2016).

Per lo zooplancton, in seguito agli studi compiuti nel 2004-2006 (Belmonte *et al.* 2013), a paragone di quelli del 1990-1991 (Belmonte *et al.* 2001), si è osservato un ricambio notevole dei taxa presenti nel sistema, risultante con un arricchimento della lista di specie. Questo, verificato su ampi lassi temporali, per quanto soggetto ad eventuali cambiamenti climatici in corso, è stato interpretato come conseguenza di un periodo più consono a dare modo alla biodiversità potenziale e inespressa del sistema (dovuta alle forme di resistenza latenti presenti nel sedimento) di essere meglio percepita (non tutti i protagonisti entrano in gioco ogni anno, e molto tempo è necessario per stimarne la presenza in colonna d'acqua). Per quanto riguarda i pattern stagionali, è sempre stato evidente un picco di abbondanze numeriche in autunno a carico di taxa autunnali (Tintinnida, Longipedia, Spionidae) (Belmonte *et al.* 2013). Il sistema è relativamente stressato e presenta variazioni cospicue delle condizioni ambientali non solo stagionali ma anche di periodo più breve. La caratteristica saliente del popolamento è quello di accogliere organismi dalle dimensioni minime, con breve ciclo vitale (o con la sospensione temporanea degli stessi) in grado di ovviare all'instabilità delle condizioni ambientali e all'arrivo imprevisto di condizioni sfavorevoli.

Gli studi sulla componente batterica del Mar Piccolo, seppure non condotti continuativamente, hanno mostrato che: 1. in un arco temporale superiore ai 10 anni, i popolamenti degli indicatori di inquinamento fecale hanno subito una drastica riduzione, soprattutto a seguito della chiusura degli scarichi (Cavallo *et al.* 1999; Cavallo *et al.* 2011); 2. delle specie potenzialmente patogene, quattro sono presenti nei sedimenti (*Vibrio parahaemolyticus*, *V. vulnificus*, *V. fluvialis* e *V. alginolyticus*); tra queste *V. alginolyticus* è stato riscontrato in tutte le stazioni scelte, *V. parahaemolyticus* nella maggior parte di quelle localizzate nel Primo Seno del Mar Piccolo. Più occasionale è stata la presenza di *V. vulnificus* e di *V. fluvialis*. Nell'acqua di mare, è stata osservata la presenza delle stesse specie, in particolare *V. alginolyticus* è quello che ha registrato la maggiore abbondanza.

Gli studi ecotossicologici hanno mostrato una diversa sensibilità degli organismi test utilizzati e le risposte biologiche hanno evidenziato una tossicità elevata, in alcune zone del Primo Seno del Mar Piccolo (Narracci *et al.* 2009).

L'elevata urbanizzazione, nonché le attività industriali, portuali e cantieristiche dell'area di Taranto, hanno influenzato pesantemente l'ambiente marino del Mar Piccolo negli anni. Attualmente, i sedimenti risultano contaminati da diversi composti organici ed inorganici con livelli, soprattutto nel Primo Seno, spesso superiori ai limiti legislativi. Questi sedimenti, inoltre, presentano valori di potenziale redox negativi e concentrazioni elevate di solfuri derivanti dai processi di trasformazione chimica e biochimica della sostanza organica, il cui accumulo in questo bacino è favorito anche dallo scarso idrodinamismo e dalle basse profondità che lo caratterizzano (Cardellicchio *et al.* 2006, 2009; Buccolieri *et al.* 2006). La contaminazione dei sedimenti rappresenta una fonte significativa e a lungo termine di inquinanti per la colonna d'acqua e gli organismi bentonici. Diverse caratterizzazioni (ISPRA 2010; ARPA Puglia 2014) e pubblicazioni scientifiche hanno messo in evidenza la presenza di metalli quali mercurio, piombo, zinco, cadmio, etc. (Buccolieri *et al.* 2004; Calace *et al.* 2005, 2008; Cardellicchio *et al.* 2006, 2009; Petronio *et al.* 2012; Spada *et al.* 2012) e composti organici prioritari come IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) e PCB (policlorobifenili) (Lerario *et al.* 2003; Cardellicchio *et al.* 2007). Il confronto dei loro livelli con diverse linee guide internazionali (SQGs) e con studi ecotossicologici hanno mostrato, inoltre, che questi sedimenti sono potenzialmente tossici per gli organismi bentonici (Annicchiarico *et al.* 2007; Prato *et al.* 2006). Concentrazioni considerevoli di metalli e composti organici, soprattutto clorurati, sono stati determinati in organismi acquatici appartenenti a diversi livelli della catena trofica con conseguente rischio anche per la salute umana (Cardellicchio *et al.* 2010; Giandomenico *et al.* 2016; Spada *et al.* 2012). I primi risultati derivanti da questi studi hanno confermato uno stato di contaminazione generalizzato dei sedimenti superficiali e costieri attribuibili soprattutto ad attività portuali e cantieristiche pregresse (Di Leo A. e Giandomenico S. *in verbis*).

L'andamento dell'indice di condizione dei mitili nel periodo 2004-2018 ha avuto un andamento oscillante. Un primo decremento è stato misurato nel triennio 2005-2007, in concomitanza con la chiusura degli scarichi urbani, che ha portato ad una riduzione degli apporti organici (Caroppo *et al.*

2012). Successivamente, si è registrato un aumento dell'indice nel periodo 2010-2011, che si è mantenuto pressoché stabile sino al 2015, quando le acque del bacino hanno raggiunto temperature elevate per diversi giorni durante l'estate, causando la moria diffusa dei giovanili. Lo stesso fenomeno è stato registrato nella primavera 2016 e nell'estate 2017 (Fig. 6). La qualità dei mitili prodotti nei periodi successivi alle ondate di calore è risultata la migliore degli ultimi 10 anni (Portacci G. *in verbis*).

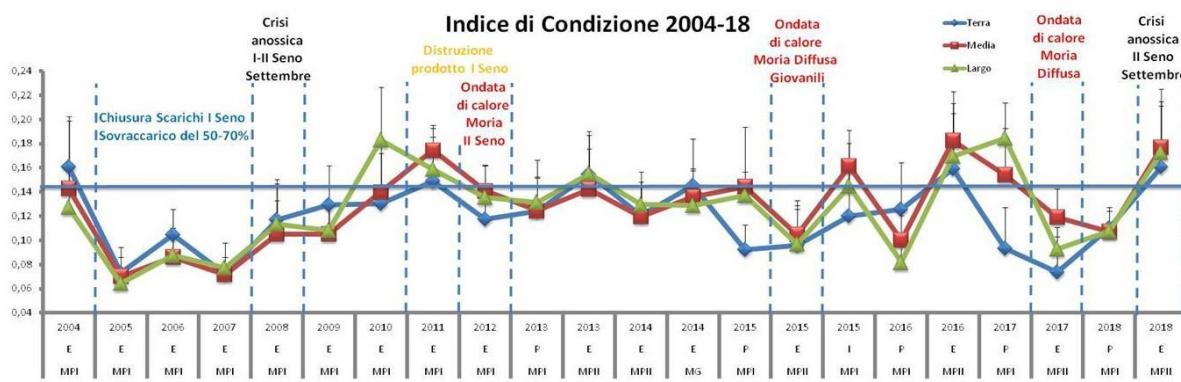


Fig. 6 - Indice di Condizione (Peso Secco Polpa/Peso Secco Conchiglia) Mitili di Taranto 2004-2018. Siti di campionamento: MPI Mar Piccolo Primo Seno, MPII Mar Piccolo Secondo Seno, MG Mar Grande. Stagione di campionamento: E Estate, P Primavera, I Inverno

La comprensione e l'apprezzamento delle peculiarità e della rilevanza del Mar Piccolo si sono manifestati, in tempi passati, con una stretta regolamentazione delle attività produttive, documentabile a partire dalla seconda metà del '400 sino alla seconda metà dell'800 (Caffio 20091; Pastore 2009). Successivamente, però, a livello istituzionale poco è stato fatto affinché questo ecosistema fosse preservato. Risale al 2000 il primo tentativo moderno di un recupero ecologico e produttivo, volto a una gestione eco-compatibile del bacino, il “Progetto POSIDONIA”, promosso dal Comune di Taranto e inserito nel Programma TERRA, una serie di azioni finanziate dalla Comunità Europea e concepite come laboratori per sperimentare nuove strategie e metodologie di assetto del territorio, finalizzate a trovare soluzioni innovative nel campo della pianificazione territoriale delle zone costiere in cinque dei più famosi porti del Mediterraneo, tra i quali Taranto, dove il Mar Piccolo fu scelto come “arena sperimentale” per mettere a punto un “Piano Particolareggiato” (Fanelli G. *in verbis*). Alla fine delle attività di sintesi ed organizzazione delle conoscenze disponibili su componenti dell'ecosistema (fattori abiotici e fattori biotici), aspetti produttivi, fonti di impatto antropico ed emergenze naturalistiche, è stata proposta una serie di interventi per il recupero naturalistico e produttivo del Mar Piccolo, che però non sono mai stati implementati (Fanelli 2001).

Divulgazione

Negli ultimi tempi, è diventato sempre più significativo il coinvolgimento della popolazione attraverso la divulgazione dei risultati della ricerca con un linguaggio meno rigoroso rispetto a quello della pubblicazione scientifica. A tal proposito, sono stati organizzati numerosi eventi divulgativi, spesso associati a particolari progetti di ricerca. In occasione del 90° anniversario della fondazione dell'Istituto Talassografico “A. Cerruti”, nel 2004, il convegno “Il Mar Piccolo di Taranto: un ambiente da proteggere e valorizzare”, è stata una prima occasione di mostrare anche ad un pubblico di non addetti ai lavori le ricerche che si conducevano, spiegandone le finalità. Nel 2009, l'International Propeller Club di Taranto ha dedicato al Mar Piccolo la giornata “Proposta per l'istituzione di un'Area Marina Protetta nel Mar Piccolo di Taranto” con vari professionisti, e l'intervento “Il Mar Piccolo di Taranto: un ecosistema da gestire o da lasciare alla deriva?” è stato il contributo dei ricercatori del CNR di Taranto. Nel 2011, il convegno di studi “Il Recupero Ambientale e Produttivo del Mar Piccolo – Idee e Proposte per un Percorso Condiviso”, promosso dal CNR-IAMC di Taranto, con il Comune di

Taranto e il Polo Scientifico Tecnologico “Magna Grecia”, si è posto l’obiettivo di individuare le strategie per il rilancio produttivo del bacino sulla base di idee e proposte provenienti dagli studiosi operanti sul sistema da decenni. Nel 2013, il Convegno di Studi “Il Progetto RITMARE per il Risanoamento del Mar Piccolo di Taranto” ha mostrato alla cittadinanza i risultati ottenuti dai ricercatori nelle varie discipline nell’ambito del Progetto Bandiera. Nel maggio 2018, la Tavola Rotonda “La protezione dei mari di Taranto” ha dato ampio spazio alla discussione sul Mar Piccolo con due interventi: “La bonifica e l’ambientalizzazione per la sostenibilità del Mar Piccolo” (staff del Commissario Straordinario) e “Valorizzazione economica e protezione ambientale del Mar Piccolo: due facce della stessa medaglia? (Fanelli G.).

Prospettive future

Ad oggi, le prospettive sono cambiate; nell’ottobre 2018, in virtù dell’importanza socio-economica riconosciuta ancora una volta al Mar Piccolo di Taranto, il Commissario Straordinario per le bonifiche e il Prefetto di Taranto hanno promosso la costituzione di “una struttura operativa di tipo volontario e sussidiario che ha l’obiettivo di sostenere le azioni di rigenerazione e riqualificazione del Sistema Mar Piccolo” denominato ”Osservatorio Galene” (www.commissariobonificataranto.it). Questo avrà il compito di promuovere la sostenibilità del bacino da un punto di vista ambientale, sociale ed economico. Pertanto, sarà auspicabile la partecipazione del maggior numero di attori operanti sul territorio nell’ambito di Istituzioni, Enti di Ricerca, imprese, associazioni ambientaliste.

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Alabiso G., Cannalire M., Ghionda D., Milillo M., Leone G., Caciorgna O. (1997). Particulate matter and chemical-physical conditions of an inner sea: the Mar Piccolo in Taranto. A new statistical approach. *Mar. Chem.* 58: 373-338.
- Anastasopoulou A., Biandolino F., Chatzispyrou A., Hemida F., Guijarro B., Kousteni V., Mytilineou Ch., Pattoura P., Prato E. (2016). New Fisheries-related data from the Mediterranean Sea (November, 2016). *Mediterr. Mar. Sci.* 17: 822-827.
- Annicchiarico C., Biandolino F., Cardellicchio N., Di Leo A., Giandomenico S., Prato E. (2007). Predicting toxicity in marine sediment in Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy) using Sediment Quality Guidelines and a battery bioassay. *Ecotoxicology* 16: 239-246.
- Armenio E., De Serio F., Mossa M. (2017). Analysis of data characterizing tide and current fluxes in coastal basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21: 3441-3454.
- Belmonte G., Vaglio I., Rubino F., Alabiso G. (2013). Zooplankton composition along the confinement gradient of the Taranto Sea System (Ionian Sea, south-eastern Italy). *J. Mar. Syst.* 128: 222-238.
- Borfecchia F., Micheli C., Cibic T., Pignatelli V., De Cecco L., Consalvi N., Caroppo C., Rubino F., Di Poi E., Kralj M., Del Negro P. (2019). Multispectral data by the new generation of high-resolution satellite sensors for mapping phytoplankton blooms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). *Eur. J. Remote Sens.* 52(1): 400-418. DOI: 10.1080/22797254.2019.1625726.
- Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell’Atti A., Di Leo A., Maci A., Petronio B.M. (2004). Distribution and speciation of metals in surface sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Ann. Chim.* 94: 469-478.
- Buccolieri A., Buccolieri G., Cardellicchio N., Dell’Atti A., Di Leo A., Maci A. (2006). Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar. Chem.* 99: 227-235.

-
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Di Leo A., Spada L. (2006). Heavy metals in marine sediments from the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Ann. Chim. 96: 727-741.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Di Leo A., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F., Spada L. (2007). Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments from the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Mar. Pollut. Bull. 55: 451-458.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Di Leo A., Librando V., Minniti Z., Spada L. (2009). Methodological approach for metal pollution evaluation in sediments collected from the Taranto Gulf. Toxicol. Environ. Chem. 91: 1273-1290.
- Cardellicchio N., Annicchiarico C., Di Leo A., Giandomenico S., Spada L. (2016). The Mar Piccolo of Taranto: an interesting marine ecosystem for the environmental problems studies. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12495-12501.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F., Spada L. (2007). Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments from the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Mar. Pollut. Bull. 55: 451-458.
- Cardellicchio N., Covelli S., Cibic T. (2016). Integrated environmental characterization of the contaminated marine coastal area of Taranto, Ionian Sea (southern Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12491-12494.
- Caroppo C., Portacci G. (2017). The First World War in the Mar Piccolo of Taranto: First case of warfare ecology? Ocean Coast. Manag. 149: 135-147.
- Caroppo C., Cerino F., Auriemma R., Cibic T. (2016). Phytoplankton dynamics with a special emphasis on harmful algal blooms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12691-12706.
- Caroppo C., Giordano L., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Portacci G., Sclafani P., Hopkins T.S. (2012). Progress towards sustainable mussel aquaculture in Mar Piccolo, Italy. Ecol. Soc. 17: 10:1-10:19.
- Caroppo C., Turicchia S., Margheri M.C. (2006). Phytoplankton assemblages in coastal waters of the Northern Ionian Sea (eastern Mediterranean), with special reference to cyanobacteria. J. Mar. Biol. Assoc., U.K. 86: 927-937.
- Cavallo R.A., Stabili L. (2002). Presence of vibrios in seawater and *Mytilus galloprovincialis* (Lam.) from the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea). Water Res. 36: 3719-3726.
- Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Stabili L. (2009). Culturable heterotrophic bacteria in seawater and *Mytilus galloprovincialis* from a Mediterranean area (Northern Ionian Sea-Italy). Environ. Monit. Assess. 149: 465-475.
- Cavallo R.A., Rizzi C., Vozza T., Stabili L. (1999). Viable heterotrophic bacteria in water and sediment in 'Mar Piccolo' of Taranto (Ionian Sea, Italy). J. Appl. Microbiol. 86: 906-916.
- Cecere E., Saracino O.D., Fanelli M., Petrocelli A. (1992). Presence of a drifting algal bed in the Mar Piccolo basin, Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). J. Appl. Phycol. 4: 323-327.
- Cecere E., Alabiso G., Carlucci R., Petrocelli A., Verlaque M. (2016a). Fate of two invasive or potentially invasive alien seaweeds in a central Mediterranean transitional water system: failure and success. Bot. Mar. 59: 451-462.
- Cecere E., Cormaci M., Furnari G. (1991). The marine algae of Mar Piccolo, Taranto (southern Italy): a re-assessment. Bot. Mar. 34: 221-227.
- Cecere E., Petrocelli A., Belmonte M., Portacci G., Rubino F. (2016b). Activities and vectors responsible for the biological pollution in the Taranto Seas (Mediterranean Sea, southern Italy): a review. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12797-12810.
- Costa E., Piazza V., Gambardella C., Moresco R., Prato E., Biandolino F., Cassin D., Botter M., Maurizio D., D'Adamo R., Fabbrocini A., Faimali M., Garaventa F. (2016). Ecotoxicological effects

-
- of sediments from Mar Piccolo, South Italy: toxicity testing with organisms from different trophic levels. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12755-12769.
- De Vittor C., Relitti F., Kralj M., Covelli S., Emili A. (2016). Oxygen, carbon, and nutrient exchanges at the sediment-water interface in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12566-12581.
- Di Leo A., Annicchiarico C., Cardellicchio N., Giandomenico S., Conversano M., Castellano G., Basile F., Martinelli W., Scorticini G., Spada L. (2014). Monitoring of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs and seasonal variations in mussels from the Mar Grande and the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 21:13196-13207.
- Ferraro L., Rubino F., Belmonte M., Da Prato S., Greco M., Frontalini F. (2017). A multidisciplinary approach to study confined marine basins: the holobenthic and merobenthic assemblages in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Mediterranean). Mar. Biodivers. 47: 887-911.
- Giandomenico S., Cardellicchio N., Spada L., Annicchiarico C., Di Leo A. (2016). Metals and PCB levels in some edible marine organisms from the Ionian Sea: dietary intake evaluation and risk for consumers. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12596-12612.
- Giordano L., Portacci G., Caroppo C. (2019). Multidisciplinary tools for sustainable management of an ecosystem service: The case study of mussel farming in the Mar Piccolo of Taranto (Mediterranean, Ionian Sea). Ocean Coast. Manag. 176: 11-23.
- Karuza A., Caroppo C., Monti M., Camatti E., Di Poi E., Stabili L., Auriemma R., Pansera M., Cibic T., Del Negro P. (2016). 'End to end' planktonic trophic web and its implications for the mussel farms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12707-12724.
- Kralj M., De Vittor C., Comici C., Relitti F., Auriemma R., Alabiso G., Del Negro P. (2016). Recent evolution of the physical-chemical characteristics of a Site of National Interest - the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea) – and changes over the last 20 years. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12675-12690.
- Lerario V.L., Giandomenico S., Lopez L., Cardellicchio N. (2003). Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments from the Mar Piccolo of Taranto, Ionian Sea, southern Italy. Ann. Chim. 93: 397-406.
- Lisco S., Corselli C., De Giosa F., Mastronuzzi G., Moretti M., Siniscalchi A., Marchese F., Bracchi V., Tessarolo C., Tursi A. (2016). Geology of Mar Piccolo, Taranto (southern Italy): the physical basis for remediation of a polluted marine area. J. Maps. 12: 173-180.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A. *et al.* (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy network. Patterns, fluctuations, drivers. Sci. Total Environ. 627: 373-387.
- Matarrese A., Mastrototaro F., D’Onghia G., Maiorano P., Tursi A. (2004). Mapping of the benthic communities in the Taranto seas using side-scan sonar and an underwater video camera. Chem. Ecol. 20: 377-386.
- Matarrese R., De Pasquale V., Guerriero L., Morea A., Pasquariello G., Umgiesser G., Scroccaro I., Alabiso G. (2004). Comparison between remote-sensed data and in situ measurements in coastal waters: The Taranto Sea case. Chem. Ecol. 20: 225-237.
- Narracci M., Acquaviva M.I., Cavallo R.A. (2014). Mar Piccolo of Taranto: *Vibrio* biodiversity in ecotoxicology approach. Environ. Sci. Pollut. Res. 21: 2378-2385.
- Narracci M., Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Prato E., Biandolino F. (2009). A test battery approach for ecotoxicological characterization of Mar Piccolo sediments in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Environ. Monitor. Assess. 148. 307-314.
- Petrocelli A., Cecere E., Verlaque M. (2013). Alien marine macrophytes in transitional water systems: new entries and reappearances in a Mediterranean coastal basin. BioInvasions Rec. 2: 177-184.
- Petrocelli A., Rubino F., Cecere E. (2019). Successions of phytobenthos species in a Mediterranean transitional water system: the importance of long term observations. Nat. Conserv. 34: 217-246.

-
- Petronio B.M., Cardellicchio N., Calace N., Pietroletti M., Pietrantonio M., Caliandro L. (2012). Spatial and temporal heavy metal concentration (Cu, Pb, Zn, Hg, Fe, Mn, Hg) in sediments of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Italy). *Water Air Soil Pollut.* 223: 863-875.
- Pierr C., Longo C., Giangrande A. (2010). Variability of fouling communities in the Mar Piccolo of Taranto (Northern Ionian Sea, Mediterranean Sea). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 90: 159-167.
- Prato E., Biandolino F. (2005). Amphipod biodiversity of shallow water in the Taranto seas (north-western Ionian Sea). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 85: 333-338.
- Prato E., Biandolino F., Scardicchio C. (2006). Test for acute toxicity of copper, cadmium, and mercury in five marine species. *Turk. J. Zool.* 30: 285-290.
- Prato E., Biandolino F., Bisci A.P., Caroppo C. (2011). Preliminary assessment of *Ostreopsis cfr. ovata* acute toxicity by using a battery bioassay. *Chem. Ecol.* 27: 117-125.
- Prato E., Di Leo A., Biandolino F., Cardellicchio N. (2006). Sediment toxicity tests using two species of marine amphipods: *Gammarus aequicauda* and *Corophium insidiosum*. *B. Environ. Contam. Toxicol.* 76: 629-636.
- Prato E., Parlapiano I., Biandolino F. (2012). Evaluation of a bioassays battery for ecotoxicological screening of marine sediments from Ionian Sea (Mediterranean Sea, Southern Italy). *Environ. Monitor. Assess.* 184: 5225-5238.
- Prato E., Parlapiano I., Biandolino F. (2013). Sublethal effects of copper on some biological traits of the amphipod *Gammarus aequicauda* reared under laboratory conditions. *Chemosphere* 93: 1015-1022.
- Quero G.M., Cassin D., Botter M., Perini L., Luna G.M. (2015). Patterns of benthic bacterial diversity in coastal areas contaminated by heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). *Front. Microbiol.* 6: 1053:1-1053:15.
- Rubino F., Cibic T., Belmonte M., Rogelja M. (2016). Microbenthic community structure and trophic status of sediments in the Mar Piccolo of Taranto (Mediterranean, Ionian Sea). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12624-12644.
- Rubino F., Saracino O.D., Fanelli G., Belmonte G., Boero F. (1996). Plankton dynamics in the Mar Piccolo of Taranto: a pilot plan. *Plant Biosyst.* 130: 1032-1036.
- Saracino O.D. (1996). Preliminary study of summer phytoplankton in coastal waters of the Gulf of Taranto (Ionian Sea). *Plant Biosyst.* 130: 1051-1055.
- Spada L., Annicchiarico C., Cardellicchio N., Giandomenico S., Di Leo A. (2012). Mercury and methylmercury concentrations in Mediterranean seafood and surface sediments, intake evaluation and risk for consumers. *Int. J. Hygiene Environ. Health* 215: 418-426.
- Stabili L., Acquaviva M.I., Biandolino F., Cavallo R.A., De Pascali S.A., Fanizzi F.P., Narracci M., Petrocelli A., Cecere E. (2012). The lipidic extract of the seaweed *Gracilaria longissima* (Rhodophyta, Gracilariales): a potential resource for biotechnological purposes? *N. Biotechnol.* 29: 443-450.
- Umgieser G., Scroccaro I., Alabiso G. (2007). Mass exchange mechanisms in the Taranto Sea. *Transit. Waters Bull.* 1: 59-71.
- Zaccone R., Mancuso M., Modica A., Zampino D. (2005). Microbiological indicators for aquaculture impact in Mar Piccolo (Taranto, Italy). *Aquac. Int.* 13: 167-173.
- Zuffianò L.E., Basso A., Casarano D., Dragone V., Limoni P.P., Romanazzi A., Santaloia F., Polemio M. (2016). Coastal hydrogeological system of Mar Piccolo (Taranto, Italy). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12502-12514.

Riviste non ISI

- Alabiso G., Cannalire M., Milillo M., Venturelli G., Pacifico P. (2000). Carbohydrates, proteins and chlorophyll-a in the suspended matter of surface waters in the Mar Piccolo of Taranto (Gulf of Taranto, Ionian Sea). *Biol. Mar. Medit.* 7: 874-880.

-
- Alabiso G., Giacomini M., Milillo M., Ricci P. (2005). The Taranto Sea system: 8 years of chemical-physical measurements. *Biol. Mar. Medit.* 12: 369-373.
- Alabiso G., Giacomini M., Milillo M., Ricci P. (2006). Chemical-physical conditions in the Taranto Sea system from 2002 to 2004. *Biol. Mar. Medit.* 13: 1055-1058.
- Calace N., Ciardullo S., Petronio B.M., Pietrantonio M., Abbondanzo F., Campisi T., Cardellicchio N. (2005). Influence of chemical parameters (heavy metal, organic matter, sulphur and nitrogen) on toxicity of sediments from the Mar Piccolo (Taranto, Ionian Sea, Italy). *Microchem. J.* 79: 243-248.
- Cardellicchio N., Annicchiarico C., Assennato G., Blonda M., Di Leo A., Giandomenico S., Lopez L., Spada L., Ungaro N. (2010). Preliminary results of pollutants biomonitoring in coastal marine and transitional waters of Apulia Region (Southern Italy). *Fresenius Environ. Bull.* 19:1841-1847.
- Caroppo C., Cardellicchio N., Cavallo R.A. (1994). Ciclo annuale del fitoplancton nei Mari di Taranto: influenza della qualità delle acque. *Biol. Mar. Medit.* 1 (1): 201-206.
- Caroppo C. (1996). Successioni fitoplanctoniche e biodiversità nel Mar Piccolo di Taranto. *S.It.E. Atti* 17: 455-459.
- Caroppo C., Bisci A.P. (2010). First data on the benthic assemblages of harmful microalgal species in the Gulf of Taranto (Northern Ionian Sea). *Rapp. Comm. Int. Mer Méditerr.* 39: 341.
- Caroppo C., Cardellicchio N. (1995). Preliminary studies on phytoplankton communities of Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea). *Oebalia* 21: 61-76.
- Caroppo C., Fiocca A. (2005). Dinamica e biodiversità delle comunità microfitoplanctoniche nel Golfo di Taranto (Mar Ionio). *Biol. Mar. Medit.* 12: 621-624.
- Caroppo C., Stabili L. (2007). Dinamica del picoplankton e del virioplankton nel Mar Piccolo di Taranto (Mar Ionio settentrionale). *Biol. Mar. Mediterr.* 14: 374-375.
- Caroppo C., Cerino F., Cibic T. (2015). Phytoplankton assemblages and harmful algal blooms in a semi-enclosed coastal area. *Biol. Mar. Mediterr.* 22: 196-197.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Bisci A.P., Hopkins T.S. (2010). Phytoplankton communities as indicators of ecological change in the anthropogenically impacted Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea). *Biol. Mar. Medit.* 17:102-105.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P., Hopkins T.S., Marsella E. (2011). Sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project: the study case of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian, Mediterranean Sea). In: National Research Council of Italy (ed.) *Marine Research at CNR*, volume DTA/06-2011: 928-942.
- Caroppo C., Portacci G., Alabiso G. (2013). Summer harmful algal blooms (HABs) in a coastal basin devoted to the mussel culture and implication for their management. *Rapp. Comm. Int. Mer Méditerr.* 40: 377.
- Caroppo C., Portacci G., Giordano L. (2018). Produzione di serie storiche con il telerilevamento satellitare: uno strumento innovativo per la gestione sostenibile della molluschicoltura? *Biol. Mar. Mediterr.* 25: in press.
- Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Lo Noce R., Stabili L., Narracci M. (2011). Vibrionaceae e indicatori di contaminazione fecale nel Mar Piccolo di Taranto: tre anni di campionamento. *Biol. Mar. Mediterr.* 18: 380-381.
- Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Alabiso G., Milillo M., Narracci M., Stabili L. (2012). Study of aquaculture pathogenic vibrios in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). *Biol. Mar. Mediterr.* 19: 154-155.
- Cavallo R.A., Caroppo C., Stabili L., Rizzi C., Vozza T. (2000). Studio delle relazioni tra batteri eterotrofi e fitoplancton nel Mar Piccolo di Taranto. *Biol. Mar. Medit.* 7 (1): 262-264.

-
- Cavallo R.A., La Torre F., De Filippis M. (1994). Valutazione dell'inquinamento del Mar Piccolo di Taranto: parametri microbiologici ed indici biologici. *Biol. Mar. Mediterr.* 1: 271-272.
- Cavallo R.A., Latorre F., Acquaviva M.I., Montagna M.T., Mele M.S. (1996). Indicatori microbiologici di inquinamento: corrispondenza acqua-sedimenti del Mar Piccolo di Taranto. *Inquinamento* 38: 54-57.
- Cerruti A. (1925). Il Mar Piccolo e il Mar Grande di Taranto: Preliminari oceanografici. Libreria del Provveditorato generale dello stato, Rome (Italy).
- Cerruti A. (1938a). Le condizioni oceanografiche e biologiche del mar piccolo di Taranto durante l'Agosto del 1938. Istituto Poligrafico dello Stato.
- Cerruti A. (1938b). Le sorgenti sottomarine (cittri) del Mar Grande e del Mar Piccolo di Taranto. *Ann. Ist. Sup. Nav. Napoli* 7: 171-196.
- Cerruti A. (1938). Primi esperimenti di allevamento della Pinna "*Pinna nobilis L.*" nel Mar Piccolo di Taranto. Tipografia Terme.
- Cerruti A. (1939). Ulteriori notizie sull'allevamento della "*Pinna nobilis L.*" nel Mar Piccolo di Taranto. *La Ricerca Scientifica* 18: 1110-1120.
- Cerruti A. (1941). Osservazioni ed esperimenti sulle cause di distruzione delle larve d'ostrica nel Mar Piccolo e nel Mar Grande di Taranto. *Arch. Oceanogr. Limnol.* 1: 165-201.
- Caroppo C., Portacci G., Alabiso G., Giandomenico S., Odermatt D., Politi E., Philipson P., Bruno M. (in press). Harmful algal blooms in an ancient shellfish farming site: evolution of the management strategies. *Biol. Mar. Medit.*
- Costa O.G. (1844). Catalogo de' Testacei viventi nel piccolo e grande mare di Taranto, redatto sul sistema di Lamarck. *Atti R. Accad. Sci., Sez. Soc. R. Borbonica Napoli* 5: 13-66.
- De Angelis C.M., Della Valle R. (1959). Il ciclo stagionale del plancton in rapporto alle condizioni fisico-chimiche del Mar Piccolo e del Mar Grande di Taranto. *Boll. Pesca Piscicol. Idrobiol.* 14: 21-44.
- Lo Giudice P. (1913). Sulle condizioni fisico-biologiche del Mar Piccolo di Taranto, in rapporto alla mitilicoltura e alla ostricoltura, e sullo stato attuale delle zone patrimoniali di predetto mare: indagini preliminari. *Riv. Pesca Idrobiol.* 15: 135-157.
- Longo C., Scalera-Liaci L., Manuel M., Corriero G. (2004). Note sui poriferi del Mar Grande e del Mar Piccolo di Taranto (Mar Ionio). *Biol. Mar. Mediterr.* 11: 440-443.
- Mazzarelli G. (1913). Per l'industria della Molluschicoltura nel Mar Piccolo di Taranto: relazioni e studi. *Riv. Pesca Idrobiol.* 15: 135-157.
- Miglietta A.M., Petrocelli A., Cecere E. (2017). L'erbario "Irma Pierpaoli" del Museo di Biologia Marina "Pietro Parenzan", Porto Cesareo (LE). *Museol. Sci. Mem.* 17: 127-130.
- Parenzan P. (1977). Malacologia del Mar Piccolo di Taranto. *Conchiglie* 13: 121-132.
- Pierpaoli I. (1923). Prima contribuzione allo studio delle alghe nel Golfo di Taranto. *Riv. Biol.* 5: 3-19.
- Portacci G., Caroppo C. (2017). Contabilizzazione dei servizi ecosistemici: il caso della molluschicoltura nel Mar Piccolo di Taranto. *Biol. Mar. Medit.* 24(1): 67-68.
- Prato E., Pastore M., Pavia B. (1995). Il popolamento ad anfipodi del soprallitorale del Mar Piccolo di Taranto. *Thalassia Salentina* 21: 61-67.
- Rubino F., Saracino O.D., Fanelli G., Belmonte G., Miglietta A., Boero F. (1998). Life cycles and pelagos-benthos interactions. *Biol. Mar. Medit.* 5: 1-10.
- Stabili L., Caroppo C., Danovaro R. (2004). Virioplankton abundance in relationship with the pico- and phytoplankton dynamics along gradients of anthropogenic impact (Ionian Sea, Mediterranean Sea). *Biol. Mar. Medit.* 11(3): 116.
- Strusi A., Pastore M. (1975). Osservazioni idrografiche nel Mar Grande e nel Mar Piccolo di Taranto. Campagna 1970-71. *Oebalia* 1: 1-64.
- Tortorici R., Panetta P. (1977). Notizie ecologiche su alcuni opistobranchi raccolti nel Golfo di Taranto (Gastropoda). *Atti Soc Ital Sci Nat Mus Civ Stor Nat Milano* 118: 249-257.

Tursi A., Pastore M., Panetta P. (1974). Aspetti ecologici del Mar Piccolo di Taranto: Ascidie, Crostacei Decapodi e Molluschi. *Oebalia* 2: 93-117.

Vatova A. (1972a). Osservazioni fisico-chimiche periodiche nel Mar Grande e Mar Piccolo di Taranto (1962-1969). *Boll. Pesca Piscicol. Idrobiol.* 27: 43-79.

Vatova A. (1972b). La produttività delle acque del Mar Grande e del Mar Piccolo di Taranto (1962-1969). *Boll. Pesca Piscicol. Idrobiol* 27: 81-103.

Libri o capitolo di libro

Belmonte G., Castello P., Piccinni M.R., Quarta S., Rubino F., Geraci S., Boero F. (1997). Resting stages in marine sediments off the Italian coast. In: Eleftheriou A., Ansell A.D., Smith C.J. (eds), *Biology and Ecology of Shallow Coastal Waters*. Olsen and Olsen Publ., Fredensborg: 53-58.

Caffio F. (2009). Molluschicoltura a Taranto ai primi del novecento. La regolamentazione: dalle origini ad oggi. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 36-68.

Caffio F. (2014). Mari di Taranto. Il Golfo, il Mar Grande, il Mar Piccolo. Scorpione Editrice, Taranto, pp. 205.

Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P., Hopkins T.S., Marsella E. (2011). Sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project: the study case of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian, Mediterranean Sea). In: National Research Council of Italy (ed.) *Marine Research at CNR*, volume DTA/06-2011: 928-942.

Cecere E. (2010). Irma Pierpaoli, un'antesignana nell'insegnamento e nella ricerca scientifica. In: Terzulli F. (ed.) *Il Pitagora di Taranto. Un secolo di presenza sul territorio*. Tipografia La Due Mari, Taranto. pp. 339-352.

Cecere E., Petrocelli A. (1999). La collezione algologica dell'Istituto Sperimentale Talassografico "A. Cerruti" (CNR, Taranto). In: Abdelahad N. (ed.), *Il patrimonio algologico italiano (The Italian phycological patrimony)*. Officine Grafiche Borgia I.G.E.A. s.r.l., Roma, pp. 50-52.

Cecere E., Saracino O.D. (1999). L'Erbario Irma Pierpaoli (1891-1967) della Stazione di Biologia Marina di Porto Cesareo. In: Abdelahad N. (ed.), *Il patrimonio algologico italiano (The Italian phycological patrimony)*. Officine Grafiche Borgia I.G.E.A. s.r.l., Roma, p. 42.

Cecere E., Petrocelli A. (2009). The Mar Piccolo. In: Cecere E., Petrocelli A., Izzo G., Sfriso A. (eds). *Flora and vegetation of the Italian Transitional Water Systems*. Corila, Stampa Multigraf, Spinea (VE), pp. 195-227.

Fanelli G., Portacci G. (2009). L'ostricoltura tarantina: ieri, oggi e domani. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 130-155.

Parenzan P. (1960). Il Mar Piccolo di Taranto. Giovanni Semeraro editore.

Pastore M. (1993). Mar Piccolo. Nuova Editrice Apulia, Martina Franca (TA), pp. 163.

Pastore M. (2009). La lunga storia dei diritti per la molluschicoltura nei mari di Taranto. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 70-99.

Report

ARPA Puglia (2014). Mar Piccolo of Taranto. Scientific-technical report on the interaction between the environmental system and contaminants flows from primary and secondary sources. Technical Report April 2014.

-
- Belmonte M. (2012). Interazioni bento-pelagiche in ambienti marini confinati: il plancton del Mar Piccolo di Taranto. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Fondamentale XXIV Ciclo, Univ. del Salento, pp. 233.
- Caroppo C. (2007). Spicosa Project – Node 3: Study Site Application. WP 7. 14 MAR PICCOLO. http://www.spicosa.eu/taranto_mare_piccolo/index.htm.
- Caroppo C., Rubino F., Giordano L., Trono A., Forleo M., Petrocelli A., Bellio G., Colella R., Palmieri N., Sclafani P., Siano R. (2008). System Design for SSA14 Mar Piccolo of Taranto – (Southern Italy). SPICOSA PROJECT. http://spicosa.databases.euccd.de/files/documents/00000925_System20Design20SSA14_20Mar20Piccolo_V02.pdf.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Trono A., Forleo M., Bellio G., Bisci P., Palmieri N., Mirto S., Siano R. (2008). Documentation Report for Formulation Step – SSA 14 Mar Piccolo of Taranto. SPICOSA PROJECT. URL: <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3890>.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Trono A., Forleo M., Bellio G., Bisci P., Palmieri N., Ribera d'Alcalà M., Siano R. (2008). Scientific Report for Formulation Step SSA 14 - Mar Piccolo of Taranto. SPICOSA PROJECT. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3886>.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2009). Report for Appraisal Step for deliverable D7.4 short version, Spicosa Annual Report.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2010). Scientific Report for Appraisal Step for deliverable D7.4, Spicosa Annual Report. URL <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3891>.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2010). Documentation Report for Appraisal Step for deliverable D7.4 Spicosa Annual Report. URL <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3892>.
- Caroppo C., Bellio G., Giordano L., Palmieri N., Bisci A.P. (2010). Scientific Report for Output Step for Deliverable D7.4, Spicosa Annual Report. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3893>.
- Caroppo C., Bellio G., Giordano L., Palmieri N., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P. (2011). Applicazione della Metodologia SAF: Caso di Studio del Mar Piccolo di Taranto - Report finale. R. T. NO 148/ISTTA/BIOLOGIA/C.CAROPPO/ Marzo 2011.
- Caroppo C., Portacci G. (2017). Disastro ambientale nel Mar Piccolo di Taranto durante la Prima Guerra Mondiale. database CNRSOLAR identification code: 8748JA2017. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/16924>.
- Fanelli G. (2001). L'ambiente marino del Mar Piccolo di Taranto. Relazione finale per incarico di consulenza tecnico-scientifica. Programma TERRA, Progetto n. 55 POSIDONIA. Piano Particolareggiato per il recupero del Mar Piccolo, pp. 51.
- Giordano L., Caroppo C. (2012). Un modello operativo per la gestione sostenibile di impianti di mitilicoltura nel Mar Piccolo di Taranto. R. T. NO 149/ISTTA/BIOLOGIA/L.GIORDANO/ Febbraio 2012.
- ISPRA (2010). Evaluation of characterization results for the identification of appropriate actions for remediation of site of national interest of Taranto. Technical Report August 2010, pp. 90.

Lavori divulgativi

- Alemanno C. (1925). L'ostricoltura e la mitilicoltura nella provincia di Taranto. Taranto, Stab. Tipografico "Il Popolo Ionico", pp. 59.
- Bellio G., Petrocelli A., Sclafani P., Caroppo C. (2010). Taranto Mar Piccolo, Italy. Spicosa News Special 2010, Issue 2. Stakeholders engagement in practice, p. 8. (Da Google: <http://www.spicosa.eu/enews/news2010-2.pdf>).

-
- Borfecchia F., De Cecco L., Petrocelli A., Cecere E., Portacci G., Caroppo C., Cibic T., Micheli C., Pignatelli V. (2015). Il sistema satellitare polare LANDSAT 8 OLI per il monitoraggio del Mar Piccolo di Taranto. Atti 19° Confer. Nazion. ASITA, 29-30 Settembre/1 ottobre 2015 Lecco, Polo di Lecco del Politecnico Milano.
- Borfecchia F., Rubino F., Cibic T., Caroppo C., Cecere E., De Cecco L., Di Poi E., Petrocelli A., Pignatelli V. (2018). Satellite Mapping of Macro-algae and Phytoplankton communities in the MarPiccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy), a confined marine basin heavily impacted by anthropogenic activities. Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-6606-13.
- Caroppo C. (1993). Andamento del fitoplancton nel Mar Piccolo e Mar Grande di Taranto: indagine preliminare. Taranto Scienze 23-26.
- Caroppo C. (2009). Il Mar Piccolo di Taranto. In: Mellea S., Cecere E. (Eds.), *Frammenti di mare, Taranto e l'antica Molluschicoltura*, p. 42.
- Caroppo C., Odermatt D., Philipson P., Bruno M. (2017). Using Satellite Remote Sensing of Harmful Algal Blooms (HABs) in a coastal European site. Phycologia 56 (4) Supplement: S: 28-28. Meeting Abstract 54. (11th International Phycological Congress, Szczecin, Poland).
- Caroppo C. (2009). The Mar Piccolo of Taranto as a study case for the sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project. PANEL I.1 – Civil engineering and architecture, I.A.M.C., CNR, Napoli, 14 Luglio 2009.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Hopkins T.S. (2010). Initiating sustainable management of mussel culture within the multi-use environment of Mar Piccolo of Taranto, Italy. SPICOSA SAF6 and Cluster Meeting, Estoril (Portugal) 15-16th April 2010.
- Caroppo C., Ballé-Béganton J., Lample M., Bailly D. (2014). Communication strategies for sustainable management of musselculture in Mar Piccolo (Mediterranean Sea). Third International Science and policy Conference on the resilience of social & ecological systems. Montpellier, France, 4-8 May 2014.
- Caroppo C., Giordano L., Bellio G., Bisci A.P., Palmieri N., Hopkins T.S. (2010). Integrated Study for the Sustainable management of the mussel culture in the Mar Piccolo in Taranto, Italy (SSA 7.14). SPICOSA Conference, Malta 9-11 novembre 2010.
- Caroppo C., Portacci G. (2018). La molluschicoltura tarantina e la sfida di Attilio Cerruti durante la Grande Guerra. Quaderno n. 1 della Serie “Mar Piccolo e Taranto”. Centro Giustizia Pace e Integrità del creato dei Frati Minori del Salento, convento S. Pasquale di Taranto (editore). pp. 26.
- Cecere E., Acquaviva M., Alabiso G., Belmonte M., Biandolino F., Caroppo C., Cavallo R.A., Narracci M., Milillo M., Petrocelli A., Portacci G., Prato E., Ricci P., Rubino F., Stabili L. (2011). Evidenze scientifiche del recupero naturale del Mar Piccolo: qualità dell’ambiente e biodiversità. Convegno di studio “Il Recupero Ambientale e Produttivo del Mar Piccolo - Idee e Proposte per un Percorso Condiviso”, Taranto 17 novembre 2011.
- Cibic T., Auriemma R., Camatti E., Caroppo C., Cardellicchio N., De Vittor C., Franzo A., Karuza A., Rogelja M., Del Negro P. (2015). Ecosystem functioning nearby the largest steelworks in Europe and the main Italian naval base: the study case of the Mar Piccolo of Taranto. Congresso 2015 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Granada, Spain, 22-27 February 2015.
- Petrocelli A., Portacci G., Cecere E. (2014). The phylobenthos of the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy): a novel of ninety years of disappearances, new arrivals and returns. Proc. Annu. Meet. Ital. Phcol. Group, 14-15 November 2014, Padova, Italy, p. 20.
- Portacci G., Caroppo C. (2019). Taranto, 2 agosto 1916: storia di un disastro ambientale. L’esplosione della nave Leonardo da Vinci. Quaderno n. 2 della Serie “Mar Piccolo e Taranto”. Centro Giustizia Pace e Integrità del creato dei Frati Minori del Salento, convento S. Pasquale di Taranto (editore). pp. 30.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Anastasopoulou A., Biandolino F., Chatzispyrou A., Hemida F., Guijarro B., Kousteni V., Mytilineou Ch., Pattoura P., Prato E. (2016). New Fisheries-related data from the Mediterranean Sea (November, 2016). *Mediterr. Mar. Sci.* 17: 822-827.
- Annicchiarico C., Biandolino F., Cardellicchio N., Di Leo A., Giandomenico S., Prato E. (2007). Predicting toxicity in marine sediment in Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy) using Sediment Quality Guidelines and a battery bioassay. *Ecotoxicology* 16: 239-246.
- Belmonte G., Vaglio I., Rubino F., Alabiso G. (2013). Zooplankton composition along the confinement gradient of the Taranto Sea System (Ionian Sea, south-eastern Italy). *J. Mar. Syst.* 128: 222-238.
- Borfecchia F., Micheli C., Cibic T., Pignatelli V., De Cecco L., Consalvi N., Caroppo C., Rubino F., Di Poi E., Kralj M., Del Negro P. (2019). Multispectral data by the new generation of high-resolution satellite sensors for mapping phytoplankton blooms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). *Eur. J. Remote Sens.* 52(1): 400-418. DOI: 10.1080/22797254.2019.1625726.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Di Leo A., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F., Spada L. (2007). Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments from the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar. Pollut. Bull.* 55: 451-458.
- Cardellicchio N., Buccolieri A., Di Leo A., Librando V., Minniti Z., Spada L. (2009). Methodological approach for metal pollution evaluation in sediments collected from the Taranto Gulf. *Toxicol. Environ. Chem.* 91: 1273-1290.
- Cardellicchio N., Annicchiarico C., Di Leo A., Giandomenico S., Spada L. (2016). The Mar Piccolo of Taranto: an interesting marine ecosystem for the environmental problems studies. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12495-12501.
- Cardellicchio N., Covelli S., Cibic T. (2016). Integrated environmental characterization of the contaminated marine coastal area of Taranto, Ionian Sea (southern Italy). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12491-12494.
- Caroppo C., Portacci G. (2017). The First World War in the Mar Piccolo of Taranto: First case of warfare ecology? *Ocean Coast. Manag.* 149: 135-147.
- Caroppo C., Cerino F., Auriemma R., Cibic T. (2016). Phytoplankton dynamics with a special emphasis on harmful algal blooms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12691-12706.
- Caroppo C., Giordano L., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Portacci G., Sclafani P., Hopkins T.S. (2012). Progress towards sustainable mussel aquaculture in Mar Piccolo, Italy. *Ecol. Soc.* 17: 10:1-10:19.
- Cecere E., Alabiso G., Carlucci R., Petrocelli A., Verlaque M. (2016a). Fate of two invasive or potentially invasive alien seaweeds in a central Mediterranean transitional water system: failure and success. *Bot. Mar.* 59: 451-462.
- Cecere E., Petrocelli A., Belmonte M., Portacci G., Rubino F. (2016b). Activities and vectors responsible for the biological pollution in the Taranto Seas (Mediterranean Sea, southern Italy): a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12797-12810.
- Costa E., Piazza V., Gambardella C., Moresco R., Prato E., Biandolino F., Cassin D., Botter M., Maurizio D., D'Adamo R., Fabbrocini A., Faimali M., Garaventa F. (2016). Ecotoxicological effects of sediments from Mar Piccolo, South Italy: toxicity testing with organisms from different trophic levels. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23: 12755-12769.

-
- De Vittor C., Relitti F., Kralj M., Covelli S., Emili A. (2016). Oxygen, carbon, and nutrient exchanges at the sediment-water interface in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12566-12581.
- Di Leo A., Annicchiarico C., Cardellicchio N., Giandomenico S., Conversano M., Castellano G., Basile F., Martinelli W., Scorticini G., Spada L. (2014). Monitoring of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs and seasonal variations in mussels from the Mar Grande and the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 21:13196-13207.
- Ferraro L., Rubino F., Belmonte M., Da Prato S., Greco M., Frontalini F. (2017). A multidisciplinary approach to study confined marine basins: the holobenthic and merobenthic assemblages in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Mediterranean). Mar. Biodivers. 47: 887-911.
- Giandomenico S., Cardellicchio N., Spada L., Annicchiarico C., Di Leo A. (2016). Metals and PCB levels in some edible marine organisms from the Ionian Sea: dietary intake evaluation and risk for consumers. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12596-12612.
- Giordano L., Portacci G., Caroppo C. (2019). Multidisciplinary tools for sustainable management of an ecosystem service: The case study of mussel farming in the Mar Piccolo of Taranto (Mediterranean, Ionian Sea). Ocean Coast. Manag. 176: 11-23.
- Karuza A., Caroppo C., Monti M., Camatti E., Di Poi E., Stabili L., Auriemma R., Pansera M., Cibic T., Del Negro P. (2016). 'End to end' planktonic trophic web and its implications for the mussel farms in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12707-12724.
- Kralj M., De Vittor C., Comici C., Relitti F., Auriemma R., Alabiso G., Del Negro P. (2016). Recent evolution of the physical-chemical characteristics of a Site of National Interest - the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea) – and changes over the last 20 years. Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12675-12690.
- Lisco S., Corselli C., De Giosa F., Mastronuzzi G., Moretti M., Siniscalchi A., Marchese F., Bracchi V., Tessarolo C., Tursi A. (2016). Geology of Mar Piccolo, Taranto (southern Italy): the physical basis for remediation of a polluted marine area. J. Maps. 12: 173-180.
- Morabito G., Mazzocchi M.G., Salmaso N., Zingone A. *et al.* (2018). Plankton dynamics across the freshwater, transitional and marine research sites of the LTER-Italy network. Patterns, fluctuations, drivers. Sci. Total Environ. 627: 373-387.
- Narracci M., Acquaviva M.I., Cavallo R.A. (2014). Mar Piccolo of Taranto: *Vibrio* biodiversity in ecotoxicology approach. Environ. Sci. Pollut. Res. 21: 2378-2385.
- Narracci M., Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Prato E., Biandolino F. (2009). A test battery approach for ecotoxicological characterization of Mar Piccolo sediments in Taranto (Ionian Sea, Southern Italy). Environ. Monitor. Assess. 148. 307-314.
- Petrocelli A., Cecere E., Verlaque M. (2013). Alien marine macrophytes in transitional water systems: new entries and reappearances in a Mediterranean coastal basin. BioInvasions Rec. 2: 177-184.
- Petrocelli A., Rubino F., Cecere E. (2019). Successions of phytobenthos species in a Mediterranean transitional water system: the importance of long term observations. Nat. Conserv. 34: 217-246.
- Petronio B.M., Cardellicchio N., Calace N., Pietroletti M., Pietrantonio M., Caliandro L. (2012). Spatial and temporal heavy metal concentration (Cu, Pb, Zn, Hg, Fe, Mn, Hg) in sediments of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian Sea, Italy). Water Air Soil Pollut. 223: 863-875.
- Pierri C., Longo C., Giangrande A. (2010). Variability of fouling communities in the Mar Piccolo of Taranto (Northern Ionian Sea, Mediterranean Sea). J. Mar. Biol. Assoc. UK 90: 159-167.
- Prato E., Biandolino F., Bisci A.P., Caroppo C. (2011). Preliminary assessment of *Ostreopsis cfr. ovata* acute toxicity by using a battery bioassay. Chem. Ecol. 27: 117-125.
- Prato E., Parlapiano I., Biandolino F. (2012). Evaluation of a bioassays battery for ecotoxicological screening of marine sediments from Ionian Sea (Mediterranean Sea, Southern Italy). Environ. Monitor. Assess. 184: 5225-5238.

-
- Prato E., Parlapiano I., Biandolino F. (2013). Sublethal effects of copper on some biological traits of the amphipod *Gammarus aequicauda* reared under laboratory conditions. Chemosphere 93: 1015-1022.
- Quero G.M., Cassin D., Botter M., Perini L., Luna G.M. (2015). Patterns of benthic bacterial diversity in coastal areas contaminated by heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and polychlorinated biphenyls (PCBs). Front. Microbiol. 6: 1053:1-1053:15.
- Rubino F., Cibic T., Belmonte M., Rogelja M. (2016). Microbenthic community structure and trophic status of sediments in the Mar Piccolo of Taranto (Mediterranean, Ionian Sea). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12624-12644.
- Spada L., Annicchiarico C., Cardelluccio N., Giandomenico S., Di Leo A. (2012). Mercury and methylmercury concentrations in Mediterranean seafood and surface sediments, intake evaluation and risk for consumers. Int. J. Hygiene Environ. Health 215: 418-426.
- Stabili L., Acquaviva M.I., Biandolino F., Cavallo R.A., De Pascali S.A., Fanizzi F.P., Narracci M., Petrocelli A., Cecere E. (2012). The lipidic extract of the seaweed *Gracilaria longissima* (Rhodophyta, Gracilariales): a potential resource for biotechnological purposes? N. Biotechnol. 29: 443-450.
- Zuffianò L.E., Basso A., Casarano D., Dragone V., Limoni P.P., Romanazzi A., Santaloia F., Polemio M. (2016). Coastal hydrogeological system of Mar Piccolo (Taranto, Italy). Environ. Sci. Pollut. Res. 23: 12502-12514.

Riviste non ISI

- Cardelluccio N., Annicchiarico C., Assennato G., Blonda M., Di Leo A., Giandomenico S., Lopez L., Spada L., Ungaro N. (2010). Preliminary results of pollutants biomonitoring in coastal marine and transitional waters of Apulia Region (Southern Italy). Fresenius Environ. Bull. 19:1841-1847.
- Caroppo C., Bisci A.P. (2010). First data on the benthic assemblages of harmful microalgal species in the Gulf of Taranto (Northern Ionian Sea). Rapp. Comm. Int. Mer Méditerr. 39: 341.
- Caroppo C., Stabili L. (2007). Dinamica del picoplancton e del virioplancton nel Mar Piccolo di Taranto (Mar Ionio settentrionale). Biol. Mar. Mediterr. 14: 374-375.
- Caroppo C., Cerino F., Cibic T. (2015). Phytoplankton assemblages and harmful algal blooms in a semi-enclosed coastal area. Biol. Mar. Mediterr. 22: 196-197.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Bisci A.P., Hopkins T.S. (2010). Phytoplankton communities as indicators of ecological change in the anthropogenically impacted Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea). Biol. Mar. Medit. 17:102-105.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P., Hopkins T.S., Marsella E. (2011). Sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project: the study case of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian, Mediterranean Sea). In: National Research Council of Italy (ed.) Marine Research at CNR, volume DTA/06-2011: 928-942.
- Caroppo C., Portacci G., Alabiso G. (2013). Summer harmful algal blooms (HABs) in a coastal basin devoted to the mussel culture and implication for their management. Rapp. Comm. Int. Mer Médit. 40: 377.
- Caroppo C., Portacci G., Giordano L. (2018). Produzione di serie storiche con il telerilevamento satellitare: uno strumento innovativo per la gestione sostenibile della molluschicoltura? Biol. Mar. Mediterr. 25: in press.
- Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Lo Noce R., Stabili L., Narracci M. (2011). Vibrionaceae e indicatori di contaminazione fecale nel Mar Piccolo di Taranto: tre anni di campionamento. Biol. Mar. Mediterr. 18: 380-381.

Cavallo R.A., Acquaviva M.I., Alabiso G., Milillo M., Narracci M., Stabili L. (2012). Study of aquaculture pathogenic vibrios in the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, Italy). *Biol. Mar. Mediterr.* 19: 154-155.

Portacci G., Caroppo C. (2017). Contabilizzazione dei servizi ecosistemici: il caso della molluschicoltura nel Mar Piccolo di Taranto. *Biol. Mar. Medit.* 24(1): 67-68.

Libri o capitolo di libro

Caffio F. (2009). Molluschicoltura a Taranto ai primi del novecento. La regolamentazione: dalle origini ad oggi. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 36-68.

Caffio F. (2014). Mari di Taranto. Il Golfo, il Mar Grande, il Mar Piccolo. Scorpione Editrice, Taranto, pp. 205.

Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P., Hopkins T.S., Marsella E. (2011). Sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project: the study case of the Mar Piccolo in Taranto (Ionian, Mediterranean Sea). In: National Research Council of Italy (ed.) *Marine Research at CNR*, volume DTA/06-2011: 928-942.

Cecere E. (2010). Irma Pierpaoli, un'antesignana nell'insegnamento e nella ricerca scientifica. In: Terzulli F. (ed.) *Il Pitagora di Taranto. Un secolo di presenza sul territorio*. Tipografia La Due Mari, Taranto, pp. 339-352.

Cecere E., Petrocelli A. (2009). The Mar Piccolo. In: Cecere E., Petrocelli A., Izzo G., Sfriso A. (eds). *Flora and vegetation of the Italian Transitional Water Systems*. Corila, Stampa Multigraf, Spinea (VE), pp. 195-227.

Fanelli G., Portacci G. (2009). L'ostricoltura tarantina: ieri, oggi e domani. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 130-155.

Pastore M. (2009). La lunga storia dei diritti per la molluschicoltura nei mari di Taranto. In: Cecere E., Mellea S. (Edd.) *Frammenti di mare. Taranto e l'antica molluschicoltura*. Stampasud S.p.A., Mottola (TA), pp. 70-99.

Report

ARPA Puglia (2014). Mar Piccolo of Taranto. Scientific-technical report on the interaction between the environmental system and contaminants flows from primary and secondary sources. Technical Report April 2014.

Belmonte M. (2012). Interazioni bento-pelagiche in ambienti marini confinati: il plancton del Mar Piccolo di Taranto. Tesi di Dottorato di Ricerca in Ecologia Fondamentale XXIV Ciclo, Univ. del Salento, pp. 233.

Caroppo C. (2007). Spicosa Project – Node 3: Study Site Application. WP 7. 14 Mar Piccolo. http://www.spicosa.eu/taranto_mare_piccolo/index.htm.

Caroppo C., Rubino F., Giordano L., Trono A., Forleo M., Petrocelli A., Bellio G., Colella R., Palmieri N., Sclafani P., Siano R. (2008). System Design for SSA14 Mar Piccolo of Taranto – (Southern Italy). SPICOSA PROJECT.

(http://spicosa.databases.euccd.de/files/documents/00000925_System%20Design%20SSA14_%20Mar%20Piccolo_V02.pdf).

Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Trono A., Forleo M., Bellio G., Bisci P., Palmieri N., Mirto S., Siano R. (2008). Documentation Report for Formulation Step - SSA 14 Mar Piccolo of Taranto. SPICOSA PROJECT. URL: <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3890>.

-
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Trono A., Forleo M., Bellio G., Bisci P., Palmieri N., Ribera d'Alcalà M., Siano R. (2008). Scientific Report for Formulation Step SSA 14 - Mar Piccolo of Taranto. SPICOSA PROJECT. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3886>.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2009). Report for Appraisal Step for deliverable D7.4 short version, Spicosa Annual Report.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2010). Scientific Report for Appraisal Step for deliverable D7.4, Spicosa Annual Report. URL <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3891>.
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P. (2010). Documentation Report for Appraisal Step for deliverable D7.4 Spicosa Annual Report. URL <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3892>.
- Caroppo C., Bellio G., Giordano L., Palmieri N., Bisci A.P. (2010). Scientific Report for Output Step for Deliverable D7.4, Spicosa Annual Report. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/3893>.
- Caroppo C., Bellio G., Giordano L., Palmieri N., Bisci A.P., Petrocelli A., Sclafani P. (2011). Applicazione della Metodologia SAF: Caso di Studio del Mar Piccolo di Taranto - Report finale. R. T. NO 148/ISTTA/BIOLOGIA/C.CAROPPO/ Marzo 2011.
- Caroppo C., Portacci G. (2017). Disastro ambientale nel Mar Piccolo di Taranto durante la Prima Guerra Mondiale. database CNRSOLAR identification code: 8748JA2017. <http://eprints.bice.rm.cnr.it/id/eprint/16924>.
- Fanelli G. (2001). L'ambiente marino del Mar Piccolo di Taranto. Relazione finale per incarico di consulenza tecnico-scientifica. Programma TERRA, Progetto n. 55 POSIDONIA. Piano Particolareggiato per il recupero del Mar Piccolo, pp. 51.
- Giordano L., Caroppo C. (2012). Un modello operativo per la gestione sostenibile di impianti di mitilicoltura nel Mar Piccolo di Taranto. R. T. NO 149/ISTTA/BIOLOGIA/L.GIORDANO/ Febbraio 2012.
- ISPRA (2010). Evaluation of characterization results for the identification of appropriate actions for remediation of site of national interest of Taranto. Technical Report August 2010, pp. 90.

Lavori divulgativi

- Bellio G., Petrocelli A., Sclafani P., Caroppo C. (2010). Taranto Mar Piccolo, Italy. Spicosa News Special 2010, Issue 2. Stakeholders engagement in practice, p. 8. (Da Google: <http://www.spicosa.eu/enews/news2010-2.pdf>).
- Borfecchia F., De Cecco L., Petrocelli A., Cecere E., Portacci G., Caroppo C., Cibic T., Micheli C., Pignatelli V. (2015). Il sistema satellitare polare LANDSAT 8 OLI per il monitoraggio del Mar Piccolo di Taranto. Atti 19° Conferenza Nazionale ASITA, 29-30 Settembre – 1 ottobre 2015 Lecco, Polo di Lecco del Politecnico di Milano.
- Borfecchia F., Rubino F., Cibic T., Caroppo C., Cecere E., De Cecco L., Di Poi E., Petrocelli A., Pignatelli V. (2018). Satellite Mapping of Macro-algae and Phytoplankton communities in the MarPiccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy), a confined marine basin heavily impacted by anthropogenic activities. Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-6606-13.
- Caroppo C. (2009). Il Mar Piccolo di Taranto. In: Mellea S., Cecere E. (Eds.), Frammenti di mare, Taranto e l'antica Molluschicoltura, p. 42.
- Caroppo C., Odermatt D., Philipson P., Bruno M. (2017). Using Satellite Remote Sensing of Harmful Algal Blooms (HABs) in a coastal European site. Phycologia 56 (4) Supplement: S: 28-28. Meeting Abstract 54. (11th International Phycological Congress, Szczecin, Poland).
- Caroppo C. (2009). The Mar Piccolo of Taranto as a study case for the sustainable management of the coastal environments in the framework of the SPICOSA Project. PANEL I.1 – Civil engineering and architecture, I.A.M.C., CNR, Napoli, 14 Luglio 2009.

-
- Caroppo C., Giordano L., Rubino F., Palmieri N., Bellio G., Bisci A.P., Hopkins T.S. (2010). Initiating sustainable management of mussel culture within the multi-use environment of Mar Piccolo of Taranto, Italy. SPICOSA SAF6 and Cluster Meeting, Estoril (Portugal) 15-16th April 2010.
- Caroppo C., Ballé-Béganton J., Lample M., Bailly D. (2014). Communication strategies for sustainable management of musselculture in Mar Piccolo (Mediterranean Sea). Third International Science and policy Conference on the resilience of social & ecological systems. Montpellier, France, 4-8 May 2014.
- Caroppo C., Giordano L., Bellio G., Bisci A.P., Palmieri N., Hopkins T.S. (2010). Integrated Study for the Sustainable management of the mussel culture in the Mar Piccolo in Taranto, Italy (SSA 7.14). SPICOSA Conference, Malta 9-11 novembre 2010.
- Caroppo C., Portacci G. (2018). La molluscoltura tarantina e la sfida di Attilio Cerruti durante la Grande Guerra. Quaderno n. 1 della Serie “Mar Piccolo e Taranto”. Centro Giustizia Pace e Integrità del creato dei Frati Minori del Salento, convento S. Pasquale di Taranto (editore). pp. 26.
- Cecere E., Acquaviva M., Alabiso G., Belmonte M., Biandolino F., Caroppo C., Cavallo R.A., Narracci M., Milillo M., Petrocelli A., Portacci G., Prato E., Ricci P., Rubino F., Stabili L. (2011). Evidenze scientifiche del recupero naturale del Mar Piccolo: qualità dell’ambiente e biodiversità. Convegno di studio “Il Recupero Ambientale e Produttivo del Mar Piccolo – Idee e Proposte per un Percorso Condiviso”, Taranto 17 novembre 2011.
- Cibic T., Auriemma R., Camatti E., Caroppo C., Cardelluccio N., De Vittor C., Franzo A., Karuza A., Rogelja M., Del Negro P. (2015). Ecosystem functioning nearby the largest steelworks in Europe and the main Italian naval base: the study case of the Mar Piccolo of Taranto. Congresso 2015 ASLO Aquatic Sciences Meeting, Granada, Spain, 22-27 February 2015.
- Petrocelli A., Portacci G., Cecere E. (2014). The phytobenthos of the Mar Piccolo of Taranto (Ionian Sea, southern Italy): a novel of ninety years of disappearances, new arrivals and returns. Proc. Annu. Meet. Ital. Phycol. Group, 14- 15 November 2014, Padova, Italy, p. 20.
- Portacci G., Caroppo C. (2019). Taranto, 2 agosto 1916: storia di un disastro ambientale. L’esplosione della nave Leonardo da Vinci. Quaderno n. 2 della Serie “Mar Piccolo e Taranto”. Centro Giustizia Pace e Integrità del creato dei Frati Minori del Salento, convento S. Pasquale di Taranto (editore). pp. 30.

IT23-T PARCO NAZIONALE DEL GRAN PARADISO

Autori

Bruno Bassano¹, Ramona Viterbi¹, Cristiana Cerrato¹, Michele Zurlo¹, Alice Brambilla^{1, 2}, Caterina Ferrari¹, Rocco Tiberti^{1, 6}, Stefano Grignolio³, Antonella Cotza⁴, Laura Poggio¹, Cristina del Corso¹, Stefano Cerise¹, Antonello Provenzale⁵

Affiliazione

¹ Ente Parco Nazionale del Gran Paradiso (PNGP), Via Pio VII 9, 10135 Torino, Italia.

² University of Zurich, Department of Evolutionary Biology and Environmental Studies, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zurich, Switzerland.

³ Università di Sassari, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Via Vienna 2, I-07100 Sassari, Italia.

⁴ Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, Via Aldo Moro 2, 53100 Siena, Italia.

⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Via Moruzzi 1, 46124 Pisa, Italia.

⁶ Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata 7, 27100 Pavia, Italia.

DEIMS.ID: <https://deims.org/15c3e841-8494-42d2-a44e-c49a0ff25946>

Referente Macrosito: Ramona Viterbi

Siti di ricerca nel Macrosito: Sito unico

Tipologia di ecosistema: terrestre

Citare questo capitolo come segue: Bassano B., Viterbi R., Cerrato C., *et al.* (2021). IT23-T Parco Nazionale del Gran Paradiso, p. 701-719. DOI: 10.5281/zenodo.5584775. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il Parco Nazionale Gran Paradiso, istituito nel 1922, è un Ente Pubblico soggetto alla supervisione del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. È il primo Parco Nazionale Italiano

e le sue ragioni istitutive sono relative alla conservazione del paesaggio e della fauna selvatica. L'area protetta ha avuto origine da una Riserva Reale di Caccia, istituita nel 1856 per preservare sulle Alpi le uniche restanti popolazioni di stambecco (*Capra ibex*) sulle Alpi, estinto da tutto il resto del territorio europeo. L'Ente Parco ha tra le sue finalità principali la protezione del territorio e la promozione socio-economica delle popolazioni locali, garantendo così la tutela delle caratteristiche ambientali e culturali specifiche del territorio.

L'Ente Parco è responsabile della conservazione di circa 720 km² di ambiente alpino, collocati all'interno di un gradiente altitudinale compreso tra gli 800 e i 4061 m di quota. Nello specifico gli obiettivi del Parco sono: gestione e protezione dell'area protetta, conservazione del paesaggio e della biodiversità, ricerca scientifica, educazione ambientale, sviluppo e promozione del turismo sostenibile.

Il sito coincide con il macrosito e con il parco nazionale Gran Paradiso e insiste sulla Regione Piemonte (Valle Orco, Val Soana) e sulla Regione Valle d'Aosta (Valsavarenche, Val di Rhêmes, Val di Cogne), tra 45°25' e 45°45'N e tra 7° e 7°30'W.

L'area comprende i diversi ecosistemi che si avvicendano lungo il gradiente altitudinale presente all'interno dell'area (ca 800 – 4.000 m s.l.m.), interessando quindi sia le superfici boscate (latifoglie, conifere, miste) dell'orizzonte montano, le fasce ecotonali dell'orizzonte subalpino e le aree di prateria di quello alpino. La fascia nivale è ampiamente presente all'interno del Parco. Gli ambienti non o scarsamente vegetati (rocce, macereti, ghiacciai)



Fig. 1 - Gran Paradiso. Fonte: foto di Francesco Sisti



Fig. 2 - Fonte: foto Archivio Parco Nazionale Gran Paradiso

coprono il 60% del territorio del Parco, le praterie e i pascoli il 17%, il 20.2% è caratterizzato da boschi e cespuglieti, mentre lo 0.8% da coltivi e aree urbanizzate. Gli ambienti acquatici, oltre ai torrenti, comprendono almeno 15 laghi di superficie superiore ai 10.000 m² e collocati oltre i 2.000 m di quota.

L'area è gestita dall'Ente Parco e le attività di ricerca e di monitoraggio sono coordinate dal Servizio Biodiversità e Ricerca Scientifica.

Il Parco Nazionale Gran Paradiso possiede, dal 1947, un proprio corpo di guardie che vigila e controlla il territorio dell'area protetta. Questo ha consentito l'avvio di una serie di monitoraggi faunistici sul territorio, in particolare focalizzati sulla dinamica di popolazione e sulla distribuzione di stambecco (*Capra ibex*) e camoscio (*Rupicapra rupicapra*), che rappresenta ora una delle più lunghe serie storiche disponibili (dal 1956 ad oggi).

Dagli anni 90 si sono anche approfonditi gli aspetti eco-etologici, in particolare:

- ecologia e conservazione dello stambecco alpino attraverso non soltanto la raccolta di dati necessari per lo studio della dinamica di popolazione, ma anche effettuando studi di dettaglio relativi a diversi aspetti eto-ecologici importanti per la sua conservazione, quali ad esempio il comportamento spaziale, la life-history, il comportamento sociale e quello riproduttivo. Tali progetti sono iniziati nel 1994;
- eco-etologia del camoscio alpino attraverso studi relativi al comportamento riproduttivo e alla qualità individuale dei diversi soggetti, misurata sia in base alla resistenza ai parassiti (misura della carica parassitaria), sia in base al tasso di ormoni fecali dello stress. Il progetto è iniziato nel 1993;
- eco-etologia della marmotta alpina (*Marmota marmota*), studio attivo dal 2006 e focalizzato sul comportamento sociale e territoriale degli individui, sullo studio delle differenze individuali nel comportamento e nella fisiologia, sullo studio della parassito-fauna gastro-intestinale.

Nel corso degli anni le attività di ricerca e di monitoraggio dell'Ente si sono notevolmente ampliate, interessando anche gruppi tassonomici e processi ecologici prima poco indagati all'interno dell'area protetta.

Dal 2006 è attivo un progetto di monitoraggio a lungo termine della biodiversità animale in relazione ai cambi climatici ed ambientali in aree campione, utilizzando come *taxa* guida sia vertebrati (uccelli), sia invertebrati (lepidotteri ropoloceri, ortotteri, macro-invertebrati), che prevede un biennio di monitoraggio, 4 anni di pausa, nuovamente 2 di monitoraggio e 4 di pausa e così via. Il progetto coinvolge altri 5 parchi italiani alpini.

Sempre dal 2006, presso il Parco Nazionale Gran Paradiso, è in corso uno studio sull'ecologia dei laghi alpini. La ricerca ha l'obiettivo di comprendere il funzionamento di questi ecosistemi e di promuovere e supportare dal punto di vista scientifico la conservazione degli habitat acquatici del Parco.

Dal 2009 sono anche raccolti dati sulla fenologia di specie forestali in 15 siti a diverse altitudini e delle cotiche erbose delle praterie in 2 siti campione. La colonizzazione vegetale delle aree lasciate libere dall'arretramento glaciale è oggetto di studio e monitoraggio in 5 siti.

A corollario di queste ricerche, per valutare quanto il paesaggio alpino stia cambiando, negli ultimi decenni è stato creato un database aerofotografico del Parco Nazionale Gran Paradiso. Il database contiene materiale aerofotografico dal 1975 ed è tuttora in fase di perfezionamento al fine procedere con analisi qualitative e quantitative del cambiamento da associare ad eventuali cambiamenti nella distribuzione e dinamica della fauna.

Abstract

The Gran Paradiso National Park (PNGP), founded in 1922, is a Public body subject to the supervision of the Italian Environmental Ministry and it is the first Italian national Park. The PNPGP institutive reasons are based on wildlife and landscape conservation. The protected area was an ancient Royal hunting reserve of the Alpine ibex, which was established in 1856. For preserving the only remaining population of Alpine ibex in the Alps, extinguished from all over Europe, was established before the Royal hunting reserve and then the first Italian national Park. The Park Authority pursued the

goal of environmental protection and social economic promotion of local populations, enhancing and preserving the specific environmental characteristics of the Gran Paradiso National Park and, anyway, the areas included within the perimeter of the park. The Park Authority is responsible for the conservation of 720 km² of Alpine environments, located between 800 and 4061 m a.s.l. Specifically, the PNGP aims are represented by: management and protection of the protected area, preservation of biodiversity and landscape, scientific research, environmental education, development and promotion of sustainable tourism.

The National Park owned since 1947 its vigilance service, constituted by Park Wardens, that monitor the protected area. The presence of this service allowed the beginning of many different monitoring projects, in particular focused on the presence and distribution of alpine ungulates (alpine ibex and chamois), which now represents one of the longest series available (since 1956). Through the years research and monitoring activities widely broadened and now interest the eco-ethology of different species, in particular the alpine ibex (since 1994), the chamois (since 1993) and the alpine marmot (since 2006). In 2006 started a monitoring project, focused on animal biodiversity and based on selected taxa (birds, butterflies, grasshoppers and crickets, surface active macro-arthropods). This project continued over time thanks to the cooperation with CNR-ISAC.

Moreover, in 2006 started also a project devoted to the study of the ecology of alpine lakes. Main purpose is the comprehension of ecosystem functioning and the promotion of the conservation of the freshwater ecosystems.

Parco Nazionale del Gran Paradiso

Autori

Bruno Bassano,¹ Ramona Viterbi,¹ Cristiana Cerrato,¹ Michele Zurlo,¹ Alice Brambilla,^{1,2} Caterina Ferrari,¹ Rocco Tiberti,^{1,6} Stefano Grignolio³, Antonella Cotza⁴, Laura Poggio¹, Cristina del Corso¹, Stefano Cerise,¹ Antonello Provenzale,⁵

Affiliazione

¹ Ente Parco Nazionale del Gran Paradiso (PNGP), Via Pio VII 9, 10135 Torino, Italia.

² University of Zurich, Department of Evolutionary Biology and Environmental Studies, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zurich, Switzerland.

³ Università di Sassari, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Via Vienna 2, I-07100 Sassari, Italia.

⁴ Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, Via Aldo Moro 2, 53100 Siena, Italia.

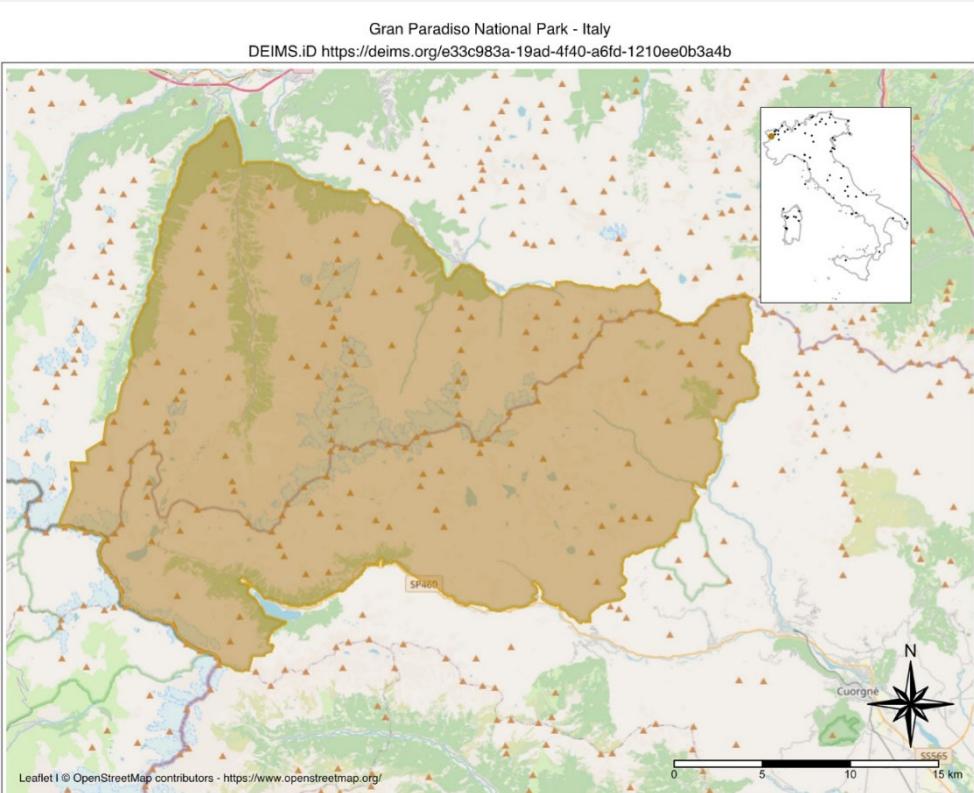
⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Via Moruzzi 1, 46124 Pisa, Italia.

⁶ Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata 7, 27100 Pavia, Italia.

Sigla: IT23-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/e33c983a-19ad-4f40-a6fd-1210ee0b3a4b>

Referente Sito: Ramona Viterbi



Descrizione del sito e delle sue finalità

Tipologia di dati raccolti (biotici, abiotici, fisici) e banche dati (tipologia e durata)

I dati raccolti nell'ambito di queste ricerche confluiscano in una banca dati interna dell'Ente e sono sia dati biotici sia dati abiotici che dati sui processi. La banca dati parte dal 1956 per quanto riguarda i dati di dinamica di popolazione degli ungulati mentre gli altri dati sono più recenti e coincidono con l'inizio delle varie ricerche citato precedentemente. Per quanto riguarda i dati biotici in particolare sono presenti dati su:

- presenza e abbondanza relativa dei *taxa* monitorati nel progetto di monitoraggio della biodiversità animale lungo gradienti altitudinale, raccolti con cadenza periodica;
- presenza e distribuzione dei vertebrati con dati raccolti dal personale di vigilanza;
- presenza e distribuzione, sia per sessi, sia per classi di età dello stambecco alpino e del camoscio alpino, monitorati con cadenza annuale (o 2 volte all'anno nel caso dello stambecco) nell'intero territorio del Parco;
- caratterizzazione del fitoplancton e dello zooplancton nei laghi alpini precedentemente indicati;
- presenza e fenologia delle specie arboree ed erbacee oggetto di monitoraggio.

Sono inoltre presenti dati sui tratti comportamentali e di Life history per camoscio, stambecco e marmotta.

I dati abiotici sono relativi a:

- parametri climatici raccolti nelle stazioni attive per il monitoraggio della biodiversità animale lungo gradienti altitudinali;
- stazioni meteo posizionate presso i siti di campionamento fenologia;
- parametri chimico-fisici raccolti nei laghi alpini;
- misure di bilancio di massa di ghiacciai;
- misure di scambi di flussi.

Di seguito vengono presentati i risultati più significativi dei principali filoni di ricerca a lungo termine attivi all'interno del PNNGP.

Risultati

Monitoraggio a lungo termine dello Stambecco alpino *Capra ibex* nel Parco Nazionale Gran Paradiso

Uno degli obiettivi principali del progetto stambecco in corso al Parco Nazionale Gran Paradiso è quello di monitorare la dinamica della popolazione e comprendere quali fattori ambientali la influenzino maggiormente. Infatti, la popolazione oggetto di studio ha mostrato negli ultimi decenni delle fluttuazioni importanti non facilmente spiegabili. Inoltre, il progetto mira ad aumentare le conoscenze sull'ecologia e sul comportamento e, più recentemente, sulla genetica della specie in ottica di favorirne la conservazione. L'interesse scientifico per lo stambecco è forte nel Parco Nazionale Gran Paradiso sin dalla fondazione, avvenuta nel 1922 proprio con l'obiettivo di conservare questa specie. A partire dal 1956 il personale di sorveglianza effettua ogni anno due censimenti esaustivi su tutto il territorio del Parco. Questi dati costituiscono una delle serie storiche più lunghe al mondo per quanto riguarda il monitoraggio di popolazioni di ungulati e hanno consentito di testare numerose ipotesi circa gli effetti delle variazioni ambientali sulla dinamica di popolazione. Negli anni '90 il Parco ha ulteriormente intensificato gli sforzi di ricerca iniziando a catturare e marcire alcuni individui in diverse aree del Parco. A partire dai primi anni '90 il Parco ha stimolato la collaborazione con alcuni Atenei italiani favorendo lo sviluppo delle prime aree di studio e dando così inizio ad alcune ricerche scientifiche che hanno portato alla stesura di

articoli scientifici su riviste internazionali. Infine, a partire dal 1999, è stata istituita un'unica area di studio intensiva dove la percentuale di animali marcati è stata mantenuta molto elevata (40-80%) nel corso degli anni e dove vengono raccolti dati a lungo termine sull'ecologia, la life history e il comportamento della specie in collaborazione con numerose università italiane e internazionali. Oltre alle informazioni biometriche, fisiologiche e sanitarie raccolte al momento della cattura, gli animali riconoscibili individualmente vengono osservati ripetutamente nel corso dell'anno fornendo indicazioni importanti sulla loro sopravvivenza, massa corporea, accrescimento delle corna (caratteri sessuali secondari), carica parassitaria nonché sui pattern comportamentali adottati e sul successo riproduttivo individuale. Questi dati vengono raccolti lungo il corso dell'intera vita degli animali marcati e, combinati con parametri ambientali e meteorologici, aiutano a comprendere ed interpretare in modo più accurato quanto emerge dai censimenti esaustivi condotti su tutto il territorio del Parco. Nel corso degli anni sono stati numerosi gli studi effettuati a partire da queste serie di dati; l'integrazione delle diverse evidenze emerse da tali studi ci consente di avere un quadro della dinamica in corso. Limitandoci all'effetto dei cambiamenti ambientali, segnaliamo il lavoro di Jacobson *et al.* (2004) nel quale è stato dimostrato che densità degli animali e altezza della neve caduta durante l'inverno sono i fattori che spiegano maggiormente le fluttuazioni della popolazione. Nel 2007, Pettorelli *et al.* hanno però osservato che, in anni a maggiore densità, è soprattutto la fenologia della vegetazione in primavera ad influenzare la dinamica della popolazione agendo sulla sopravvivenza dei capretti. In particolare, inverni poco nevosi portano ad un anticipo della primavera e ad una mancata sincronizzazione tra la disponibilità trofica e le esigenze energetiche delle femmine durante l'allattamento e quindi ad una ridotta sopravvivenza dei capretti durante l'inverno successivo. Mignatti *et al.* (2012) hanno sintetizzato le osservazioni precedenti dimostrando che neve e densità interagiscono nel determinare la dinamica di tutte le classi di età e sesso della popolazione anche se la direzione di tali effetti non è sempre chiara. L'effetto della neve sui parametri demografici non sembra ad ogni modo essere lineare: la sopravvivenza dei capretti e quindi il *recruitment* della popolazione sembrano essere massimi in condizioni di nevosità media. Lo studio delle strategie riproduttive ha permesso di dimostrare, per la prima volta nei mammiferi, che le condizioni meteorologiche, nello specifico la copertura nevosa, possono influenzare le tattiche comportamentali utilizzate dai maschi, andando a condizionare il successo riproduttivo individuale e il numero di nascite nell'estate successiva (Apollonio *et al.* 2013). Osservazioni comportamentali effettuate nell'area di studio (Grignolio *et al.* 2004; Aublet *et al.* 2009; Mason *et al.* 2017) indicano che lo stambecco è una specie sensibile alle alte temperature e ciò potrebbe costituire un problema nel prossimo futuro visti gli scenari di riscaldamento globale. Durante giornate con temperature elevate, gli stambecchi sono costretti ad alimentarsi nelle praterie poste alle quote più elevate dove riducono il rischio di surriscaldamento, ma dove hanno a disposizione un foraggio più povero. In queste condizioni gli stambecchi non sono in grado di sopportare al ridotto apporto energetico né modificando la selezione delle specie pabulari (Brivio *et al.* 2014), né tantomeno aumentando il tempo dedicato all'alimentazione durante le ore del giorno (Mason *et al.* 2017). Recenti studi non ancora pubblicati sembrano inoltre indicare che alcuni parametri che possono essere utilizzati come indicatori della performance della popolazione (ad esempio la dimensione delle corna dei maschi e la massa corporea) sono variati nel tempo. Queste variazioni sembrano essere in relazione sia con la densità della popolazione che con i cambiamenti climatico/ambientali in corso. La direzione degli effetti osservati sembra essere però diversa in base alle diverse frazioni della popolazione considerate (femmine, maschi, capretti) che possono rispondere in maniera opposta alle medesime variazioni.

Una migliore comprensione di tale dinamica rappresenta l'obiettivo principale del progetto stambecco per il futuro. La prosecuzione dello studio è infatti considerata importante dal Parco Nazionale Gran Paradiso sia per il suo valore scientifico sia per le importanti indicazioni gestionali che tali ricerche possono fornire per favorire la conservazione di questa specie così emblematica.

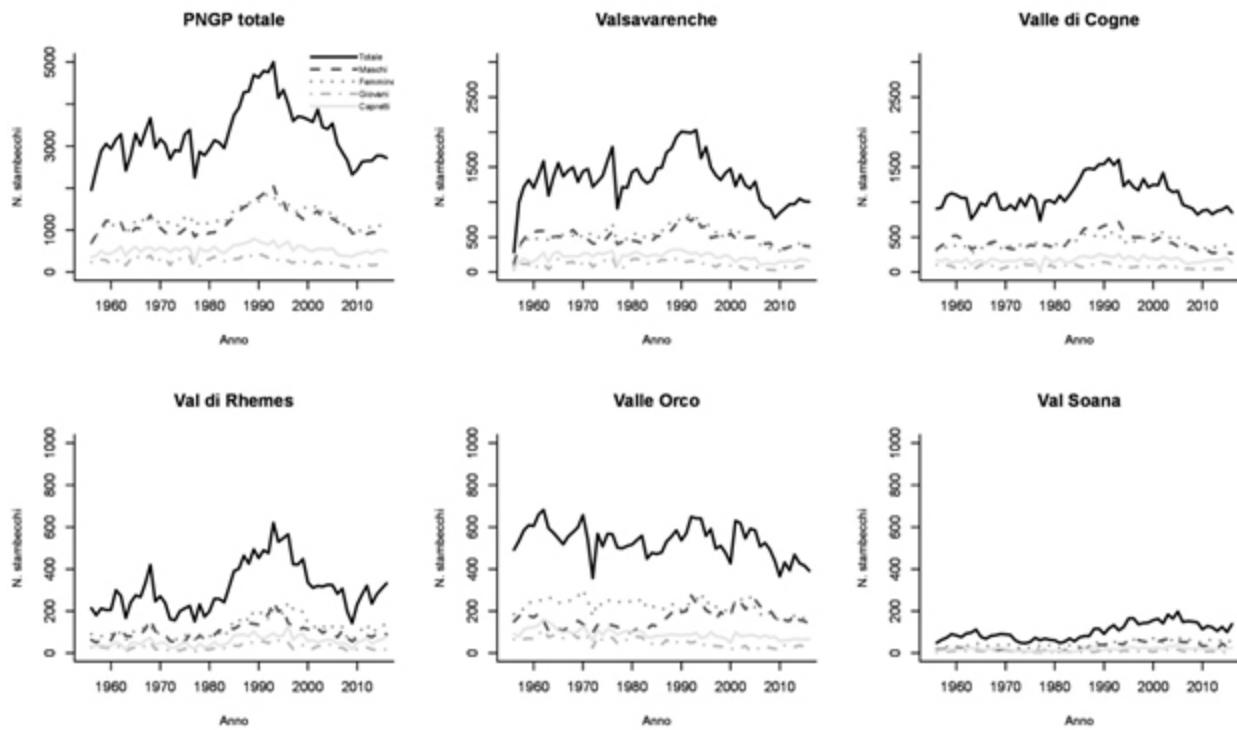


Fig. 3 - Dinamica di popolazione dello stambecco all'interno del PNP e suddivisa per valli. Fonte: dati PNP

Comportamento riproduttivo e sociale del camoscio alpino *Rupicapra rupicapra* nel Parco Nazionale Gran Paradiso

La ricerca sull'eco-etologia del camoscio alpino al Parco Gran Paradiso, coordinata dall'Università degli Studi di Siena, è iniziata nel 1995 ed è continuata, quasi ininterrottamente, nel corso degli anni. Sono state prodotte oltre dieci pubblicazioni su riviste internazionali.

Questo ungulato di montagna è diffuso su tutte le Alpi con la sottospecie *Rupicapra rupicapra*, di interesse venatorio. Nonostante sia un ungulato comune, diversi aspetti della sua etologia ed ecologia rimangono non chiari.

Con il supporto del Corpo di Sorveglianza e del Servizio Sanitario del Parco, in tutti questi anni, sono stati catturati e individualmente marcati più di 60 maschi e più di 20 femmine. Oltre a permettere un controllo sanitario degli individui, la valutazione di parametri quali età, peso, dimensioni, analisi del sangue e genetiche, le operazioni di marcatura hanno consentito di registrare informazioni comportamentali/ecologiche per lungo tempo su singoli animali da quel momento "noti". Poter studiare questa specie all'interno di un parco, dove non sia soggetta a pressione venatoria, e nel lungo termine, ha permesso di conoscere alcuni aspetti fondamentali della sua ecologia, per es. quali fattori ambientali/climatici influenzino gli spostamenti, il comportamento riproduttivo o la dinamica dei gruppi; queste conoscenze saranno poi applicabili a livello conservazionistico e gestionale anche al di fuori di aree protette. Tutto ciò è importante in relazione a potenziali fattori di disturbo antropico in ambienti montani (p.es. caccia, turismo) e al cambiamento globale: il camoscio vive in ambienti di alta montagna fortemente sensibili al cambiamento climatico e potrebbe essere un indicatore di cambiamenti in atto in queste aree.

Le prime ricerche hanno riguardato il comportamento spaziale e riproduttivo di questo bovide, concentrando l'attenzione inizialmente sul comportamento maschile. Negli anni '90 del secolo scorso fu avviato il monitoraggio di alcuni maschi, attraverso osservazioni comportamentali dirette e radio-telemetria VHF; successivamente questa tecnica è stata sostituita da telemetria satellitare GPS/GSM.

Molti risultati hanno mostrato come il camoscio costituisca un'eccezione nella sottofamiglia delle Caprinae: circa il 50% dei maschi difende un territorio, un'area ben definita in cui non è tollerata la

presenza di altri maschi, non solo durante il periodo riproduttivo (rut, Novembre – inizio Dicembre), ma già a partire dalla tarda primavera (Hardenberg *et al.* 2000). I territori sembrerebbero ricadere in aree attraenti per le femmine, nel tardo autunno-inizio inverno, perché libere dalla neve (Hardenberg *et al.* 2000). Successivamente è stato osservato che non tutti i maschi sono territoriali, ma esistono due tattiche alternative di comportamento spaziale: alcuni camosci (“residenti”) utilizzano aree di estivazione e svernamento sovrapposte; altri (“migratori”) si spostano da aree estive ad aree invernali, a quote differenti (Lovari *et al.* 2006). Questi due modi di uso dello spazio sembrano corrispondere a due tattiche riproduttive (“territoriali” e “non territoriali”) ed è stato ipotizzato che il loro mantenimento all'interno della popolazione sia favorito dalla variazione di fattori collegati alla nevosità (Lovari *et al.* 2006): durante autunni-inverni nevosi le femmine si spostano a quote inferiori, dove restano i maschi territoriali, che quindi possono ottenere un vantaggio riproduttivo. In anni con scarse precipitazioni nevose, le femmine sembrano invece restare sulle praterie di alta quota, dove i maschi non territoriali dovrebbero ottenere un vantaggio riproduttivo (Lovari *et al.* 2006).

Dopo questa prima fase, gli sforzi sono stati indirizzati a indagare i costi/benefici collegati all'adozione delle due tattiche riproduttive, per valutare i potenziali fattori che abbiano portato all'evoluzione e al mantenimento di queste particolari tattiche in questa specie. Il camoscio è una specie monomorfica e la competizione intra-sessuale per l'accesso alle femmine è presumibilmente mediata attraverso diversi livelli di aggressività, soprattutto indiretta, piuttosto che mediante attributi come dimensioni corporee o altri caratteri sessuali secondari, come avviene in specie dimorfiche: non vi è differenza, infatti, per quanto riguarda età, peso e dimensioni delle corna tra i due tipi di maschi (Corlatti *et al.* 2012a). I maschi territoriali investono maggiori energie nella difesa del territorio e nel corteggiamento (Corlatti *et al.* 2012a); in virtù del loro rango e quindi del maggior stress devono affrontare una maggiore carica parassitaria, dovuta ad una maggiore secrezione di testosterone, che favorisce l'aggressività ma sopprime il sistema immunitario; mostrano un maggior livello di metaboliti del cortisolo, tradendo un maggior stato di stress (Corlatti *et al.* 2012b); inoltre essi mostrano maggiori variazioni nel comportamento di alimentazione, con una diminuzione del tempo speso nel foraggiamento in primavera e ipofagia durante la rut (Corlatti & Bassano 2014). I costi che i territoriali devono affrontare sono quindi sicuramente molto alti, ma sembrerebbero avere vantaggi maggiori, in termini di opportunità riproduttive, rispetto ai maschi non territoriali (Hardenberg *et al.* 2000; Corlatti *et al.* 2015), pur non riuscendo a monopolizzare tutti gli eventi riproduttivi (Corlatti *et al.* 2015). Sviluppi della ricerca ancora in corso suggerirebbero inoltre che i maschi tendano ad adottare la stessa tattica nel corso di più anni.

Il proseguimento delle ricerche, investigando il ruolo di vari fattori ambientali/climatici su spostamenti e comportamento riproduttivo, anche in relazione al comportamento delle femmine, permetterà di approfondire le conoscenze su quali fattori abbiano permesso l'evoluzione e coesistenza di queste due tattiche riproduttive.

Il progetto di ricerca sulla marmotta alpina *Marmota marmota*

Il Parco Nazionale Gran Paradiso ha avviato nel 2006 un progetto di ricerca a lungo termine sulla marmotta alpina, scegliendo come area di studio la zona di Orvieilles in Valsavarenche. Allo studio partecipano studenti e ricercatori di numerose Università italiane e straniere. Oltre ad avere numerose caratteristiche eco-etologiche di grande interesse per la ricerca, lo stretto legame della marmotta con la prateria alpina di alta quota la rende oggi importante nel contesto del monitoraggio dello stato di salute di questi habitat, minacciati dalla risalita del bosco.

Dal 2006 sono state catturate e marcate 332 marmotte di 17 famiglie differenti (Fig. 4). Ogni anno vengono registrati i parametri demografici di riproduzione e sopravvivenza, che hanno permesso di monitorare l'andamento del campione in questi anni. Il monitoraggio così dettagliato e su lungo periodo è in grado di rappresentare con buona affidabilità l'andamento della popolazione in tutta l'area protetta e in generale della specie.

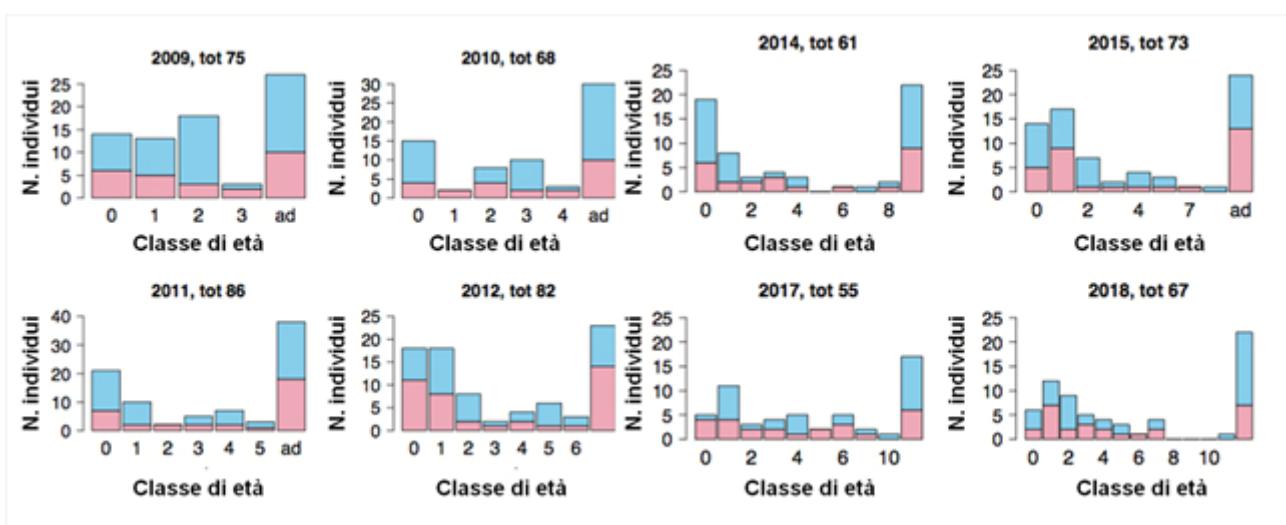


Fig. 4 - Composizione del campione studiato negli anni. Fonte: Gruppo ricerca marmotta

La marmotta è una specie ibernante per la quale uno dei fattori critici è la massa corporea raggiunta durante l'estate, periodo in cui passa il 51% del tempo a foraggiare su specie vegetali secondo la fenologia. Dal 2006, in questo progetto, sono raccolti dati sul peso corporeo per l'indagine individuale, per classi di età-sesso e per valutare l'influenza dei parametri climatici e ambientali su questa variabile.

Le famiglie abitano un dato territorio che può variare in alcune caratteristiche ambientali. Tutti i territori familiari sono mappati e le loro caratteristiche di area di prateria, rocciosità, pendenza ed esposizione registrati. La qualità vegetazionale viene stimata tramite dei campionamenti random di specie totali e specie appetibili alle marmotte e, dal 2018, tramite le analisi con spettro-fotometria ad infrarosso (NIR) che permette di quantificare i nutrienti principali di un campione in relazione ad una curva di taratura.

La marmotta è una specie sociale che vive in gruppi familiari e con un sistema di riproduzione cooperativo. Ogni famiglia ha una gerarchia fissa, mantenuta da interazioni sociali tra i membri del gruppo e esterni. I dominanti, al vertice della gerarchia, hanno un accesso quasi esclusivo alla riproduzione, mentre altri individui ritardano la propria riproduzione o vanno in dispersione. La raccolta dati sulle interazioni sociali sta permettendo di capire quali fattori intrinseci ed estrinseci contribuiscono a favorire un individuo nella strategia attuata. Un dato che potrebbe dare informazioni importanti e innovativi in diversi contesti è quello relativo al temperamento individuale: con questa raccolta dati si vuole approfondire l'effetto dell'individuo nei diversi contesti ecologici studiati (quale ad esempio la socialità).

Nonostante in Europa ci siano altre due aree di studio sulla marmotta alpina, l'approccio individuale e la raccolta dati regolare durante tutta la stagione attiva caratterizza questo progetto di ricerca.

Ricerche idrobiologiche nel Parco Nazionale Gran Paradiso

Gli ecosistemi acquatici d'alta quota forniscono servizi ecosistemici essenziali (e.g. acqua potabile), hanno un altissimo valore conservazionario ed estetico e sono considerati ottimi indicatori del cambio globale (e.g. cambi climatici). Visto il loro valore conservazionario e scientifico, gli ecosistemi acquatici del Parco Nazionale Gran Paradiso sono stati scelti come habitat modello per monitorare gli effetti a lungo termine di vari fattori di disturbo antropico, a scala locale, regionale e globale. Il programma di monitoraggio è cominciato nel 2006. Il coinvolgimento del PNGP in progetti internazionali e varie collaborazioni scientifiche hanno alimentato le attività di ricerca e conservazione per più di 13 anni (2006-presente) interessando diversi argomenti:

1) “Invasion and restoration ecology of high-mountain aquatic habitats”. L'introduzione di pesci costituisce la maggiore minaccia alla biodiversità aquatica in ambiente montano a scala locale. Gli obiettivi specifici delle attività di ricerca includono: i) la quantificazione degli impatti esercitati dai pesci a

different scale locale e di bacino idrografico; ii) la quantificazione della resilienza ecologica degli ecosistemi introdotti; iii) lo sviluppo e promozione di tecniche (eradicazione) e misure per la conservazione degli ambienti acquatici montani. Le metodologie utilizzate includono l'analisi di dati ecologici a lungo termine raccolti presso >50 laghi d'alta quota (Parco Nazionale Gran Paradiso e Parco Naturale Mont Avic); l'utilizzo di tecniche di eradicazione non invasive; l'utilizzo di modelli statistici e matematici avanzati per l'analisi e interpretazione dei dati; meta-analisi di dati ecologici provenienti da diverse aree montuose del mondo. Questa linea di ricerca è integrata all'interno di un network di ricercatori internazionali finalizzato allo scambio di dati e integrazione delle esperienze di ricerca e conservazione.

2) "Diversity and phylogenetic of high mountain aquatic fauna". Studio della biodiversità e filogenesi della fauna vertebrata e invertebrata dei laghi d'alta quota tramite tecniche di tassonomia morfologica e molecolare.

3) "Glacial retreat and high mountain lake ecology". Il riscaldamento globale sta causando la contrazione e scomparsa dei ghiacciai alpini. Nei prossimi decenni si assisterà alla comparsa di nuovi laghi d'alta quota e a variazioni importanti negli apporti minerali (e.g. silt glaciale) dai bacini imbriferi d'alta quota. L'obiettivo della ricerca è comprendere il ruolo delle particelle minerali sospese e della torbidità da esse indotta su diversi compartimenti ecologici (e.g. pico e microplancton, zooplankton, fauna benthonica, anfibi, potenziale invasivo dei pesci introdotti) dei laghi d'alta quota.

4) "The use of macroinvertebrates as bioindicators of local non-chemical stressors". I macroinvertebrati sono ottimi bioindicatori della qualità chimica dell'acqua e hanno dimostrato di essere sensibili anche a altri tipi di impatto ecologico e sono anche utilizzati come bioindicatori in ambiente alpino. In particolare, vengono frequentemente utilizzati per valutare l'impatto della presenza di infrastrutture idroelettriche (prese e dighe). Questa linea di ricerca ha come principale obiettivo la valutazione dell'efficacia dei macroinvertebrati come indicatori ecologici di impatti non chimici nei laghi e torrenti alpini (e.g. presenza di pesci introdotti e di infrastrutture idroelettriche). I risultati ottenuti nel corso del programma di monitoraggio a lungo termine hanno permesso al PNPG di sostenere con maggiore incisività le proprie politiche di conservazione relative agli ambienti acquei. Inoltre hanno avuto un impatto significativo a livello di conservazione degli ecosistemi, di educazione pubblica, di risonanza sui media e di promozione sociale (e.g. creando diverse opportunità di lavoro e ricerca). A livello scientifico, le ricerche svolte presso il PNPG offrono un quadro coerente delle problematiche ecologiche che possono interessare gli ecosistemi acquei alpini, delle ragioni per cui conservare questi ecosistemi e del loro potenziale di recupero.

Monitoraggio a lungo termine della biodiversità animale nel Parco Nazionale Gran Paradiso

Nel 2006 il PNPG ha attivato un progetto di monitoraggio a lungo termine della biodiversità animale lungo il gradiente altitudinale, caratterizzato da un biennio di attività, seguito da 4 anni di pausa, da ripetere nel tempo finché le forze interne ed esterne all'Ente saranno sufficienti a garantirlo.

Tale progetto è nato dalla necessità di porre le basi per lo sviluppo di una serie storica di dati che consentirà di valutare il rischio di perdita di biodiversità. In particolare si propone di esplorare le relazioni esistenti tra biodiversità animale, clima e copertura del suolo, a differenti scale spaziali, al fine di fornire al Parco uno strumento per mettere in evidenza le variazioni nel tempo della ricchezza e della diversità specifica e di verificare i legami esistenti tra queste variazioni e le trasformazioni climatiche ed ambientali.

Le operazioni di monitoraggio sono svolte all'interno di stazioni di campionamento fisse (plot circolari con raggio di 100 m), distribuite lungo il gradiente altitudinale, dall'orizzonte montano a quello subalpino.

Nelle stazioni di campionamento sono raccolti dati faunistici, ambientali (topografia, copertura e uso del suolo, vegetazione) e micro-climatici (temperatura). In ciascuna stazione sono campionati i seguenti taxa animali: *Lepidoptera Rhopalocera*, *Orthoptera*, *Aves*, macro-invertebrati epigei (*Coleopera Carabidae*, *Coleoptera Staphylinidae*, *Hymenoptera Formicidae*, *Araneae*), scelti in quanto considerati in letteratura buoni

indicatori di biodiversità. Le tecniche di monitoraggio applicate sono standardizzate, economiche, facili da applicare, in modo tale da consentire la ripetizione a lungo termine delle operazioni di monitoraggio.

Nel corso del tempo, tale progetto, promosso e coordinato dal PNPG, si è esteso nello spazio. Nel 2007-2008, altre due aree protette delle alpi occidentali (Parco Naturale Orsiera-Rocciavrè e Parco Naturale Alpe Veglia-Devero) hanno adottato il protocollo di monitoraggio. Nel biennio 2012-2013 le tre aree protette hanno effettuato la prima ripetizione delle operazioni di monitoraggio e nel 2013-2014 il protocollo è stato adottato dagli altri tre parchi nazionali dell'arco alpino italiano (Dolomiti Bellunesi, Stelvio, Val Grande). Attualmente, quindi, 6 aree protette (4 Parchi nazionali, 2 Parchi regionali), per un totale di 132 stazioni di campionamento, stanno utilizzando metodi di monitoraggio e di archiviazione dati standardizzati e confrontabili, rappresentando così il primo tentativo di sviluppare un protocollo per il monitoraggio a lungo termine di più gruppi tassonomici nelle aree protette alpine. Nel 2018 è cominciata in tutte le aree sopra indicate, la ripetizione dei monitoraggi, che interesserà anche l'estate 2019, consentendo al PNPG di avere quindi ormai 3 ripetizioni temporali, a distanza di 12 anni.

I dati finora raccolti hanno consentito di ottenere i primi risultati, costituendo un efficace strumento conoscitivo utilizzabile e utilizzato dai Parchi per la pianificazione territoriale. Tra i primi risultati ottenuti, è interessante notare come la ricchezza specifica di tutti i taxa presenti un andamento a campana lungo il gradiente altitudinale, con un picco attorno ai 1500 m s.l.m., corrispondente all'orizzonte subalpino (Fig. 5).

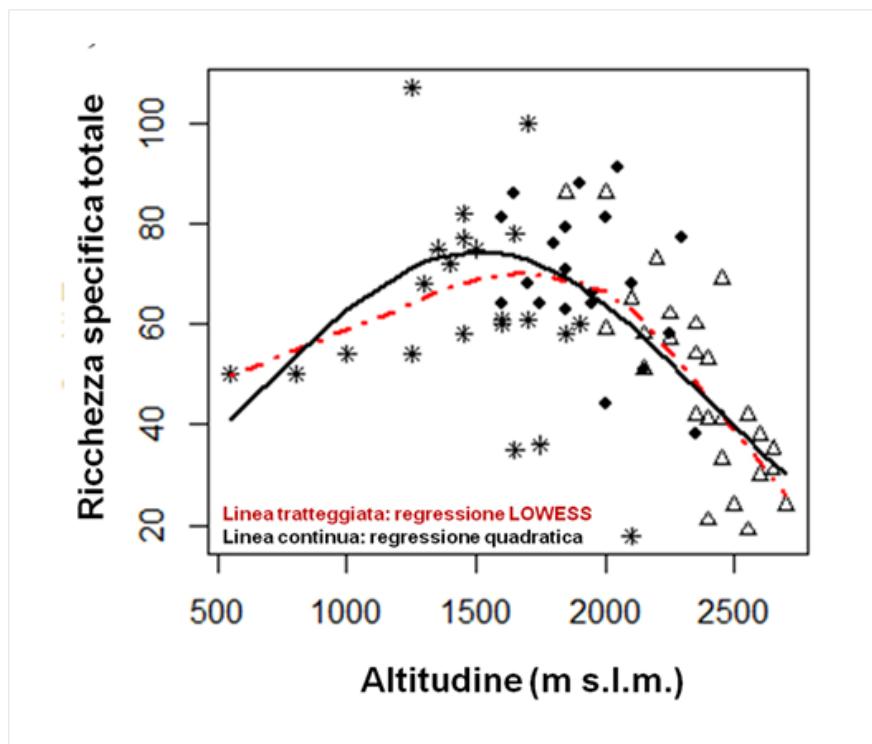


Fig. 5 - Diagramma a dispersione della ricchezza specifica totale per sito in funzione della quota. Fonte: Viterbi et al. 2013

Allo stesso tempo, la proporzione di specie endemiche e vulnerabili aumenta in maniera significativa dall'orizzonte montano a quello alpino, mostrando come la porzione più alta del gradiente altitudinale abbia un ridotto numero di specie, ma di notevole interesse conservazionistico (Viterbi et al. 2013).

Ma questi risultati rappresentano soprattutto un punto di partenza. Da una parte infatti offrono la possibilità di applicare scenari di cambiamento e di effettuare simulazioni su come la biodiversità animale cambierà nel tempo, in seguito all'aumento delle temperature o a cambiamenti nella copertura e nell'uso del suolo.

Dall'altra parte questi risultati costituiscono la fase “zero”, il cui valore aumenterà nel tempo, quando saranno disponibili serie di dati sufficientemente lunghe, e i dati di comunità saranno comparati con variazioni nei parametri climatici e ambientali, fornendo uno strumento sia per validare le previsioni modellistiche ma ancor più per guidare gli sforzi conservazionistici identificando le specie o i taxa più sensibili ai cambiamenti così come gli ambienti più vulnerabili. I primi confronti tra i dati ottenuti durante la stagione 2006-2007 e quella 2012-2013 hanno mostrato come, soprattutto nel caso di farfalle e di uccelli, alcuni cambiamenti siano già osservabili, nonostante il breve intervallo temporale trascorso.

Numerose sono le esperienze del PNPGP sui progetti europei sia in qualità di partner che di capofila o solo come collaborazione al progetto:

- PHENO-ALP (2009-2012), Interreg Alcotra, in qualità di collaboratore esterno;
- e-PHENO (2013-2014), Interreg Alcotra, in qualità di collaboratore esterno;
- ALPGRAIN (2013-2014) Interreg Alcotra, in qualità di collaboratore esterno;
- Esperienza di cooperazione;
- HABITALP (2002-2005), Interreg Spazio Alpino, in qualità di partner;
- GREAT-Grandi erbivori negli ecosistemi alpini in trasformazione (2012-2014);
- Interreg Italia/Svizzera, in qualità di capofila;
- ACQWA - Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water (2008-2012), EU IP FP7, in qualità di partner;
- LIFE+BIOAQUAE (Biodiversity Improvement of Alpine Aquatic Ecosystems), (2012-2017), LIFE+ Biodiversità, in qualità di capofila;
- PSR-BIOPAS, (2013-2014), Piano di Sviluppo Rurale, in qualità di capofila;
- EOPOTENTIAL progetto H2020 (Improving future ecosystem benefits through earth observations), in qualità di area studio;
- LEMED-IBEX Monitoraggio e gestione dello Stambocco alpino dal lago di Ginevra (Léman) al Mediterraneo (2017-2020) ALCOTRA V-A Francia-Italia 2014-2020, in qualità di partner;
- LIFE PASTORALP Climate change adaptation (2017-2022), in qualità di partner;
- Piano Integrato Tematico (PITEM) – BIODIVALP “Proteggere e valorizzare la biodiversità e gli ecosistemi alpini attraverso una partnership e una rete di connettività ecologiche transfrontaliere INTERREG V-A Italia-Francia ALCOTRA 2014-2020”, in qualità di partner.

Numerose sono le Università, sia italiane che straniere, gli enti di ricerca e gli enti di gestione che, a vario titolo e con diverse finalità, collaborano alle ricerche scientifiche nel Parco. In particolare: Università degli Studi di Pavia – DISTA: Dipartimento di Scienze della Terra e dell’Ambiente (Prof. Giuseppe Bogliani), CNR – IGG Istituto di Geoscienze e Georisorse (Dr. Antonello Provenzale), Università degli studi di Torino – Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi (Prof. Giacoma), Université de Rennes 1, UMR 6553 CNRS/ICC Station biologique (P. Vernon); Dipartimento di Zoologia e Genetica Evoluzionistica, Università degli Studi di Sassari (Prof. M. Apollonio); Département de Biologie, Università di Sherbrooke, Canada (Prof. M. Festa-Bianchet); Institute of Evolutionary Biology and Environmenta lStudies, University of Zurich, Svizzera (Prof. L. Keller); Dipartimento di Parassitologia, Università di Milano (Prof. P. Lanfranchi); Dipartimento di Bio-Scienze, Università di Milano (Prof. Nicola Saino); Dipartimento di Scienze Veterinarie, Università di Torino (Prof. Ezio Ferroglio), Istituto Zooprofilattico Sperimentale del Piemonte, Liguria e Valle d’Aosta – CERMAS di Torino; Università di Chester, UK (Dott. Achaz Graf Von Hardenberg); National Centre for Statistical Ecology, University of Kent (Dr. Rachel Mc Crea e Prof. Byron Morgan); Università degli Studi di Siena (Prof. S. Lovari); Université du Québec à Montréal (Canada) (Prof. D. Réale); UQAR - Université du Québec a Rimouski; CSIC-CEAB Centre for Advanced Studies of Blanes, Spain; Parco Alpi Cozie (Dr. M. Ottino); Parco Riserve dell’Ossola (Dr. I. De Negri, R. Bionda); Parco Nazionale Dolomiti bellunesi (Dr. A. Andrich, Dr. E. Vettorazzo); Parco nazionale dello Stelvio (Dr. L. Pedrotti); Parco Nazionale della Val Grande (Dr. T. Bagnati, Dr. sa C. Movalli);

Attività di divulgazione e formazione

Le azioni di ricerca svolte e le numerose collaborazioni in atto hanno trasformato il Parco in un “Laboratorio naturale” per lo studio di specie non sottoposte a pressione antropica, una vera e propria “palestra” per giovani ricercatori, dottorandi e laureandi, che al Parco hanno la possibilità di svolgere la propria tesi e dunque sperimentare, in prima persona, tutti gli aspetti di una ricerca ecologica sul campo. Questa elevata concentrazione di attività di ricerca ha anche favorito l’organizzazione di periodici eventi di divulgazione scientifica (Annual Student Workshop e Summerschool, seminari tematici, convegni, ecc.), che trovano in questo Parco un ambiente particolarmente idoneo per questo tipo di attività.

Tra le attività promosse dall’Ente, una particolare attenzione viene da sempre rivolta all’ambito che riguarda la divulgazione, perché viene ritenuta una componente essenziale per il raggiungimento degli obiettivi di tutela. In tal senso sia i visitatori, sia le collettività locali sono intesi come beneficiari delle iniziative, senza trascurare il fatto che, se giustamente coinvolti, possono farsi a loro volta portavoce dei messaggi. Per fare questo è necessario contare su addetti all’informazione e alla divulgazione molto ben preparati: il Parco si serve di educatori, operatori dell’informazione e Guide del Parco che vengono continuamente aggiornati sui progetti e le attività, sulle metodologie didattiche, sulle strategie per una buona comunicazione a seconda dei target. Per la divulgazione scientifica a livello specialistico vi è ampia collaborazione con i referenti scientifici e i ricercatori, che spesso intervengono nelle attività di divulgazione per il grande pubblico, garantendo correttezza e precisione dell’informazione.

Con le popolazioni residenti è stato fatto ed è in corso un grande lavoro per sviluppare il senso di appartenenza ai valori del Parco, prova ne sono la Valle Soana che ha fatto suo il valore della biodiversità (con la denominazione “la valle della biodiversità”) o la Valsavarenche, con il suo slogan “100% natura protetta” e “la valle della ricerca”. Le diverse organizzazioni turistiche del territorio e i Comuni ogni anno organizzano eventi che possono beneficiare del logo Parco e di un contributo economico se finalizzate a obiettivi di sostenibilità e divulgazione del rispetto dell’ambiente della natura protetta.

Prospettive future

Le ricerche e le operazioni di monitoraggio messe in piedi dal Parco in questi anni hanno permesso di ottenere serie storiche di notevole rilevanza scientifica. Questi dati di lungo periodo sono indispensabili per la comprensione dei fenomeni di trasformazione e, quindi, per indirizzare al meglio le azioni di conservazione future. Il parco, da sempre, volge un particolare interesse allo stambecco, ragione stessa della sua istituzione e quindi ha nel tempo, indirizzato a questa specie un grande sforzo in termini di ricerca e monitoraggio.

Il futuro della ricerca del Parco non potrà quindi prescindere dallo studio dello stambecco, della sua dinamica di popolazione, della Life History e delle sue caratteristiche genetiche, con particolare riferimento alla variabilità genetica delle diverse popolazioni, tasselli fondamentali per la conservazione della specie simbolo del parco.

Oltre alle ricerche sullo stambecco, il parco cercherà, risorse economiche ed umane permettendo, di continuare ad indagare gli aspetti eco-etologici di marmotta e camoscio, specie indicatrici degli ambienti di prateria, che risultano essere habitat particolarmente sensibili ai cambiamenti climatici e/o ambientali.

In generale, come sito Lter, il parco è intenzionato a proseguire tutti i monitoraggi finalizzati a valutare gli effetti dei cambiamenti climatici ed ambientali sulle componenti biotiche ed abiotiche dal monitoraggio dei ghiacciai, allo studio della fenologia e della colonizzazione della flora periglaciale.

Anche il progetto biodiversità, che ha trovato nel tempo una sua estensione spaziale ed ora coinvolge sei aree protette alpine, è nato per valutare l’effetto dei cambiamenti climatici nel medio lungo periodo sulla biodiversità animale e vegetale delle Alpi, e quindi necessita per sua stessa natura di avere continuità nel tempo, pena la perdita di significato ed utilità anche dei dati già raccolti nel primo biennio di indagini.

Accanto ai progetti di ricerca a lungo termine il Parco intende rafforzare alcune azioni di conservazione attiva che abbiano ricadute concrete sugli habitat o sulle specie come, per esempio, il recupero di porzioni di pascolo degradate o abbandonate attraverso la gestione diretta di un pascolo sostenibile, dalle attività

di recupero dell'ittiofauna autoctona attraverso la progressiva eliminazione delle specie alloctone a favore di specie di Salmonidi autoctoni, in particolare di trota marmorata con la produzione di materiale geneticamente selezionato con gli incubatoi di valle.

Bibliografia citata

Riviste ISI

- Apollonio M., Brivio F., Rossi I., Bassano B., Grignolio S. (2013). Consequences of snowy winters on male mating strategies and reproduction in a mountain ungulate. *Behavioural Processes*, 98: 44-50.
- Aublet J.F., Festa-Bianchet M., Bergero D. & Bassano B. (2009). Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex (*Capra ibex*) in summer. *Oecologia*, 159(1), 237-247.
- Bellati A., Tiberti R., Coccia W., Galimberti A., Casiraghi M., Bogliani G., Galeotti P. (2014). A dark shell hiding large variability: a molecular insight into the evolution and conservation of melanic Daphnia populations in the Alps. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171: 697-715.
- Bichet C., Sauzet S., Avery L., Dupont P., Ferrandiz-Rovira M., Ferrari C., Figueroa I., Tafani M., Rézouki C., Lopez B.C. (2016). Multiple geographic origins and high genetic differentiation of the Alpine marmots reintroduced in the Pyrenees; *Biological Conservation* 17 (1157-1169).
- Brivio F., Grignolio S., Brambilla A., Apollonio M. (2014). Intra-sexual variability in feeding behaviour of a mountain ungulate: size matters. *Behavioural Ecology and Sociobiology*, 68: 1649-1660.
- Cerrato C., Rocchia E., Brunetti M., Bionda R., Bassano B., Provenzale A., Bonelli S., Viterbi R. (2019). Butterfly distribution along altitudinal gradients: temporal changes over a short time period. *Nature Conservation* 34: 91-118.
- Corlatti L., Bassano B. (2014). Contrasting alternative hypotheses to explain rut-induced hypophagia in territorial male chamois. *Ethology*, 120: 32-41.
- Corlatti L., Bassano B., Poláková R., Fattorini L., Pagliarella M.C., Lovari S. (2015). Preliminary analysis of reproductive success in a large mammal with alternative mating tactics, the Northern chamois, *Rupicaprarupicapra*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 116: 117-123.
- Corlatti L., Bassano B., Valencak T.G., Lovari S. (2013). Foraging strategies associated with alternative reproductive tactics in a large mammal. *Journal of Zoology*, 291: 111-118.
- Corlatti L., Béthaz S., von Hardenberg A., Bassano B., Palme R., Lovari S. (2012a). Hormones, parasites and male mating tactics in Alpine chamois: identifying the mechanism of life history trade-offs. *Animal Behaviour*, 84: 1061-1070.
- Corlatti L., Caroli M., Pietrocini V., Lovari S. (2012b). Rutting behaviour of territorial and nonterritorial male chamois: is there a home advantage? *Behavioural Processes*, 92: 118-124.
- Costantini D., Ferrari C., Pasquaretta C., Cavallone E., Carere C., von Hardenberg A., Réale D. (2012). Coping styles are accompanied by different baseline and stressor-induced plasma oxidative statuses in wild marmots (*Marmota marmota*). *The Journal of Experimental Biology*, 215 :374-383.
- Dumont F., Pasquaretta C., Réale D., Bogliani G., von Hardenberg A. (2012a). Flight initiation distance and starting distance: biological effect or mathematical artefact? *Ethology* 118: 1029-1131.
- Ferrari C., Bogliani G., von Hardenberg A. (2009). Alpine marmots (*Marmota marmota*) adjust vigilance behaviour according to environmental characteristics of their surrounding. *Ethology Ecology and Evolution*, Vol 21, 355-364.
- Ferrari C., Pasquaretta C., von Hardenberg A., Bassano B. (2012). Intraspecific killing and cannibalism in adult Alpine marmots *Marmota marmota*. *Ethology Ecology and Evolution*, 24: 388-394.
- Ferrari C., Pasquaretta C., Carere C., Cavallone E., von Hardenberg A., Réale D. (2013). Testing for the presence of coping styles in a wild mammal *Animal Behaviour* 85: 1385-1396.

-
- Iacobuzio R., Tiberti R. (2011). Cloud cover does not clearly affect the diurnal vertical distribution of crustacean zooplankton in naturally fishless alpine lakes. *Zooplankton and Benthos Research*, 6: 210-214.
- Jacobson A.R., Provenzale A., von Hardenberg A., Bassano B., Festa-Bianchet M. (2004). Climate forcing and density dependence in a mountain ungulate population. *Ecology*, 85(6), 1598-1610.
- Khamis K., Hannah D., Tiberti R., Brown L., Milner A. (2014). The use of invertebrates as indicators of environmental change in alpine rivers and lakes. *Science of the Total Environment*, 493:1242-1254.
- Lovari S., Sacconi F., Trivellini G. (2006). Do alternative strategies of space use occur in male Alpine chamois? *Ethology Ecology & Evolution*, 18: 221-231.
- Magnea U., Sciascia R., Paparella F., Tiberti R., Provenzale A. (2013). A model for high-altitude alpine lake ecosystems and the effect of introduced fish. *Ecological Modelling*, 251: 211-220.
- Mason T.H.E., Brivio F., Stephens P., Apollonio M., Grignolio S. (2017). The behavioral trade-off between thermoregulation and foraging in a heat-sensitive species. *Behavioral Ecology*, 28(3) 908-918.
- Mignatti A., Casagrandi R., Provenzale A., von Hardenberg A., Gatto M. (2012). Sex- and age-structured models for Alpine ibex (*Capra ibex*) population dynamics. *Wildlife Biology*, 18(3), 318-332.
- Pasquaretta C., Busia L., Ferrari C., Bogliani G., Reale D., von Hardenberg A. (2015). Helpers influence on territory use and maintenance in Alpine marmot groups. *Behaviour* 152 1391-1412.
- Pasquaretta C., Bogliani G., Ferrari C., Ranghetti L., von Hardenberg A. (2012a). New Method for the Accurate and Fast Visual Collection of Animal Locations. *Wildlife Biology*, 18:2.
- Pettorelli N., Pelletier F., von Hardenberg A., Festa-Bianchet M., Côté S.D. (2007). Early onset of vegetation growth vs. rapid green-up: Impacts on juvenile mountain ungulates. *Ecology*, 88(2), 381-390.
- Tiberti R. (2011). Morphology and ecology of *Daphnia middendorffiana*, Fisher 1851 (*Crustacea, Daphniidae*) from four new populations in the Alps. *Journal of Limnology*, 70: 239-247.
- Tiberti R., Barbieri M. (2011). Evidences of zooplankton vertical migration in stocked and never stocked alpine lakes in Gran Paradiso National Park (Italy). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 40: 36-42.
- Tiberti R., Brighenti S., Canedoli C., Iacobuzio R., Pasquini G., Rolla M. (2016). The diet of introduced brook trout (*Salvelinusfontinalis*; Mitchill, 1814) in an alpine area and a literature review on its feeding ecology. *Journal of Limnology*, 75: 488-507.
- Tiberti R., Brighenti S., Iacobuzio R., Pasquini G., Rolla M. (2014). Behind the impact of introduced salmonids in high altitude lakes: adult, not juvenile fish are responsible of the selective predation on crustacean zooplankton. *Journal of Limnology*, 73:593-597.
- Tiberti R., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M. (2016). Changes in the insect emergence at the water-air interface in response to fish density manipulation in high altitude lakes. *Hydrobiologia*, 779: 93-104.
- Tiberti R., Iacobuzio R. (2013). Does fish predation influence the vertical distribution of zooplankton in high transparency lakes? *Hydrobiologia*, 709: 27-39.
- Tiberti R., Metta S., Austoni M., Callieri C., Morabito G., Marchetto A., Rogora M., Tartari G., von Hardenberg J., Provenzale A. (2013). Ecological dynamics of two remote Alpine lakes during ice-free season. *Journal of Limnology*, 72: 401-416.
- Tiberti R., Nelli L., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M. (2017). Spatial distribution of introduced brook trout *Salvelinus fontinalis* within alpine lakes: evidences from a fish eradication campaign. *The European Zoological Journal*: 73-88.
- Tiberti R., Rogora M., Tartari G., Callieri C. (2014). Ecological impact of transhumance on the trophic state of alpine lakes in Gran Paradiso National Park. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 415: 05.

-
- Tiberti R., Tartari G., Marchetto A. (2010). Geomorphology and hydrochemistry of 12 Alpine lakes in the Gran Paradiso National Park, Italy. *Journal of Limnology*, 69: 242-256.
- Tiberti R., von Hardenberg A. (2012). Impact of alien fish on Common frog (*Rana temporaria*) close to its altitudinal limit in alpine lakes. *Amphibia Reptilia* 33: 303-307.
- Tiberti R., von Hardenberg A., Bogliani G. (2014). Ecological impact of introduced fish in high altitude lakes: a case of study from the European Alps. *Hydrobiologia* 724:1-19.
- Viterbi R., Cerrato C., Bassano B., Bionda R., von Hardenberg A., Provenzale A., Bogliani G. (2013). Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach. *Community Ecology* 14: 18-30.
- Von Hardenberg A., Bassano B., Peracino A., Lovari S. (2000). Male alpine chamois occupy territories at hotspots before the mating season. *Ethology*, 106: 617-630.
- Zanet S., Miglio G., Ferrari C., Bassano B., Ferroglio E., von Hardenberg A. (2017). Higher risk of gastrointestinal parasite infection at lower elevation suggests possible constraints in the distributional niche of Alpine marmots. *Plosone* 12(8).

Riviste non ISI

- Tiberti R., Ottino M., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M., von Hardenberg A., Bassano B. (2017). Involvement of recreational anglers in the eradication of alien brook trout from alpine lakes. *Journal of Mountain Ecology*, 10: 13-26.

Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni.

Riviste ISI

- Apollonio M., Brivio F., Rossi I., Bassano B., Grignolio S. (2013). Consequences of snowy winters on male mating strategies and reproduction in a mountain ungulate. *Behavioural Processes*, 98: 44-50.
- Aublet J.F., Festa-Bianchet M., Bergero D. & Bassano B. (2009). Temperature constraints on foraging behaviour of male Alpine ibex (*Capra ibex*) in summer. *Oecologia*, 159(1), 237-247.
- Bellati A., Tiberti R., Coccia W., Galimberti A., Casiraghi M., Bogliani G., Galeotti P. (2014). A dark shell hiding large variability: a molecular insight into the evolution and conservation of melanic Daphnia populations in the Alps. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 171: 697-715.
- Bichet C., Sauzet S., Avery L., Dupont P., Ferrandiz-Rovira M., Ferrari C., Figueroa I., Tafani M., Rézouki C., Lopez B.C. (2016). Multiple geographic origins and high genetic differentiation of the Alpine marmots reintroduced in the Pyrenees; *Biological Conservation* 17 (1157-1169).
- Brivio F., Grignolio S., Brambilla A., Apollonio M. (2014). Intra-sexual variability in feeding behaviour of a mountain ungulate: size matters. *BehaviouralEcology and Sociobiology*, 68: 1649-1660.
- Cerrato C., Rocchia E., Brunetti M., Bionda R., Bassano B., Provenzale A., Bonelli S., Viterbi R. (2019). Butterfly distribution along altitudinal gradients: temporal changes over a short time period. *Nature Conservation* 34: 91-118.
- Corlatti L., Bassano B. (2014). Contrasting alternative hypotheses to explain rut-induced hypophagia in territorial male chamois. *Ethology*, 120: 32-41.
- Corlatti L., Bassano B., Poláková R., Fattorini L., Pagliarella M.C., Lovari S. (2015). Preliminary analysis of reproductive success in a large mammal with alternative mating tactics, the Northern chamois, *Rupicapra rupicapra*. *Biological Journal of the Linnean Society*, 116: 117-123.
- Corlatti L., Bassano B., Valencak T.G., Lovari S. (2013). Foraging strategies associated with alternative reproductive tactics in a large mammal. *Journal of Zoology*, 291: 111-118.
- Corlatti L., Béthaz S., von Hardenberg A., Bassano B., Palme R., Lovari S. (2012a). Hormones, parasites and male mating tactics in Alpine chamois: identifying the mechanism of life history trade-offs. *Animal Behaviour*, 84: 1061-1070.

-
- Corlatti L., Caroli M., Pietrocini V., Lovari S. (2012b). Rutting behaviour of territorial and nonterritorial male chamois: is there a home advantage? *Behavioural Processes*, 92: 118-124.
- Costantini D., Ferrari C., Pasquaretta C., Cavallone E., Carere C., von Hardenberg A., Réale D. (2012). Coping styles are accompanied by different baseline and stressor-induced plasma oxidative statuses in wild marmots (*Marmota marmota*). *The Journal of Experimental Biology*, 215 :374-383.
- Dumont F., Pasquaretta, C., Réale D., Bogliani G., von Hardenberg A. (2012a). Flight initiation distance and starting distance: biological effect or mathematical artefact? *Ethology* 118: 1029-1131.
- Ferrari C., Bogliani G., von Hardenberg A. (2009). Alpine marmots (*Marmota marmota*) adjust vigilance behaviour according to environmental characteristics of their surrounding. *Ethology Ecology and Evolution*, Vol 21, 355-364.
- Ferrari C., Pasquaretta C., von Hardenberg A., Bassano B. (2012). Intraspecific killing and cannibalism in adult Alpine marmots *Marmota marmota*. *Ethology Ecology and Evolution*, 24: 388-394.
- Ferrari C., Pasquaretta C., Carere C., Cavallone E., von Hardenberg A., Réale D. (2013). Testing for the presence of coping styles in a wild mammal *Animal Behaviour* 85: 1385-1396.
- Iacobuzio R., Tiberti R. (2011). Cloud cover does not clearly affect the diurnal vertical distribution of crustacean zooplankton in naturally fishless alpine lakes. *Zooplankton and Benthos Research*, 6: 210-214.
- Khamis K., Hannah D., Tiberti R., Brown L., Milner A. (2014). The use of invertebrates as indicators of environmental change in alpine rivers and lakes. *Science of the Total Environment*, 493:1242-1254.
- Magnea U., Sciascia R., Paparella F., Tiberti R., Provenzale A. (2013). A model for high-altitude alpine lake ecosystems and the effect of introduced fish. *Ecological Modelling*, 251: 211-220.
- Mason T.H.E., Brivio F., Stephens P., Apollonio M., Grignolio S. (2017). The behavioral trade-off between thermoregulation and foraging in a heat-sensitive species. *Behavioral Ecology*, 28(3) 908-918.
- Mignatti A., Casagrandi R., Provenzale A., von Hardenberg A., Gatto M. (2012). Sex- and age-structured models for Alpine ibex (*Capra ibex*) population dynamics. *Wildlife Biology*, 18(3), 318-332.
- Pasquaretta C., Busia L., Ferrari C., Bogliani G., Reale D., von Hardenberg A. (2015). Helpers influence on territory use and maintenance in Alpine marmot groups. *Behaviour* 152 1391-1412.
- Pasquaretta C., Bogliani G., Ferrari C., Ranghetti L., von Hardenberg A. (2012a). New Method for the Accurate and Fast Visual Collection of Animal Locations. *Wildlife Biology*, 18:2.
- Tiberti R. (2011). Morphology and ecology of *Daphnia middendorffiana*, Fisher 1851 (*Crustacea, Daphniidae*) from four new populations in the Alps. *Journal of Limnology*, 70: 239-247.
- Tiberti R., Barbieri M. (2011). Evidences of zooplankton vertical migration in stocked and never stocked alpine lakes in Gran Paradiso National Park (Italy). *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 40: 36-42.
- Tiberti R., Brighenti S., Canedoli C., Iacobuzio R., Pasquini G., Rolla M. (2016). The diet of introduced brook trout (*Salvelinusfontinalis*; Mitchell, 1814) in an alpine area and a literature review on its feeding ecology. *Journal of Limnology*, 75: 488-507.
- Tiberti R., Brighenti S., Iacobuzio R., Pasquini G., Rolla M. (2014). Behind the impact of introduced salmonids in high altitude lakes: adult, not juvenile fish are responsible of the selective predation on crustacean zooplankton. *Journal of Limnology*, 73:593-597.
- Tiberti R., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M. (2016). Changes in the insect emergence at the water-air interface in response to fish density manipulation in high altitude lakes. *Hydrobiologia*,779: 93-104.
- Tiberti R., Iacobuzio R. (2013). Does fish predation influence the vertical distribution of zooplankton in high transparency lakes? *Hydrobiologia*, 709: 27-39.
- Tiberti R., Metta S., Austoni M., Callieri C., Morabito G., Marchetto A., Rogora M., Tartari G., von Hardenberg J., Provenzale A. (2013). Ecological dynamics of two remote Alpine lakes during ice-free season. *Journal of Limnology*, 72: 401-416.

-
- Tiberti R., Nelli L., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M. (2017). Spatial distribution of introduced brook trout *Salvelinus fontinalis* within alpine lakes: evidences from a fish eradication campaign. The European Zoological Journal: 73-88.
- Tiberti R., Rogora M., Tartari G., Callieri C. (2014). Ecological impact of transhumance on the trophic state of alpine lakes in Gran Paradiso National Park. Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems, 415: 05.
- Tiberti R., Tartari G., Marchetto A. (2010). Geomorphology and hydrochemistry of 12 Alpine lakes in the Gran Paradiso National Park, Italy. Journal of Limnology, 69: 242-256.
- Tiberti R., von Hardenberg A. (2012). Impact of alien fish on Common frog (*Rana temporaria*) close to its altitudinal limit in alpine lakes. Amphibia Reptilia 33: 303-307.
- Tiberti R., von Hardenberg A., Bogliani G. (2014). Ecological impact of introduced fish in high altitude lakes: a case of study from the European Alps. Hydrobiologia 724:1-19.
- Viterbi R., Cerrato C., Bassano B., Bionda R., von Hardenberg A., Provenzale A., Bogliani G. (2013). Patterns of biodiversity in the northwestern Italian Alps: a multi-taxa approach. Community Ecology 14: 18-30.
- Zanet S., Miglio G., Ferrari C., Bassano B., Ferroglio E., von Hardenberg A. (2017). Higher risk of gastrointestinal parasite infection at lower elevation suggests possible constraints in the distributional niche of Alpine marmots. Plosone 12(8).

Riviste non ISI

- Tiberti R., Ottino M., Brighenti S., Iacobuzio R., Rolla M., von Hardenberg A., Bassano B. (2017). Involvement of recreational anglers in the eradication of alien brook trout from alpine lakes. Journal of Mountain Ecology, 10: 13-26.

IT24-M LAGUNE DEL SALENTO

Autori

Ilaria Rosati¹, Enrico Barbone², Genuario Belmonte³, Mario Ciotti³, Marisa Florio², Giorgio Mancinelli³, Maurizio Pinna³, Antonietta Porfido², Franca Sangiorgio³, Milad Shokri³, Elena Stanca², Maria Rosaria Vadrucci², Fabio Vignes³, Nicola Ungaro², Alberto Basset³

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Via Salaria Km 29,300, 00015 Montelibretti (Roma), Italia.

² Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente (ARPA Puglia), Corso Trieste 27, 70126 Bari, Italia.

³ Università del Salento, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Via Provinciale Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italia

DEIMS.ID: <https://deims.org/d7d881a5-69be-4e9a-8717-34d97bdf950f>

Referente macrosito: Ilaria Rosati, Alberto Basset

Siti di ricerca del macrosito:

Acquatina, IT24-001-M

Alimini IT24-002-M

Tipologia di ecosistema: marino / acque di transizione

Citare questo capitolo come segue: Rosati I., Barbone E., Belmonte G. *et al.* (2021). IT24 M Lagune del Salento, p. 721-735. DOI: 10.5281/zenodo.5584779. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

Il macrosito Lagune del Salento, entrato nella Rete LTER Italia nel 2014, comprende due ecosistemi acquatici di transizione situati nella costa meridionale della Puglia, Acquatina e Alimini, per i quali si dispone di dati ecologici a partire dagli anni '80. Acquatina è un bacino semi-artificiale ed oligotrofico con una superficie di 0,45 chilometri quadrati e una profondità media di 1.2 m. Il lago Alimini grande è una laguna salmastra e mesotrofica, disposta quasi parallelamente alla costa adriatica, che si estende su una superficie di 1,37 chilometri quadrati e con una profondità media di 1.5 m. Si tratta di ecosistemi relativamente incontaminati e di particolare interesse naturalistico, inclusi in



Fig. 1 - Attività di ricerca nelle lagune del Salento

“Rete Natura 2000” (IT9150003: “Acquatina Frigole”; IT:9150011: “Laghi Alimini”). Entrambi i siti rivestono anche un ruolo socio-economico per gli aspetti produttivi connessi con la pesca e il turismo. Dal 1985 il bacino di Acquatina e i terreni circostanti sono gestiti dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali dell’Università del Salento ed è oggetto di diversi studi scientifici. Alimini è oggetto di studio da parte del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali dell’Università del Salento da oltre 20 anni e dal 2008 è monitorato dall’Agenzia Regionale Protezione Ambiente della (ARPA), nell’ambito del Piano di monitoraggio quali-quantitativo dei corpi idrici superficiali della Regione Puglia, in attuazione della Direttiva Quadro sulle Acque (WFD, 2000/60/CE). Le principali attività di ricerca sono orientate allo studio dell’ecologia del fitoplancton, dello zooplankton, del macrozoobenthos e della fauna ittica, con particolare interesse alla composizione e struttura, ai tratti funzionali, alle interazioni trofiche e alle specie invasive.

Abstract

The Salento Lagoons site, a long-term ecological research site since 2014, comprises two transitional water ecosystems located on the southern coast of Apulia, Acquatina and Alimini, for which ecological data are available starting from 80s. Acquatina is a semi-artificial and oligotrophic basin with a surface area of 0.45 km² and an average depth of 1.2 m. Alimini is a brackish and mesotrophic lagoon, located almost parallel to the Adriatic coastline, which covers a surface area of 1.37 km² and has an average depth of 1.5 m. Both ecosystems are relatively pristine and of particular naturalistic interest, included in

Sites of Community Importance of the “Natura 2000 Network” (IT9150003: “Acquatina Frigole; IT:9150011: “Laghi Alimini”). They also have a socio-economic role for the productive aspects related to fishing and tourist activities. Since 1985, the Acquatina basin has been managed by the Department of Biological and Environmental Sciences and Technologies (DISTEBA) of the University of Salento and is the focus of several scientific studies. The Alimini lake is subject of study by the Department of Biological and Environmental Sciences and Tecnologies of the University of Salento from more than 20 years and since 2008 it is also subject of monitoring activities, according to the requirements of the 2000/60/EC Water Framework Directive, by the Apulia Agency for Environmental Safety (ARPA-Puglia). The main research activities are focused on the study of ecology of phytoplankton, zooplankton, macrozoobenthos and fish fauna, with particular interest in composition and structure, functional traits, trophic interactions and invasive species.

Acquatina

Autori

Ilaria Rosati¹, Genuario Belmonte², Mario Ciotti², Giorgio Mancinelli², Maurizio Pinna², Milad Shokri², Elena Stanca^{2,3}, Fabio Vignes², Alberto Basset²

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Via Salaria Km 29,300, 00015, Montelibretti (Roma), Italia.

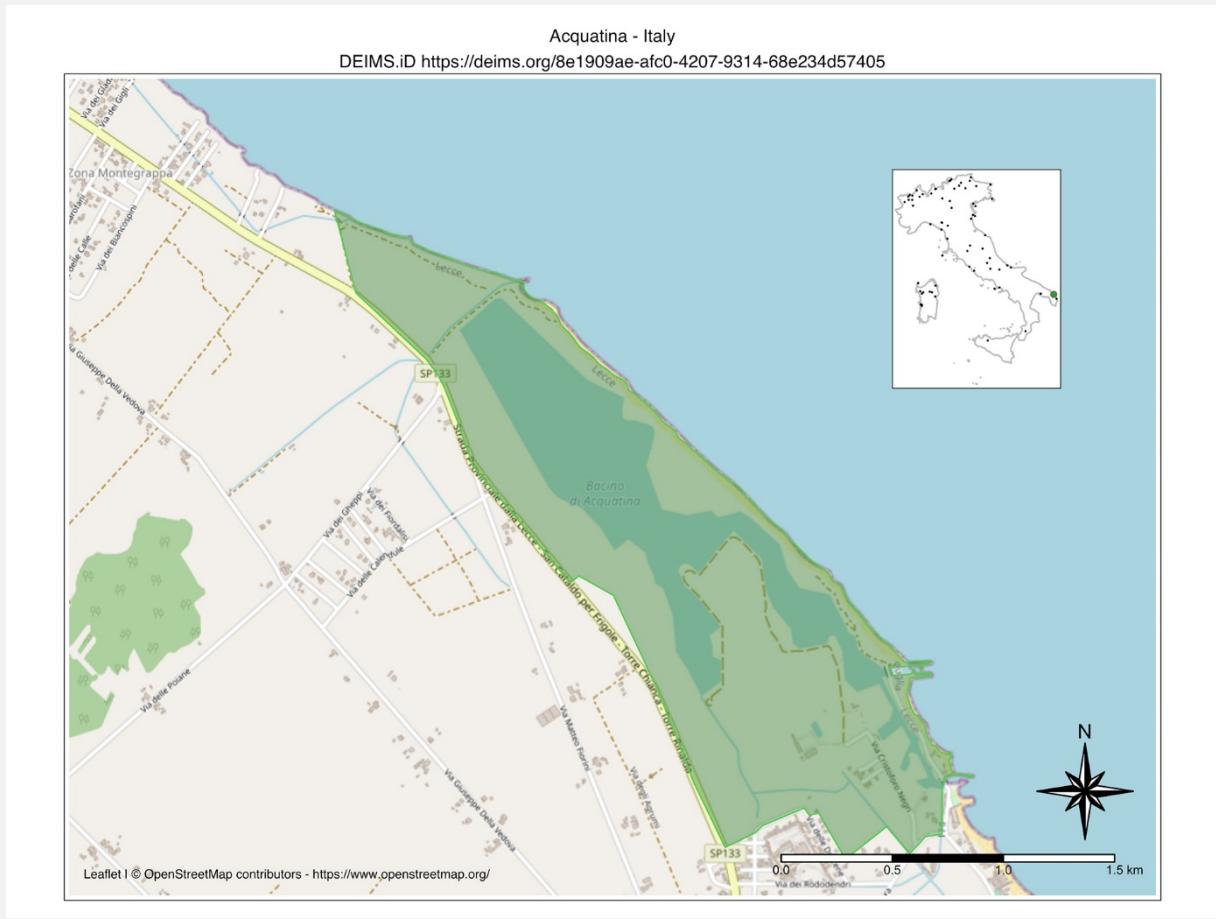
² Università del Salento, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Via Provinciale Lecce-Monteroni, 73100, Lecce, Italia

³ Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente (ARPA Puglia), Corso Trieste 27, 70126 Bari, Italia.

Sigla: IT24-001-M

DEIMS.ID: <https://deims.org/8e1909ae-afc0-4207-9314-68e234d57405>

Responsabile sito: Ilaria Rosati, Alberto Basset



Descrizione del sito e delle sue finalità

Acquatina è situata sul versante adriatico della penisola salentina, 14 chilometri a NE di Lecce, in località Frigole. Il bacino di Acquatina, in passato, era parte di un ampio sistema salmastro periodicamente sommerso dalle acque del Mare Adriatico. All'epoca dei normanni, questo territorio era noto con il nome di "Guadina" in quanto costituito da un'area impaludata periodicamente inondata dalle mareggiate e ricca di pregiate specie ittiche. Negli anni '30 in occasione della bonifica del territorio paludososo circostante la laguna, delimitando le acque salmastre con una muratura a secco, si prefigurò il bacino attuale. Esso comunica a SE con il mare mediante un canale lungo circa 400 m (le variazioni



Fig. 2 - Veduta sul bacino di Acquatina

giornaliere di marea, in quest'area, sono particolarmente basse – max 38 cm), si estende parallelamente alla costa con l'asse maggiore orientato NW-SE, a NW riceve acqua dolce (0.5-1.0 m³/sec.) da un canale di piccola portata, il Giammatteo.

Dal 1985 il bacino di Acquatina e la vasta area di terreni circostanti sono gestiti dal Dipartimento di

Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali dell'Università del Salento. A partire da quella data sono iniziati gli studi per valutare sia le caratteristiche chimico-fisiche che quelle biologiche, sebbene condotti ad intervalli irregolari. Le prime osservazioni risalgono al 1982, anno in cui è stato fatto il primo censimento della fauna ittica (Rossi & Corbari 1982) al quale sono seguite altre indagini nel 1997, 1998, 1999 (De Mitri 2009) e dal 2004 al 2008 (Lumare *et al.* 2009; Belmonte 2010) particolarmente nel contesto di progetti di acquacoltura estensiva. Nel corso degli anni le indagini svolte nel sito sono state ampliate e, in particolare, dal 1985 sono stati condotti diversi studi per valutare la dinamica e composizione del fitoplancton e zooplancton, tuttavia i dati sono stati raccolti in modo discontinuo. In particolare, per il fitoplancton sono state fatte osservazioni negli anni 1985-1986, 1992-1996 e 2007-2008 (Caroppo 2009); mentre per lo zooplancton negli anni 1985-1988, 1991-1995 e 2005-2006 (Belmonte *et al.* 2010). I primi studi sulla comunità macrozoobentonica risalgono al 1989 e proseguono sino al 1992 (Giangrande & Fraschetti 1996), riprendono nel 2006 e continuano tuttora ma con campionamenti sporadici e specifici su alcune categorie tassonomiche (Schirosi *et al.* 2010; Mancinelli *et al.* 2013; Boggero *et al.* 2017; Marocco *et al.* 2018). Infine, serie temporali di maggior durata ma sempre discontinue (anni 1985-1987, 1989-1991, 1993, 1995-1997, 2005-2008, 2012-2014, 2017-2018) si hanno per le principali caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, ossia temperatura, salinità, pH e ossigeno dissolto.

Le attività di ricerca di base e applicata svolte in tutti questi anni hanno permesso di raccogliere diverse tipologie di dati, sia del comparto abiotico che biotico, dando un'ampia comprensione delle caratteristiche ecologiche di questo sito. Negli ultimi 15 anni le condizioni ambientali generali sono cambiate a seguito degli interventi attuati dall'uomo, in particolare, a causa della riapertura del canale

situato a sud, è aumentata la salinità media grazie ad un rinnovato scambio idrico col mare e si è ridotto il forte gradiente di salinità preesistente. Il bacino di Acquatina possiede le caratteristiche chimico-fisiche tipiche dei bacini costieri salmastri, con temperatura, ossigeno dissolto e salinità che variano notevolmente non solo nel corso dell'anno, ma anche nel corso del giorno (a causa della bassa profondità). Durante l'inverno la temperatura dell'acqua può scendere sotto i 12°C e la salinità sotto il valore di 25 mentre la concentrazione dell'ossigeno dissolto mostra generalmente valori di 7-10 mg/litro; durante l'estate la temperatura sale a 33°C e la salinità può superare il valore di 35, mentre la concentrazione di ossigeno scende anche sotto i 5 mg/litro.

L'aumento degli scambi tra interno ed esterno della laguna ha portato anche al miglioramento delle condizioni trofiche, creando una serie di condizioni particolarmente idonee alla colonizzazione delle specie animali e vegetali in ogni area del lago di Acquatina. Il benthos di fondo molle della laguna di Acquatina è dominato dai policheti e la loro attuale distribuzione, rispetto a quanto osservato nei primi anni '90, evidenzia una maggiore omogeneità nelle varie zone del bacino ed un generalizzato aumento della diversità che rispecchiano un miglioramento dello stato di salute di Acquatina. Il cambiamento è sottolineato dalla comparsa di alcune specie di sillidi e la scomparsa della forma opportunista *Capitella capitata*, indicatrice di carico organico eccessivo, ma anche dalla drastica riduzione della specie *Naineris laevigata*, tipica di ambienti mesoalini, che dominava la comunità nei primi anni '90. In contrasto, *Heteromastus filiformis*, oggi dominante, era completamente assente in passato.

L'apertura del canale ha determinato anche un incremento della diversità fitoplanctonica, infatti, si riscontrano oltre a forme tipiche di ambienti salmastri come alcune diatomee ticopelagiche ed il dinoflagellato *Prorocentrum minimum*, anche forme di provenienza tipicamente marina come le diatomee *Chaetoceros* sp. ed il coccolitofide *Emiliania huxleyi*. La vivificazione del lago non sembra aver influenzato l'abbondanza cellulare, caratterizzata da incrementi cellulari nella stagione primaverile e autunnale. Le fluttuazioni dell'abbondanza cellulare nel corso dell'anno sono legate sia alla stagionalità sia all'idrodinamismo del bacino di Acquatina.

Lo zooplancton è composto da poche categorie tassonomiche ma, stagionalmente, mostra grandi abbondanze numeriche (maggio – settembre), soprattutto a carico di Copepoda della famiglia *Acartiidae* presenti nel bacino con almeno 4 specie (*Acartia margalefi*, *Acartia italica*, *Paracartia latisetosa*, *Pteriacartia josephinae*). La caratteristica saliente del popolamento è di accogliere organismi con breve ciclo vitale (o con la sospensione temporanea del ciclo) in grado di ovviare all'instabilità delle condizioni ambientali e all'arrivo imprevisto di condizioni sfavorevoli tipiche degli ecosistemi di transizione.

L'ultimo censimento sulla fauna ittica di Acquatina ha rilevato una maggiore diversificazione della componente alieutica (Lumare *et al.* 2010), rispetto al censimento dei primi anni '80. Il bacino è caratterizzato dalla presenza di un'ampia varietà di specie ittiche marine eurialine: Anguilliformi (*Anguilla anguilla*), Mugilidi (*Chelon labrosus*, *Chelon sapiens*, *Chelon auratus*, *Mugil cephalus*), Serranidi (*Dicentrarchus labrax*), Sparidi (*Diplodus punctazzo*, *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris*, *Lithognathus mormyrus*), Gobidi (*Zosterisessor ophiocephalus*), Mullidi (*Mullus barbatus barbatus*), Atherinidi (*Atherina boyeri*), Syngnathiformi (*Syngnathus acus*), Pleuronettiformi (*Solea solea*). *Atherina boyeri* è la specie più rappresentativa del bacino, mentre la famiglia meglio rappresentata come numero di specie è quella degli sparidi, seguita da quella dei mugilidi. L'analisi delle popolazioni di alcune specie di queste famiglie ha evidenziato, infine, come esse siano costituite soprattutto da esemplari agli stadi di avannotti e di giovanili, ponendo in risalto il ruolo di nursery naturale di tale ambiente. Anche i crostacei decapodi rappresentano una componente importante della produzione alieutica del lago di Acquatina. Le specie più frequenti risultano: *Carcinus aestuarii*, *Melicertus kerathurus*, reperibile allo stato giovanile in montata durante l'estate (Lumare & Lumare 2009), e *Palaemon serratus* (Lumare *et al.* 2009). Inoltre nel 2007 è stata segnalata, per la prima volta, la presenza della specie alloctona *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Lumare *et al.* 2010) e dal 2011 è oggetto di studi sistematici ad opera dei ricercatori dell'Università del Salento. Si tratta di una specie aliena invasiva, originaria dell'Atlantico occidentale, che ha esteso la sua distribuzione nella maggior parte delle acque costiere europee e in Giappone. Il suo successo di invasione è determinato dalla tolleranza ad ampie variazioni di salinità e temperatura, dall'alta fecondità,

dalle grandi dimensioni e dal comportamento aggressivo (Mancinelli *et al.* 2013; Mancinelli *et al.* 2017; Pagliari *et al.* 2018).

I dati ecologici raccolti negli ultimi dieci anni sono il risultato di osservazioni e ricerche svolte principalmente nell'ambito di tesi di laurea e di dottorato o frutto della passione e della dedizione di singoli ricercatori. Inoltre, dalla seconda metà del 2017, le attività didattiche e di divulgazione, anche di rilievo internazionale, si sono rafforzate, trasformando Acquatina in un autentico laboratorio su campo. Proprio durante una di queste attività sono stati rinvenuti, per la prima volta, esemplari di *Pinna nobilis* Linneaus, 1758 (Pinna *et al.* 2018). La scoperta, effettuata da un team di ricercatori e studenti italiani e stranieri, provenienti dal Kazakistan (progetto INTER-ASIA), sembra essere in controtendenza rispetto alla situazione attuale della specie. Probabilmente la laguna è utilizzata come nursery o habitat rifugio, avendo le condizioni ecologiche ottimali per la specie (Marrocco *et al.* 2018). Questa prima indagine ha suggerito di approfondire l'attività di ricerca attraverso un protocollo di monitoraggio congiunto e semplificato che permetterà di raccogliere dati utili per la conservazione di *Pinna nobilis* su una ampia scala spaziale, e di coinvolgere gruppi interessati di stakeholder e cittadini nella raccolta dei dati e nella salvaguardia della specie (progetto “IMPRECO” – Interreg ADRION Adriatic-Ionian Programme 2014-2020).

Divulgazione

Il Laboratorio di Ecologia – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali e il Museo su Ecologia degli Ecosistemi Mediterranei dell’Università del Salento, in collaborazione con la Società Italiana di Ecologia (SItE) e altri partner, promuove ed organizza ogni anno *EcologicaCup*, gara nazionale online di ecologia per studenti della scuola secondaria di primo e secondo grado. EcoLogicaCup fa leva sullo spirito di competizione di studenti e docenti, riuscendo in questo modo a offrire una motivazione aggiuntiva per accostarsi allo studio delle scienze naturali e, in particolare, all’ecologia. Nell’ambito di EcologicaCup vengono organizzate esperienze didattiche su campo presso il bacino di Acquatina. Inoltre, a partire dalla seconda metà del 2017, le attività didattiche, anche di rilievo internazionale, si sono rafforzate, trasformando Acquatina in un autentico laboratorio su campo, utile anche per azioni di divulgazione scientifica e di promozione degli sport acquatici ecosostenibili.

Prospettive Future

In futuro, si spera in una maggiore reperibilità di finanziamenti che possano potenziare e assicurare un’attività di ricerca continua nel sito. Ciò grazie anche al protocollo d’intesa firmato di recente tra Unisalento, Comune di Lecce e Regione Puglia, che mira a valorizzare il bacino e le sue annesse strutture così da renderle un’ulteriore risorsa per l’ambiente e l’economia del territorio.

Abstract

The University of Salento has been managing the Acquatina lagoon for more 25 years monitoring the different structural and functional features of the ecosystem. Macrofaunal communities are monitored from over 10 yr, as well as phytoplankton, zooplankton and some water parameters. Many research programs have been carried out in the ecosystem, financed by MIUR, Min. of Environment and by the European Council.

The main activities are oriented to study biodiversity and ecosystem functioning. The collected data mainly regard the phytoplanktonic, macrofaunal and fish guild, with particular attention to the morphofunctional characteristics. Various data are gathered with annual, seasonal and monthly frequency: the main chemical-physical parameters (temperature, pH, salinity, dissolved oxygen, nutrients, organic material); chlorophyll; taxonomy, abundance, biomass and morphofunctional traits of phytoplankton and macrofauna.

Autori

Ilaria Rosati¹, Enrico Barbone², Genuario Belmonte³, Mario Ciotti³, Marisa Florio², Giorgio Mancinelli³, Antonietta Porfido², Franca Sangiorgio³, Milad Shokri³, Elena Stanca², Maria Rosaria Vadrucci², Fabio Vignes³, Nicola Ungaro², Alberto Basset³

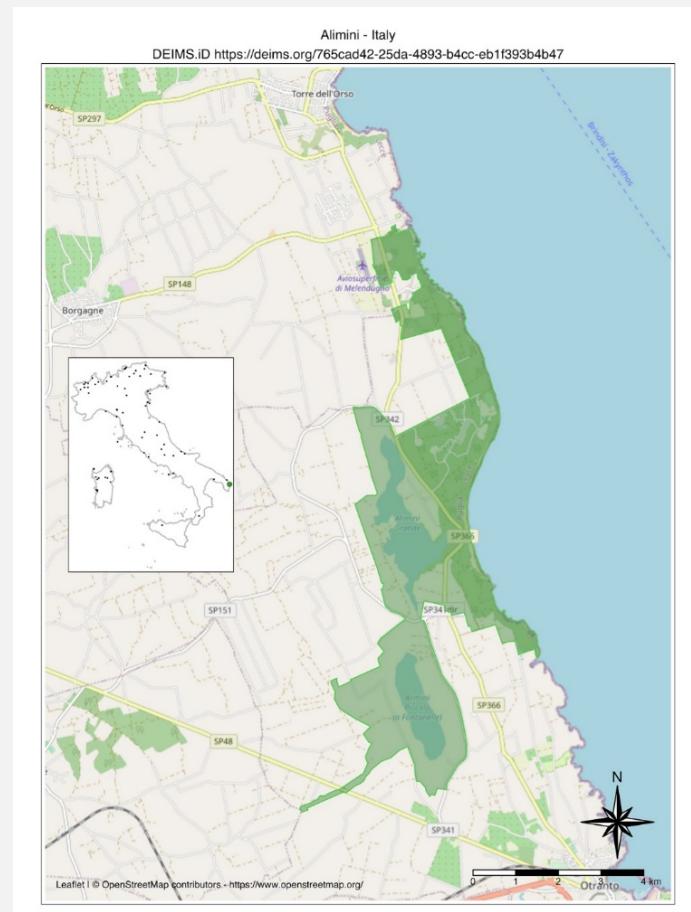
Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Via Salaria Km 29,300, 00015 Montelibretti (Roma), Italia.

² Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente (ARPA Puglia), Corso Trieste 27, 70126 Bari, Italia.

³ Università del Salento, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Via Provinciale Lecce-Monteroni, 73100 Lecce, Italia

Sigla: IT24-002-M



Descrizione del sito e delle sue finalità

Il lago Alimini Grande è un bacino di acqua salmastra situato a circa 38 km a sud di Lecce e a 7 km a nord di Otranto, sul litorale adriatico della penisola salentina. Il bacino occupa una depressione costiera



Fig. 3 - Veduta del lago Alimini

di forma oblunga, disposto quasi parallelamente alla costa ed è collegato al lago Alimini Piccolo attraverso un canale (lo Strittu) lungo circa 1300 m e largo dai 20 ai 30 m. L'input di acqua dolce in Alimini Grande si realizza attraverso il canale dello Strittu dal lago Alimini Piccolo, e da una serie di canali di bonifica distribuiti nella parte nord occidentale. Il canale dello Zuddeo di dimensioni maggiori, sfocia sul versante occiden-

tale del lago, ha origine da sorgenti sotterranee e presenta numerosi piccoli affluenti che raccolgono le acque del bacino imbrifero. Il canale dello Zuddeo provvede alla quota più rilevante dell'input totale di acqua dolce. Il passaggio delle acque del lago al mare è regolato da una paratoia costituita da una fitta maglia di ferro che permette di regolare l'entrata e l'uscita dei pesci che si spostano in laguna per motivi trofici e che si allontanano per motivi riproduttivi, tecnica usata fin dai tempi antichi per incrementare il prodotto ittico derivante dalla vallicoltura.

In base alle notizie storiche il Lago Alimini Grande sembra avere origine marina come rada formatasi anticamente per abrasione delle acque. Si può supporre che Alimini Grande fosse in passato un ampio seno marino in seguito chiuso totalmente o quasi dai sedimenti apportati dal mare. Molto probabilmente alla fine dell'epoca del Pliocene, l'estensione di Alimini era maggiore di quella attuale, così come la sua foce doveva essere larga almeno 250 metri e lontana circa 600 metri dalla attuale linea di costa. Lo sbarramento artificiale della foce, che si è praticato per parecchi secoli a scopo di pesca, impedì il libero flusso e riflusso dell'Adriatico nel lago e la corrente litoranea aumentò la sabbia dinanzi a quest'ostacolo, portando man mano al restringimento con successivi insabbiamenti della foce fino a 30 metri.

Alcuni ritrovamenti testimoniano che il territorio dei Laghi Alimini è abitato dall'uomo sin dal Paleolitico Medio. Numerose informazioni sui Laghi Alimini e sulla loro gestione derivano dalla storiografia. Le prime notizie circa i Laghi Alimini ed il territorio circostante risalgono al 1200 in cui si sanciva la proprietà dell'area degli Alimini alla Mensa Arcivescovile della città di Otranto (giugno 1295). Durante il Medioevo questa zona fu fiorente di paesi, villaggi, casali e conventi religiosi. Diversi documenti riferiscono un grande interesse da parte delle famiglie nobiliari per i bacini, derivante dall'affitto del "laco pescatorio", detto Alimini, per motivi oltre che di vallicoltura anche di taglio del giunco. Dopo un periodo di abbandono, l'interesse economico verso quest'area riprese intorno alla fine del XVIII secolo, tempo in cui iniziarono a verificarsi diverse contese giuridiche sul diritto di proprietà del territorio. Nel XIX secolo, parte del comprensorio dei laghi passò al Demanio con successive contese giudiziarie protrattesi fino ai nostri giorni. Attualmente Alimini è in concessione privata con diritto esclusivo di pesca.

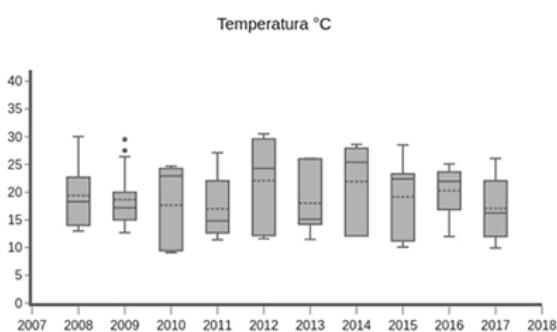


Fig. 4 - Variazione interannuale di temperatura dal 2008 al 2017

proseguono sino al 2001, riprendono nel 2004-2005 e continuano dal 2008 ad oggi (Mancinelli *et al.* 2005; Galuppo *et al.* 2007; Sangiorgio *et al.* 2007; Mancinelli *et al.* 2017; DGR n.1952/2015). Le serie temporali di maggior durata ma sempre discontinue (anni 1996-2001, 2004-2005, 2008-2018) si hanno per le principali caratteristiche chimico-fisiche (temperatura, salinità, ossigeno dissolto e pH) e della trofia delle acque ossia nutrienti, clorofilla, densità cellulare e produttività primaria (Vignes *et al.* 1999; Vadrucci *et al.* 2004; Basset *et al.* 2007; DGR n.1952/2015). Infine, a partire dal 2008, anno in cui Alimini entra a far parte della rete europea di monitoraggio per La Direttiva Europea 2000/60/CE (WFD), sono disponibili anche dati sulla fauna ittica e sulle macrofite (DGR n.1952/2015).

Le attività di ricerca e di monitoraggio svolte a intervalli irregolari fino al 2008 e con continuità fino ad oggi, hanno consentito l'acquisizione di un'ingente quantità di dati, sia del comparto abiotico che biotico, utilizzabili per una visione temporale dello stato chimico-fisico ed ecologico del sito. L'evoluzione pluriennale (2008-2017) di alcune caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua, quali temperatura, salinità e ossigeno dissolto evidenziano forti variazioni interannuali e minori variazioni tra anni (Figg. 4-5-6). La figura 7 illustra l'evoluzione pluriennale (2008-2017) della biomassa fitoplanctonica, evidenziando sia la elevata variabilità interannuale che la tendenza alla meso-oligotrofia del sistema.

I principali risultati del monitoraggio, eseguito da Arpa Puglia nel periodo 2008-2016, hanno evidenziato una variazione dello stato di qualità ecologico di Alimini da cattivo a sufficiente (Tab. 1). Tuttavia, i risultati della valutazione sono stati, spesso, non congruenti sia tra elementi di qualità biologica (EQB) analizzati, che tra indici per lo stesso elemento di qualità. Per quanto riguarda l'EQB

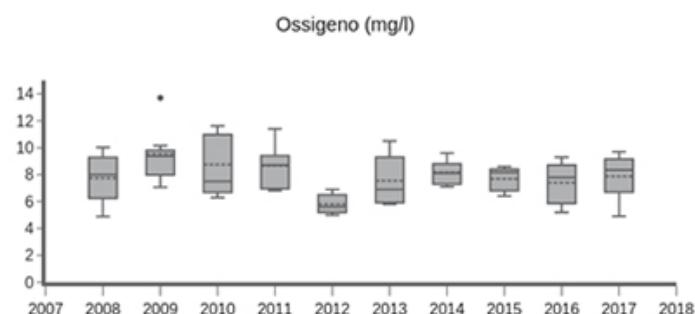


Fig. 6 - Variazione interannuale di ossigeno dal 2008 al 2017

La raccolta dei dati è iniziata alla fine degli anni '80, è tuttora in corso, e riguarda principalmente le variabili ambientali di base e quelle relative, allo studio dello stato trofico, dell'ecologia del fitoplancton, del macrozoobenthos e della fauna ittica. In particolare, per il fitoplancton sono state fatte osservazioni negli anni 1998-2000, 2004-2005 e 2008-2018 (Vadrucci *et al.* 2004; Sabetta *et al.* 2008; DGR n.1952/2015); mentre per lo zooplancton negli anni 1989-2000 (Rubino *et al.* 2002; Moscatello *et al.* 2004). I primi studi sulla comunità macrozoobentonica risalgono al 1997 e

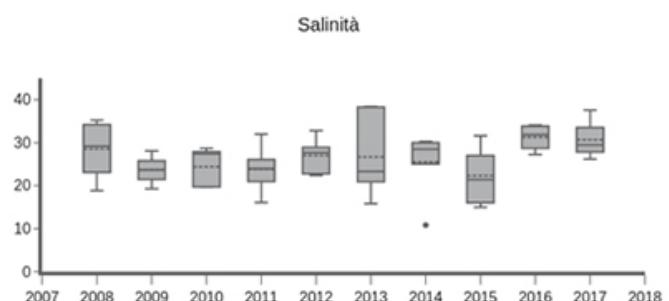


Fig. 5 - Variazione interannuale di salinità dal 2008 al 2017

"Macroinvertebrati bentonici", l'indice M-AMBI, tende a classificare negativamente mentre il BITS attribuisce sempre, tranne che per l'anno 2014-2015, valori più elevati. Questo potrebbe essere imputato al fatto che, essendo l'M-AMBI un indice di derivazione marina, influenzato dalla salinità e dal grado di confinamento, tende a classificare negativamente gli ecosistemi

acquatici di transizione che presentano, a causa della loro idromorfologia, condizioni “naturali” caratterizzate da ridotti scambi con il mare e da situazioni di confinamento. L’indice BITS, creato specificatamente per le acque di transizione, sembra dunque essere più coerente, nella classificazione dello stato ecologico, rispetto ad un eventuale “giudizio esperto” sulla qualità dei corpi idrici monitorati. Per questa ragione, a partire dal 2016, l’indice BITS viene utilizzato in sostituzione dell’indice M-AMBI

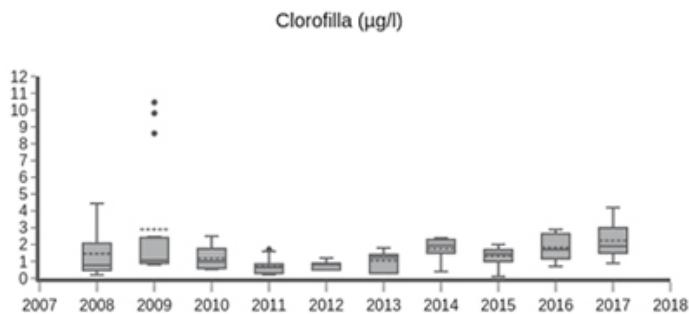


Fig. 7 - Variazione interannuale della clorofilla a dal 2008 al 2017

al fine della valutazione dell’EQB “Macroinvertebrati bentonici” nelle acque di transizione pugliesi. L’indice multimetrico Habitat Fish Index (HFI), utilizzato per valutare lo stato di qualità dell’elemento biologico “fauna ittica”, attribuisce ad Alimini sempre uno stato ecologico sufficiente, eccezion fatta per l’anno 2010-2011 (Tab.1).

Tab. 1 - Valori e classi di qualità degli indici M-AMBI, BITS e HFI per la valutazione dello stato ecologico di Alimini

Anno	EQB Macroinvertebrati Bentonici				EQB Fauna Ittica	
	M-AMBI	BITS	Classe di Qualità M-AMBI	Classe di Qualità BITS	HFI	Classe di Qualità HFI
2008-2009	0.36	0.92	Cattivo	Elevato		
2010-2011	0.52	0.94	Scarso	Elevato	33	Scarso
2012-2013	0.59	1.11	Sufficiente	Elevato	41	Sufficiente
2013-2014	0.56	1.14	Scarso	Elevato	38	Sufficiente
2014-2015	0.57	0.65	Sufficiente	Sufficiente	39	Sufficiente
2016		1.04		Elevato	38	Sufficiente

Prospettive Future

In futuro, si spera in una maggiore reperibilità di finanziamenti che possano supportare attività di ricerca mirate oltre a quelle di monitoraggio eseguite regolarmente da Arpa Puglia. Inoltre l’Università del Salento e l’Arpa Puglia, entrambi membri della Joint Research Unit di LifeWatch Italia (LifeWatch ITA), il nodo nazionale dell’infrastruttura di eScience per la ricerca su biodiversità ed ecosistemi (LifeWatch ERIC), contribuiranno al potenziamento del Data Centre di LifeWatch ITA (progetto LifeWatchPLUS; PNIR 2014-2020) rendendo reperibili, accessibili, interoperabili e riutilizzabili (FAIR) anche le risorse di dati raccolte nel sito Alimini.

Divulgazione

Il Laboratorio di Ecologia - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali e il Museo su Ecologia degli Ecosistemi Mediterranei dell’Università del Salento, in collaborazione con la Società Italiana di Ecologia (SItE) e altri partner, promuove ed organizza ogni anno *EcologicaCup*, gara nazionale online di ecologia per studenti della scuola secondaria di primo e secondo grado. EcoLogicaCup fa leva sullo spirito di competizione di studenti e docenti, riuscendo in questo modo a offrire una motivazione aggiuntiva per accostarsi allo studio delle scienze naturali e, in particolare, all’ecologia. Nell’ambito di EcologicaCup vengono organizzate esperienze didattiche su campo presso il lago di Alimini.

Abstract

The Alimini Grande Lake has an elongate shape that develops almost parallel to the Adriatic coastline and overall its extension is 1,37 sqkm. It is linked to the Alimini Piccolo by a canal called Lu Strittu, 1300 metres long and from 10 up to 30 meters wide. The chemical-physical characteristics of the waters such as temperature, salinity and dissolved oxygen concentration have been studied for long time. The average salinity is 26.8 with a minimum of 2.7 in winter and a maximum of 41 in summer. Regarding the temperature, it shows the typical seasonal trend with the least minimum temperature recorded between December and January.

The main activities are oriented to study biodiversity and ecosystem functioning. The collected data mainly regard the phytoplanktonic, macrobenthic and fish guild, with particular attention to the morphofunctional characteristics. In particular the data concerns: the main chemical-physical parameters (temperature, pH, salinity, dissolved oxygen, nutrients, organic material); chlorophyll; taxonomy, abundance, biomass and morphofunctional traits of phytoplankton and macrobenthos.

Sitografia

<http://www.lteritalia.it/it/siti/alimini>
<http://www.lteritalia.it/siti/acquatina>
<http://www.circlemednet.unisalento.it/TWDataPlatform.aspx>
<http://www.servicecentrelifewatch.eu/catalogue-of-resources>

Bibliografia del macrosito

Riviste ISI

- Basset A., Galuppo N. & Sabetta L. (2007). Environmental heterogeneity and benthic macroinvertebrate guilds in Italian lagoons. *Transitional Waters Bulletin* 1: 48-63.
- Boggero A., Ruocco M., Shokri M., Gjoni V., Ansaloni I., Zaupa S., Montagna M. and Rossaro B. (2017). Chironomus (*Chironomus*) *aprilinus* Meigen, 1818 (Diptera Chironomidae), first record from Italy: cytotoxicity and ecology. *REDIA* 100, 11-17.
- Galuppo N., Maci S., Pinna M. & Basset A. (2007). Habitat types and distribution of benthic macroinvertebrates in a transitional water ecosystem: Alimini Grande (Puglia, Italy). *Transitional Waters Bulletin* 1:9-19.
- Giangrande A., Fraschetti S. (1996). Effects of short term environmental change on a brackish water polychaete community. *Marine Ecology* 17: 321-332.
- Mancinelli G., Carrozzo L., Costantini M.L., Rossi L., Marini G., Pinna M. (2013). Occurrence of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 in two Mediterranean coastal habitats: Temporary visitor or permanent resident? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135: 46.
- Mancinelli G., Guerra M.T., Alujević K., Raho D., Zotti M., Vizzini S. (2017). Trophic flexibility of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* in invaded coastal systems of the Apulia region (SE Italy): A stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 198: 421-431.
- Mancinelli G., Sabetta L. & Basset A. (2005). Short-term patch dynamics of macroinvertebrate colonization on decaying reed detritus in a Mediterranean lagoon (Lake Alimini Grande, Apulia, SE Italy). *Marine Biology* 148: 271-283.
- Marrocco V., Sicuro A., Zangaro F., Pinna M. (2018). First record of the protected species *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758) in the Aquatina Lagoon (NATURA 2000 site IT9150003, South-East Italian coastline). *Nature Conservation* 28: 51-59.

-
- Moscatello S., Rubino F., Saracino O.D., Fanelli G., Belmonte G., Boero F. (2004). Plankton biodiversity around the Salento Peninsula (South East Italy): an integrated water/sediment approach. *Scientia Marina*, 68: 85-102.
- Pagliara P., Mancinelli G. (2018). Parasites affect hemocyte functionality in the hemolymph of the invasive Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* from a coastal habitat of the Salento Peninsula (SE Italy). *Mediterranean Marine Science* 19(1). 193-200.
- Rubino F., Moscatello S., Saracino O.D., Fanelli G., Belmonte G. & Boero F. (2002). Plankton-Derived Resting Stages in Marine Coastal Sediments along the Salento Peninsula (Apulia, South-Eastern Italy). *Marine Ecology*, 23, 329-339.
- Vadrucci M.R., Semeraro A., Zaccarelli N., Bassett A. (2004). Nutrient loading and spatial-temporal dynamics of phytoplankton guilds in a Southern Italian coastal lagoon (Lake Alimini Grande, Otranto, Italy). *Chemistry and Ecology* 20: 285-301.
- Sabatella L., Vadrucci M.R., Fiocca A., Stanca E., Mazziotti C., Ferrari C., Cabrini M., Kongka E., Bassett A. (2008). Phytoplankton size structure in transitional water ecosystems: a comparative analysis of descriptive tools. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18: S76-S87.
- Schirosi R., Musco L., Giangrande A. (2010). *Benthic assemblage of Acquatina Lake (South Adriatic Sea): present state and long-term faunistic changes*. *Scientia Marina* 74(2): 235-246.

Riviste non ISI

- Belmonte G. (2010). Il Lago di Acquatina Storia degli Studi. *Thalassia Salentina*, 31: 3-7.
- Belmonte G., Moscatello S., Pati A.C., Posi M.E. (2010). Lo Zooplancton. *Thalassia Salentina* 31: 37-48.
- Caroppo C. (2010). Le comunità fitoplanctoniche del lago di Acquatina (Mar Adriatico Meridionale). *Thalassia Salentina* 31: 29-36.
- De Mitri R. (2004). Pesci e crostacei decapodi del bacino di Acquatina (Lecce). *Thalassia Salentina* 27: 21-32.
- Lumare D., Lumare L. (2009). Migrazione e accrescimento dei giovanili del Crostaceo Decapode (Penaeidae) *Melicertus kerathurus* Forskål 1775 nel lago di Acquatina. *Thalassia Salentina* 31: 117-126.
- Lumare D., Lumare L., Scirocco T., Florio M. and Lumare F. (2010). Composizione strutturale e dinamica del pescato nel lago di Acquatina. *Thalassia Salentina* 31: 63-82.
- Lumare L., Lumare D., Florio M., Scirocco T., Lumare F. (2009). I Crostacei Decapodi del lago di Acquatina: struttura delle popolazioni e ciclo riproduttivo. *Thalassia Salentina* 31: 83-102.
- Pinna M., Marrocco V., Zangaro F., Sicuro A., Giallongo G., Bizhanova N., Utebayeva G., Marini G. and Specchia V. (2018). Il bivalve più grande del Mediterraneo, *Pinna nobilis*, nella Laguna di Acquatina: indagini preliminari e prospettive. *Il Bollettino* 8-9: 15-18.
- Rossi R., Corbari L. (1982). Analisi biologica del pescato del lago di Acquatina (Adriatico Sud-Orientale: Puglia) nel periodo 1976-79. *Memorie di Biologia Marina ed Oceanografia* 12 (2): 115-133.
- Vignes F., Fiocca A., Sammarco P., Vadrucci M.R., Magazzu G. (1999). Ciclo annuale delle caratteristiche chimico-fisiche e trofiche del lago Alimini Grande (Lecce). *Biologia Marina Mediterranea* 6:514-520.

Capitolo di libro

- Sangiorgio F., Pinna M., Bassett A. (2007). The litter bag technique for studying detritus decomposition in aquatic ecosystems. A case study in the South of Italy (Lake Alimini). *Rivers and citizens. Cross-border experiences in environmental protection and sustainable development* 1: 118-129.

Report

Deliberazione della giunta regionale 03 novembre 2015, n. 1952. Corpi idrici superficiali. Classificazione triennale dello stato di qualità (ecologico e chimico) ai sensi del D.M. 260/2010.

Prodotti del sito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Basset A., Galuppo N. & Sabetta L. (2007). Environmental heterogeneity and benthic macroinvertebrate guilds in Italian lagoons. *Transitional Waters Bulletin* 1: 48-63.
- Boggero A., Ruocco M., Shokri M., Gjoni V., Ansaloni I., Zaupa S., Montagna M. and Rossaro B. (2017). Chironomus (*Chironomus*) *aprilinus* Meigen, 1818 (Diptera Chironomidae), first record from Italy: cytotaxonomy and ecology. *REDIA* 100, 11-17.
- Galuppo N., Maci S., Pinna M. & Basset A. (2007). Habitat types and distribution of benthic macroinvertebrates in a transitional water ecosystem: Alimini Grande (Puglia, Italy). *Transitional Waters Bulletin* 1:9-19.
- Mancinelli G., Carrozzo L., Costantini M.L., Rossi L., Marini G., Pinna M. (2013). Occurrence of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 in two Mediterranean coastal habitats: Temporary visitor or permanent resident? *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 135: 46.
- Mancinelli G., Guerra M.T., Alujević K., Raho D., Zotti M., Vizzini S. (2017). Trophic flexibility of the Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* in invaded coastal systems of the Apulia region (SE Italy): A stable isotope analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 198: 421-431.
- Marrocco V., Sicuro A., Zangaro F., Pinna M. (2018). First record of the protected species *Pinna nobilis* (Linnaeus 1758) in the Aquatina Lagoon (NATURA 2000 site IT9150003, South-East Italian coastline). *Nature Conservation* 28: 51-59.
- Pagliara P., Mancinelli G. (2018). Parasites affect hemocyte functionality in the hemolymph of the invasive Atlantic blue crab *Callinectes sapidus* from a coastal habitat of the Salento Peninsula (SE Italy). *Mediterranean Marine Science* 19(1). 193-200.
- Sabetta L., Vadrucci M.R., Fiocca A., Stanca E., Mazziotti C., Ferrari C., Cabrini M., Kongka E., Basset A. (2008). Phytoplankton size structure in transitional water ecosystems: a comparative analysis of descriptive tools. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 18: S76-S87.
- Schirosi R., Musco L., Giangrande A. (2010). *Benthic assemblage of Acquatina Lake (South Adriatic Sea): present state and long-term faunistic changes*. *Scientia Marina* 74(2): 235-246.

Riviste non ISI

- Belmonte G. (2010). Il Lago di Acquatina Storia degli Studi. *Thalassia Salentina*, 31: 3-7.
- Belmonte G., Moscatello S., Pati A.C., Posi M.E. (2010). Lo Zooplankton. *Thalassia Salentina* 31: 37-48.
- Caroppo C. (2010). Le comunità fitoplanctoniche del lago di Acquatina (Mar Adriatico Meridionale). *Thalassia Salentina* 31: 29-36.
- Lumare D., Lumare L. (2009). Migrazione e accrescimento dei giovanili del Crostaceo Decapode (Penaeidae) *Melicertus kerathurus* Forskål 1775 nel lago di Acquatina. *Thalassia Salentina* 31: 117-126.
- Lumare D., Lumare L., Scirocco T., Florio M. and Lumare F. (2010). Composizione strutturale e dinamica del pescato nel lago di Acquatina. *Thalassia Salentina* 31: 63-82.
- Lumare L., Lumare D., Florio M., Scirocco T., Lumare F. (2009). I Crostacei Decapodi del lago di Acquatina: struttura delle popolazioni e ciclo riproduttivo. *Thalassia Salentina* 31: 83-102.

Pinna M., Marrocco V., Zangaro F., Sicuro A., Giallongo G., Bizhanova N., Utebayeva G., Marini G. and Specchia V. (2018). Il bivalve più grande del Mediterraneo, *Pinna nobilis*, nella Laguna di Acquatina: indagini preliminari e prospettive. *Il Bollettino* 8-9: 15-18.

Capitolo di libro

Sangiorgio F., Pinna M., Basset A. (2007). The litter bag technique for studying detritus decomposition in aquatic ecosystems. A case study in the South of Italy (Lake Alimini). *Rivers and citizens. Cross-border experiences in environmental protection and sustainable development* 1: 118-129.

Report

Deliberazione della giunta regionale 03 novembre 2015, n. 1952. Corpi idrici superficiali. Classificazione triennale dello stato di qualità (ecologico e chimico) ai sensi del D.M. 260/2010.

IT25-T VAL MAZIA/MATSCHERTAL

Autori

Veronika Fontana¹, Georg Niedrist¹, Roberta Bottarin¹, Francesco Comiti², Giacomo Bertoldi¹, Stefano Della Chiesa¹, Johannes Klotz¹, Nikolaus Obojes¹, Alberto Scotti¹, Julia Seeber¹, Michael Steinwandter¹, Erich Tasser¹, Alessandro Zandonai¹, Michael Engel², Georg Wohlfahrt³, Ulrike Tappeiner¹

Affiliazione

¹ Istituto per l'Ambiente Alpino, Eurac Research, Viale Druso 1, 39100 Bolzano, Italia.

² Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Piazza Università 5, 39100 Bolzano, Italia.

³ University of Innsbruck, Department of Ecology, Sternwartestraße 15, 6020 Innsbruck, Austria.

DEIMS.ID: <https://deims.org/11696de6-0ab9-4c94-a06b-7ce40f56c964>

Referente macrosito: Ulrike Tappeiner

Siti di ricerca del macrosito:

Monteschino, IT25-001-T

Bacino idrografico Saldura, IT25-002-T

Rio Saldura, IT25-003-T

Area proglaciale Mazia, IT25-004-T

Tipologia di ecosistema: terrestre

Citare questo capitolo come segue: Fontana V., Niedrist G., Bottarin R. *et al.* (2021). 25-T Val di Mazia/Matschertal, p. 737-762. DOI: 10.5281/ZENODO.5584781. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della biodiversità e dei cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

Descrizione del macrosito e delle sue finalità

La Val Mazia si trova nelle Alpi Centrali nella parte occidentale della Provincia Autonoma di Bolzano in Nord Italia. La valle si estende da Sluderno in Val Venosta per circa 15 km in direzione nordorientale su una superficie di circa 100 km². I quattro siti LTER



Fig. 1 - Veduta sulla Val Mazia

“Monteschino”, “Bacino idrografico del Rio Saldura”, “Rio Saldura” e “Area proglaciale Mazia” si distribuiscono a partire dall’ingresso della valle a 950 m fino alla zona nivale del ghiacciaio Palla Bianca a circa 3000 m. La presenza del ghiacciaio Palla Bianca (3738 m) nell’area di ricerca permette di effettuare preziose analisi sul ruolo dello

scioglimento dei ghiacciai sul bilancio idrico totale e grazie a un bacino idrografico chiuso, la valle si presta per la calibrazione di parametri di modelli idrologici. Con delle precipitazioni medie di 525 mm annue (a 1500 m di quota), la Val Mazia è una delle zone più aride dell’arco alpino. Nella valle è già visibile ora quello che potrebbe accadere in altre aree alpine dove l’aridità potrebbe far parte di un futuro scenario climatico.

Il villaggio principale di nome Mazia comprende 458 abitanti ed è situato a 1600m di quota. La Val di Mazia presenta una densità demografica relativamente bassa e il suolo è utilizzato prevalentemente per scopi agricoli. In questa valle sono presenti numerosi tipi di coltivazioni tipiche dell’agricoltura montana, dalle praterie ai prati magri, dai pascoli ai lariceti. Questo paesaggio a mosaico si è evoluto insieme alla popolazione rurale presente ed è fortemente dipendente dall’azione dell’uomo.

Per questo la ricerca nel macrosito Val Mazia/Matschertal segue un approccio olistico e riguardante l’intero paesaggio. I quattro siti individuati coprono sia diverse scale spaziali, sia un ampio spettro altitudinale. L’obiettivo principale della ricerca nel macrosito è quello di considerare l’intero paesaggio alpino e le sue funzioni, per capire al meglio come si comportano e come interagiscono i singoli componenti, ovvero gli ecosistemi, specialmente nel contesto del cambiamento climatico e dei cambiamenti dell’uso del suolo.

Le prime analisi ecologiche in Val Mazia sono state effettuate nell’autunno 2008, mentre la prima stazione microclimatica è stata installata nel 2009. Lo scopo iniziale dei primi rilevamenti era quello di analizzare le praterie montane con particolare attenzione agli effetti del cambiamento climatico sul microclima, sulla diversità della vegetazione e sulla produzione di foraggio. Da allora le misurazioni sono state eseguite regolarmente e con frequenza crescente permettendo così, negli ultimi anni, di concentrare la ricerca sui processi ecologici e di effettuare analisi spaziali e temporali (analisi storiche, analisi dei processi attuali e futuri).

Oltre alle misure microclimatiche, all'imbocco della valle si trova un transetto altitudinale che permette di studiare vari impatti climatici con esperimenti manipolativi, come il trapianto di interi blocchi di vegetazione. Alcuni rilievi vengono ripetuti periodicamente come la mappatura della vegetazione, dell'uso e del tipo di suolo.

Le attività scientifiche si concentrano su processi ecologici e comprendono analisi storiche, attuali, ma anche proiezioni nel futuro considerando più scale spaziali, tenendo conto che si tratta di un bacino altamente condizionato dalla presenza dell'uomo.

Abstract

The Matsch valley covers a surface of 100 km² and is 15 km long. It is branching off the main Valley, Vinschgau, situated in the westernmost part of South Tyrol, in the Central Alps, in the northernmost province of Italy.

The four LTER sites “Muntatschinig”, “Saldur River Catchment”, “Saldur River” and “Proglacial area Matsch” are distributed from the lower reaches of the valley at 950 m to the nival zone of glacier Matscher Ferner (app. 3000 m a.s.l.). The peak Weißkugel/Palla Bianca (3738 m a.s.l.), which dominates the Matscher Ferner, closes the valley off to the northeast. The presence of a glacier enables investigations on the role of glacial runoff into the water regime of a typical inner-Alpine valley and, due to the closed catchment, the Matsch valley is suited for parameterizing hydrological models. With an average of 525 mm of precipitation per year (at 1600 m a.s.l.), the Matsch valley is one of the driest valleys in the Alps. The aridity may be representative of future scenarios in other regions and thus, the Matsch valley can serve as a reference area. The main village Matsch is located at 1600 m a.s.l. and has a population of 458 people. The valley has very few other settlements and is primarily used for farming. The range of land use types is representative of agricultural practices in mountainous regions of the Alps, including cultivated fields, poor- and high-yield meadows, pastureland and typical low-density larch forests. Over centuries of land-use a landscape mosaic has developed which is strongly dependent of human action. This is why we developed a holistic landscape approach with 4 research sites covering several spatial scales and an altitudinal range for our mainly climate change related studies in Matsch valley.

First ecological investigations in Matsch valley began in 2008, while the first automated microclimate station was installed in 2009. The original goal was to investigate the effects of a changing climate on specific microclimates, plant diversity and the yield of typical grasslands in mountainous regions. Investigations follow an integrated approach, both over time (historical analyses, current processes and future scenarios) and across spatial scales (single test plots to entire landscapes and across ecosystem types).

An altitudinal transect within the human influenced catchment is used for climate simulation experiments e.g. for grassland transplantation experiments to model the impact of warmer temperatures on plot samples. Some parameters have been mapped periodically, such as vegetation, landscape type or soil type.

Autori

Veronika Fontana¹, Georg Niedrist¹, Roberta Bottarin¹

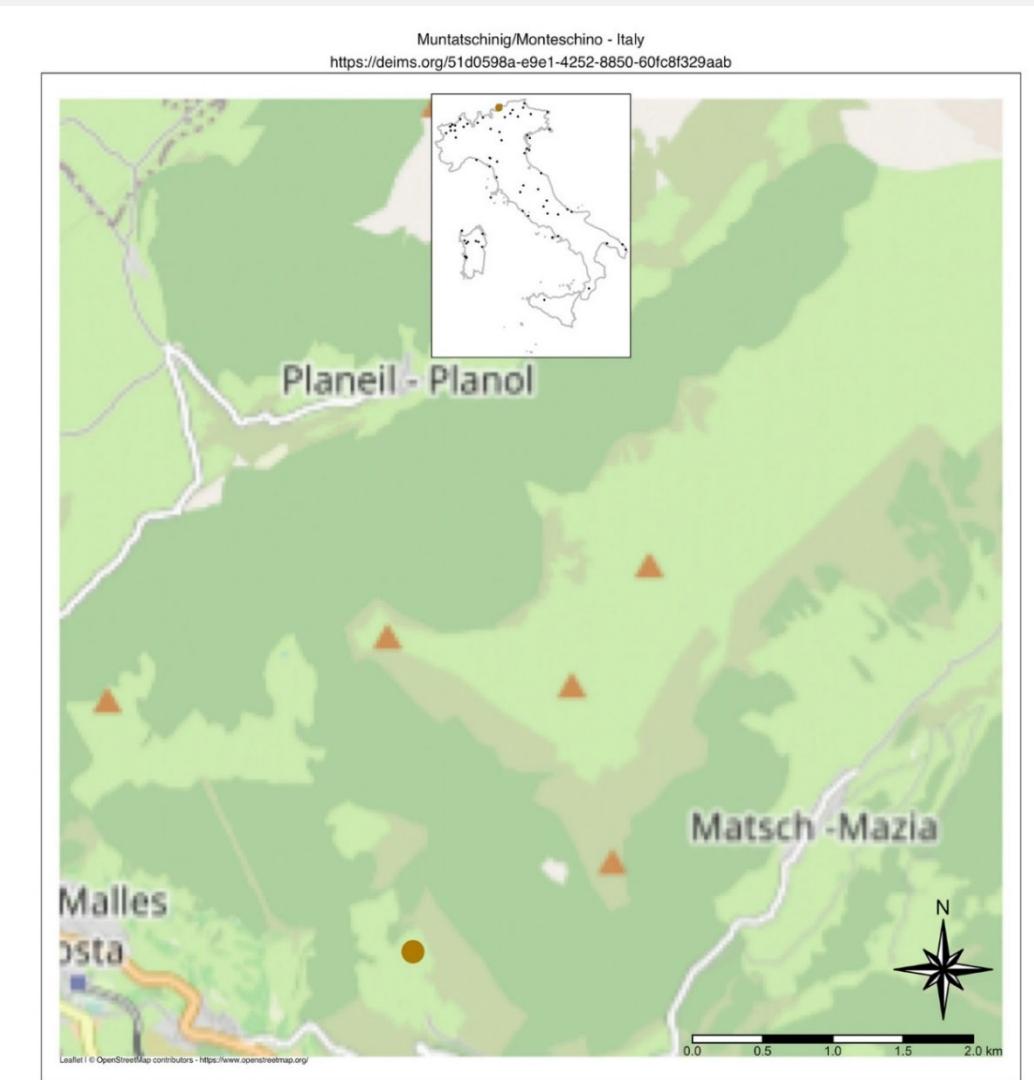
Affiliazione

¹ Istituto per l'Ambiente Alpino, Eurac Research, Viale Druso 1, 39100 Bolzano, Italia

Sigla: IT25-001-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/51d0598a-e9e1-4252-8850-60fc8f329aab>

Responsabile sito: Georg Niedrist



Descrizione del sito

Il sito Monteschino (Muntatschinig) si trova ad una quota di 1480 m s.l.m. all'imbocco della Val Mazia. Il sito è stato istituito nell'autunno del 2009 con una stazione microclimatica e primi rilievi nell'ambito di un progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Bolzano. I parametri

temperatura e umidità dell'aria, velocità e direzione del vento, precipitazioni, altezza della neve e della vegetazione, temperatura del suolo, contenuto idrico del suolo, potenziale idrico del suolo, radiazione solare (ad onda lunga e corta) e radiazione fotosintetica attiva vengono registrati e trasmessi ogni 15 minuti. Durante gli ultimi anni le misurazioni delle attività sono state continuamente intensificate. Nel 2010 è stata installata una stazione per il monitoraggio dei flussi di calore, vapore e carbonio (“Eddy Covariance”) da parte dell'Università di Innsbruck.

Fig. 2 - Il sito di Monteschino

Nello stesso anno, sono stati montati 9 lisimetri a pesata automatica per ottenere dei punti di informazione sull'evapotraspirazione (ET) e sull'efficienza dell'uso dell'acqua (WUE). Nel 2012 sono stati eseguiti inoltre esperimenti di rain-out shelter che simulano la siccità dei mesi estivi e dei primi mesi dell'anno. Dal 2014, nell'ambito del progetto HiResAlp, la rete di monitoraggio dell'umidità del terreno è stata estesa a 5 stazioni tra le quali una seconda stazione per misurare microclima, flussi di CO₂ etc. nei pascoli vicini, per valutare meglio le differenze tra i vari tipi di uso del suolo agricolo nella regione. Grazie a questa densa rete di infrastrutture in una zona limitata ma complessa riguardo l'aspetto idrologico, Monteschino è stato scelto come sito di calibrazione per la campagna Soil Moisture Active Passive (SMAP) della NASA (Colliander *et al.* 2017). Nell'ambito del progetto MONALISA (Autonoma Prov. di Bolzano) il sito è stato attrezzato con sensori ottici (PRI, NDVI, fenocamera) per monitorare la fenologia di specie vegetali e rilevare le differenze tra pascoli e prati intensivi.

La ricerca che viene svolta nel sito Monteschino (Muntatschinig) è strettamente legata alle attività del sito Bacino idrografico del Rio Saldura, nel senso che i risultati ottenuti a livello puntuale (p.e. flussi di calore, proprietà del suolo, biodiversità) servono per essere estesi a scala di bacino. Inoltre, il sito comprende un transetto altitudinale grazie al quale, tramite esperimenti di trapianto, è possibile osservare gli effetti dell'innalzamento della temperatura sulla vegetazione.



Risultati

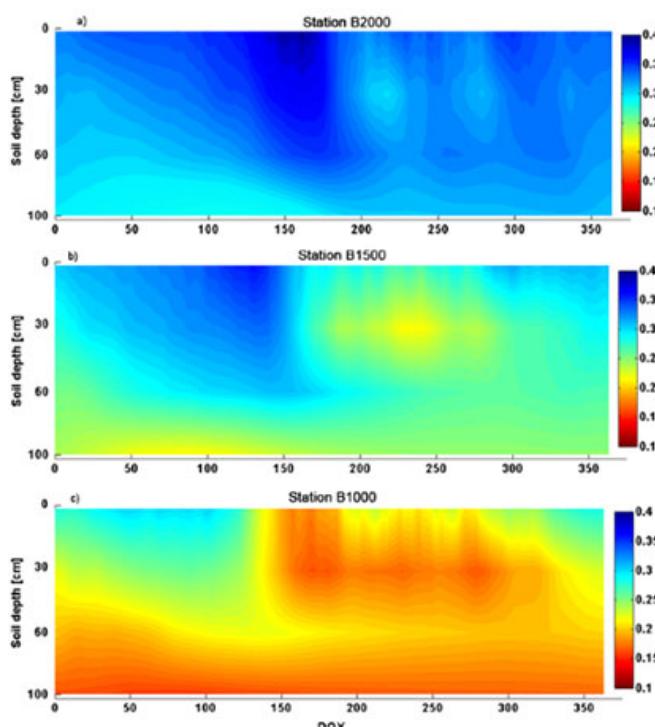


Fig. 3 - Della Chiesa *et al.* 2014, profili medi per il periodo 1990-2010 simulati con il modello GEOTop del contenuto idrico volumetrico del suolo lungo il transetto sperimentale di Monteschino

sviluppato un modello ecodidrologico che permette di valutare gli impatti delle variazioni climatiche sulle risorse idriche e la produttività della vegetazione in ambienti montani. Nel lavoro di Della Chiesa *et al.* 2014 (Fig. 3), è stato rilevato un bilancio idrico positivo sopra ai 1500 m di quota, mentre a quote più basse l'evapotraspirazione si è dimostrata ridotta a causa della carenza idrica. La produzione di biomassa dei prati presenta un valore massimo a quota 1500 m, mentre a quote più elevate il fattore limitante è la temperatura, al di sotto l'acqua. Senza irrigazione, a quote basse la produttività dei prati cala significativamente.

Ma non solo lo studio lungo un gradiente altitudinale, anche il confronto fra due tipi di uso del

Un principale risultato di ricerca riguarda lo studio dell'effetto dell'aumento della temperatura sulla biodiversità e la quantità di foraggio di prati montani. Tramite un esperimento manipolativo sono state trapiantate delle zolle di prato da 2000 m al sito di Monteschino (1500 m) simulando un aumento di temperatura di 2.8 gradi, un aumento che corrisponde agli scenari climatici medi per l'anno 2050. Dopo tre anni di studio si è notato un aumento significativo della biomassa rispetto al sito originale più elevato. Per quanto riguarda la biodiversità le specie hanno dimostrato poche reazioni nei primi due anni, mentre nel terzo anno è stato rilevato un notevole turnover di specie. Il trapianto da Monteschino a quote più basse non ha dimostrato alcun effetto sulla biomassa (Niedrist *et al.* 2016). I risultati di questo esperimento sono stati confermati anche tramite un approccio modellistico: in collaborazione con l'Università di Trento e la Duke University (USA), è stato

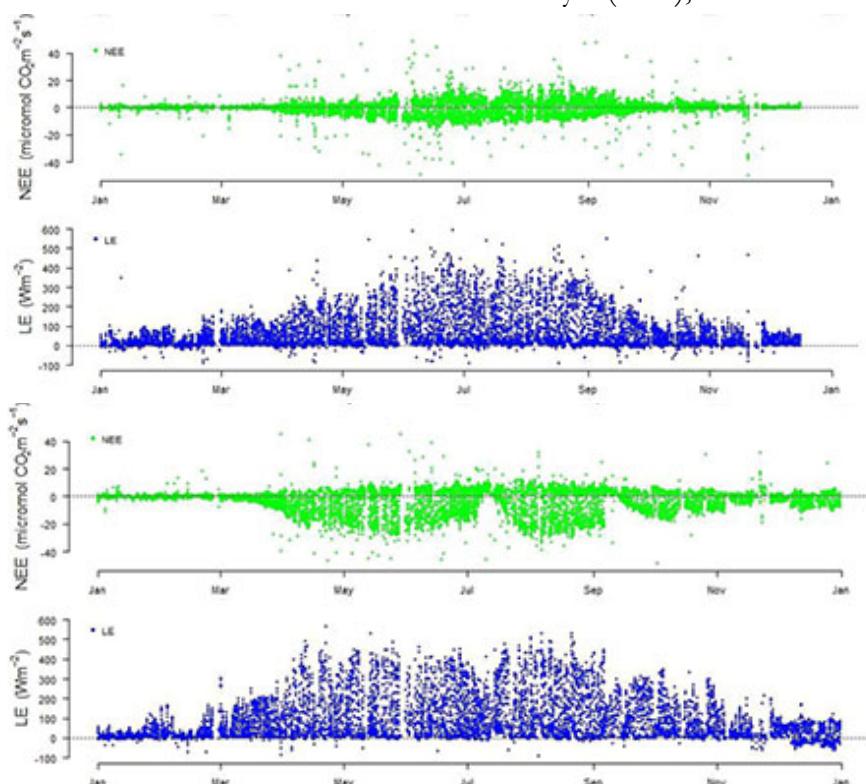


Fig. 4 - Confronto dei flussi di CO_2 e calore latente dell'anno 2017 nel pascolo (sopra) e nel prato falcato (sotto) del sito di Monteschino (Wohlfahrt *et al.* In prep.)

suolo (prato a sfalcio, pascolo) dello stesso ecosistema (prateria) dimostra l'ampio spettro di possibili reazioni di un ecosistema ai cambiamenti climatici. I dati di flussi di carbonio (Fig. 4) rivelano che gli andamenti giornalieri (in particolare l'accumulo) sono molto più accentuati sul prato a sfalcio, dimostrando la sensibilità di questi sistemi riguardo le condizioni climatiche e l'intensità della gestione. Inoltre, i dati rilevati al sito di Monteschino vengono usati anche per studi metodologici come quello di Wohlfahrt *et al.* 2015 che esplorano i limiti della risoluzione nel bilancio energetico su un terreno complesso.

Il sito Monteschino è coinvolto in numerosi progetti internazionali come per esempio GNOMO_soil (Laboratory of Ecosystems & Societies in Mountain Environments, Grenoble, France), TransPlant network (Université di Lausanne, Switzerland), e l'ILTER tea composition experiment (Environment Agency, Austria).

Attività di divulgazione

Monteschino è facilmente raggiungibile e per questo molto adatto per escursioni sia per studenti che anche per altri ricercatori come i partecipanti al convegno LTER che ha visitato il sito nel 2018 (Fig.5). Anche nelle numerose occasioni nelle quali giornalisti e i loro operatori sono alla ricerca di riprese per interviste e servizi vari, Monteschino offre scenari e dintorni ideali (per esempio anche gran parte del breve video “research bite Val Mazia” è stato ripreso a Monteschino). Nel 2017 il sito web <http://lter.eurac.edu> è stato aggiornato, ed oltre ad offrire molte informazioni sui singoli siti di ricerca in Val di Mazia, i principali filoni di ricerca, il personale coinvolto, e la lista di pubblicazioni, permette anche di visualizzare 5 webcam che aggiornano l’immagine ogni mezz’ora.



Fig. 5 - Partecipanti dell’escursione in Val Mazia in occasione del XII convegno di LTER Italia a Bolzano, Eurac Research

Prospettive future

Con sei stazioni microclimatiche, due torri per misurare i flussi di carbonio e il vapor acqueo e più di 60 sensori di umidità del terreno, il sito di Monteschino è tra i siti più attrezzati a livello Europeo. Questa infrastruttura è ottimale sia per il monitoraggio a lungo termine del microclima ma rappresenta anche una piattaforma ideale per capire ed interpretare i processi biologici ed ecologici nelle praterie montane. Inoltre, una rete così densa di osservazioni può essere di grande interesse per altri siti sperimentali nazionali ed internazionali ma anche per la validazione dei prodotti di telerilevamento del programma “Copernicus” come i dati provenienti dai satelliti Sentinel 1, Sentinel 2 e Sentinel 3. Perciò una delle sfide più importanti di questo sito è di garantire il flusso e la qualità dei dati a lungo termine e di rendere accessibili più dati possibili in tempo reale alla comunità scientifica. A questo scopo è già iniziato un progetto di Eurac Research relativo all’infrastruttura di dati che comprende l’accesso remoto automatizzato alle stazioni, l’archiviazione e il controllo di qualità dei dati, nonché il design delle interfacce d’accesso. Grazie all’installazione di sensori ottici (fenocamera, sensori NDVI, e PRI) il focus della ricerca

si è allargato verso un monitoraggio continuo della fenologia includendo il sito Monteschino. Per la calibrazione e validazione di questi sensori sarà necessario un cospicuo lavoro in campo impiegando strumentazione mobile quale lo spettrofotometro da campo oppure campionamenti di biomassa. Queste campagne sono partite nel 2018 in stretta collaborazione con l'Istituto dell'Osservazione della Terra di Eurac Research e proseguiranno proseguiti nei prossimi anni.

Per quanto riguarda i dati biologici, è previsto, come nel sito Bacino idrografico del Rio Saldura, di ripetere il censimento della biodiversità in periodi regolari (ogni 5 anni), seguendo un protocollo fisso e includendo un vasto spettro di specie dalle criptogame alle piante vascolari agli insetti fino agli organismi superiori come gli uccelli.

Inoltre, il sito di Monteschino sarà fondamentale anche nel contesto del terraXcube, una nuova infrastruttura di ricerca a Bolzano. Il terraXcube dispone di diverse camere climatiche dove sarà possibile simulare tanti aspetti del clima alpino come temperatura, umidità, radiazione e diverse proprietà atmosferiche (pressione, composizioni di gas). Tale infrastruttura permette di studiare processi ecologici in condizioni controllate e di confrontare i risultati ottenuti con quelli ottenuti in campo. Pertanto, il futuro ruolo del sito di Monteschino sarà notevole, soprattutto nel collegamento della ricerca ecologica in campo con esperimenti in condizioni controllate. La prima fase sperimentale nel terraXcube è prevista per il 2019, ed ulteriori informazioni sull'infrastruttura sono disponibili su <https://terraxcube.eurac.edu/>. (Niedrist *et al.* 2018).

Abstract

The Muntatschinig site is located at an altitude of 1480 m a.s.l. at the entrance of the Saldur River catchment. The site was first established in 2009 within a project financed by the Autonomous Province of South Tyrol by assessing microclimate, plant diversity and grassland productivity. Microclimatic data including air temperature and humidity, wind speed and direction, precipitation, snow/vegetation height, soil temperature, soil water content, soil water potential, soil heat flux net radiation (short- & longwave), and photosynthetically active radiation are recorded every 15 minutes. However, measurement activities have been continuously intensified throughout the years. In 2010, an Eddy Covariance station measuring heat, water vapor and carbon fluxes was built up by the University of Innsbruck. In the same year, 9 automatic weighting lysimeters were set up in order to obtain point information on evapotranspiration (ET) and water use efficiency (WUE). In 2014 the station network at the site has been further extended by 5 stations (among others a second flux tower) in order to better assess the spatial and temporal heterogeneity of soil water content. Thanks to this dense sensor network within a highly complex terrain the site acted as a calibration and validation site for the Soil Moisture Active Passive (SMAP) – Project of the NASA Jet Propulsion Laboratory (Colliander *et al.* 2017).

Bacino idrografico del Rio Saldura

Autori

Veronika Fontana¹, Georg Niedrist¹, Roberta Bottarin¹

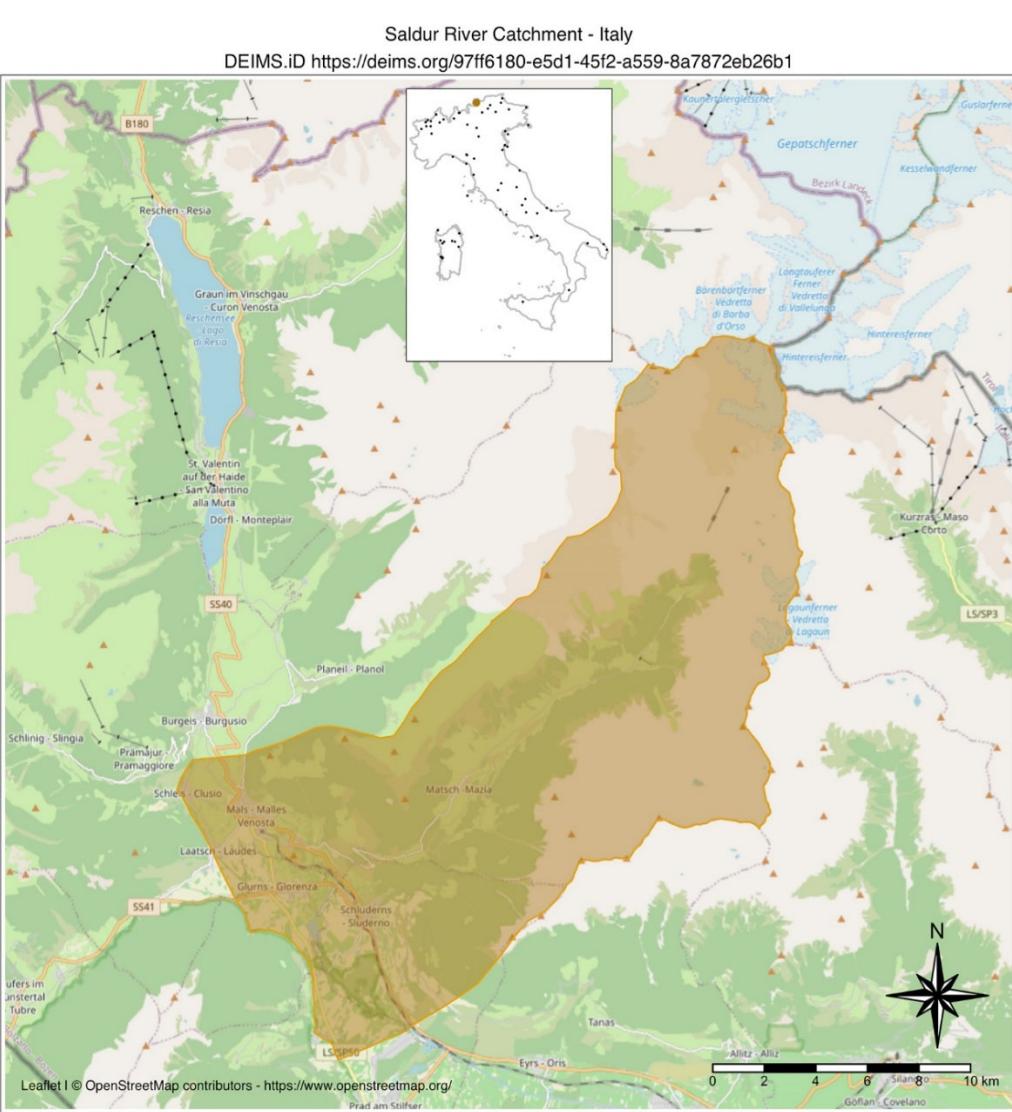
Affiliazione

¹ Istituto per l'Ambiente Alpino, Eurac Research, Viale Druso 1, 39100 Bolzano, Italia

Sigla: IT25-002-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/97ff6180-e5d1-45f2-a559-8a7872eb26b1>

Responsabile sito: Georg Niedrist



Descrizione del Sito

Il bacino idrografico del Rio Saldura comprende un'area di ca. 100 km² e si estende su vari livelli altitudinali e topografici. Le misurazioni nel bacino sono iniziate nel 2009, in concomitanza al sito di Monteschino/Muntatschinig, seguendo un approccio integrato di misurazioni da quelle puntiformi fino

a livello paesaggistico. Le misurazioni sono meno intensive, ma coprono un ampio range di ecosistemi differenti (campi di agricoltura intensiva, pascoli estremamente secchi, foreste, laghi alpini). Specialmente i dati relativi alla diversità tassonomica (principalmente licheni, briofite, piante vascolari, ragni, coleotteri, formiche, cavallette, farfalle e lombrichi) vengono raccolti periodicamente nell'intero bacino. I dati



Fig. 6 - Bacino idrografico del Rio Saldura

derivanti da queste misurazioni sono utilizzati sia per parametrizzare e validare dei modelli, che come dati input per le analisi sul cambiamento dell'uso del suolo e dei servizi ecosistemici (produttività, disponibilità d'acqua, rischio e pericolosità naturale, biodiversità). Il bacino è stato attrezzato con 12 stazioni climatiche distribuite lungo tutta la valle. Inoltre, nell'ambito di due progetti finanziati dalla Provincia Autonoma di Bolzano, sono stati istituiti nella primavera del 2014 cinque siti di misurazione del flusso linfatico e della variazione del diametro dei tronchi di vari specie di alberi. Gli studi lungo la sezione altitudinale sono iniziati nel 2009 in cooperazione con l'Università di Innsbruck, Austria.

Assumendo l'elevazione come proxy per le future condizioni climatiche (temperature crescenti e cambio nel regime delle precipitazioni), tre siti prativi posti a quote diverse, ma con una gestione e condizioni paragonabili, sono stati recintati ed equipaggiati con sensori per valutare il microclima, col fine di studiare i processi microclimatici, e le variazioni di questi parametri rispetto alla quota.

Risultati

Il risultato più recente riguarda la ricerca della diversità tassonomica. Nel 2016 è stata raccolta una mole di dati biotici durante un intensivo censimento della valle, che comprendeva vari gruppi di animali e di piante. Lo studio di questi dati dimostra che sia l'abbandono che intensificazione dei prati e pascoli agricoli diminuisce la biodiversità e sottolinea l'importanza di alcuni habitat come i pascoli aridi, che oltre a presentare i numeri più alti di specie ospitano anche la maggior parte delle specie più rare e protette (Hilpold *et al.* 2018).

Sempre con lo scopo di studiare la biodiversità, nel corso degli ultimi anni sono stati campionati numerosi punti nel bacino idrografico del Rio Saldura per analizzare l'abbondanza degli invertebrati che vivono nel e sul suolo. Da zolle di suolo, raccolte soprattutto su terreni semi-naturali pascolati, e da trappole a caduta, sono stati estratti e determinati in laboratorio gli organismi presenti. I primi risultati del progetto AlpSoil di Eurac Research si dimostrano molto promettenti con parecchie scoperte di nuove

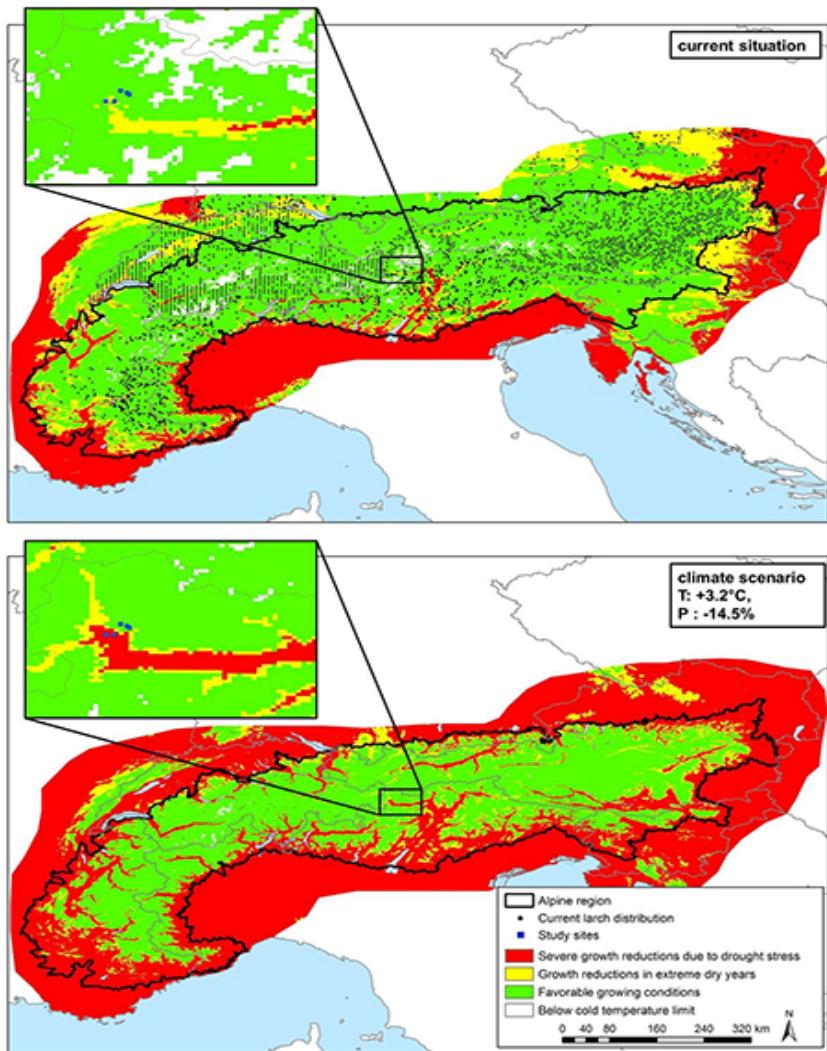


Fig. 7 - Obojes *et al.* 2018, Simulazione dell'accrescimento del larice in condizioni climatiche attuali e future (2069-2098) nelle Alpi

sylvestris and *Picea abies*) tramite sensori a circuito elettrico e dendrometri automatici. I risultati di queste analisi indicano, per esempio, che in Val Mazia l'accrescimento del larice fino a un certo livello altitudinale (1700 m) viene limitato dalla carenza idrica. A quote più elevate, fino al raggiungimento del limite del bosco, negli ultimi 20-30 anni la crescita del larice invece è aumentata fortemente (Obojes *et al.* 2018, Fig. 7). In futuro questi aspetti verranno approfonditi in modo tale da poter prevedere meglio il l'adattamento di queste 5 specie boschive rispetto al riscaldamento climatico e l'idoneità delle singole specie per l'uso forestale.

Nelle zone di alta quota del bacino si trovano vari corpi d'acqua di modeste dimensioni, che sono stati indagati nel corso del progetto “Change Lake” di Eurac Research. Nei laghi influenzati dai ghiacciai si è osservato un calo di pH e un incremento della concentrazione di metalli nell'acqua, mentre nella maggior parte degli altri laghi la conducibilità e il pH dell'acqua sono aumentati (Ilyashuk *et al.* 2017). Alcuni laghi si trovano ancora in fase di colmamento, quindi i livelli dell'acqua variano molto da un anno all'altro e in futuro si potrebbero verificare anche dei prosciugamenti completi.

Un altro aspetto scientifico importante riguarda l'utilizzo delle informazioni raccolte nell'ambito della rete LTER per sviluppare e validare nuove tecniche di telerilevamento per monitorare parametri ambientali in aree montane, che, per la loro complessità morfologica, risultano particolarmente difficili da studiare. Il lavoro è stato svolto principalmente in collaborazione con l'Istituto di Osservazione della Terra di Eurac Research, l'Università di Trento e la TUV di Vienna. In particolare, nell'ambito del

specie per l'Alto Adige, come il coleottero *Opetiopalpus sabulosus* (Cleridae), che rappresenta una nuova specie per le Alpi. I siti alpini d'alta quota (2000 e 2500 m s.l.m.) riscontriamo la biodiversità più alta di tutti i punti censiti (Steinwandter *et al.* 2017; Steinwandter *et al.* 2018).

Dato che il cambiamento climatico potrà influenzare la crescita e composizione dei boschi alpini, anche la composizione della fauna del suolo potrebbe cambiare. In prospettiva, si vorrebbe analizzare l'impatto delle singole specie boschive sulla lettiera del suolo e sulla comunità degli invertebrati del suolo. I risultati preliminari assegnano un ruolo determinante al pH del suolo e si presuppone che ogni tipo di bosco presenti organismi specifici nella fauna del suolo.

Nel progetto Climate Change di Eurac Research e Provincia Autonoma di Bolzano con la collaborazione di Dendroglobal (WSL Svizzera), vengono monitorati i flussi linfatici di 5 specie boschive (*Larix decidua*, *Pinus cembra*, *Pinus nigra*, *Pinus*

progetto HiResAlp si sono sviluppate tecniche per la stima dell'umidità del terreno tramite satelliti con sensori SAR (Syntetic Aperture Radar) ad alta risoluzione, che sono state validate con modelli idrologici e misure a terra. (Bertoldi *et al.* 2014; Greifender *et al.* 2016, 2015, 2014; Pasolli *et al.* 2015, 2014, 2011a, 2011b; Stamenkovic *et al.* 2014). Si sono sviluppate e validate anche metodologie per la stima dell'evapotraspirazione con dati satellitari (Castelli *et al.* 2018).

La fitta rete di stazioni LTER è stata anche utilizzata per la validazione di radar a banda X per la stima delle precipitazioni in ambiente montano, problematica di notevole importanza per prevenzione di eventi alluvionali in montagna (Anagnostou *et al.* 2018).

Il regime idrologico della Val Mazia è dominato dagli afflussi nivo-glaciali. Una accurata stima delle precipitazioni solide e della dinamica dello scioglimento della neve è essenziale. L'area di studio è stata utilizzata per lo sviluppo di un nuovo approccio per migliorare la stima delle precipitazioni invernali (Mair *et al.* 2015) e per la modellazione della dinamica del manto nevoso (Engel *et al.* 2017).

Il bacino idrografico del Rio Saldura si presta per lo sviluppo di modelli che stimano il valore estetico tramite questionari basati su foto che raffigurano il paesaggio. I risultati di questi sondaggi sono stati convertiti in informazioni spaziali e le mappe prodotte saranno molto utili nelle future discussioni politiche locali per lo sviluppo del paesaggio. Le informazioni raccolte nell'ambito di una collaborazione con l'Università di Innsbruck contribuiranno soprattutto alla futura sfida di mantenere un ambiente attraente per attività ricreative e ricco di valori culturali, ma che al tempo stesso permetta l'uso agricolo, che costituisce la base economica della valle.

Grazie al coinvolgimento di stakeholders in un'iniziativa ILTER è stato possibile mettere a confronto la ricerca-socio-ecologica di 25 siti LTSEER in tutto il mondo, uno dei quali è stato il macosito Val Mazia/Matschertal.

Progetti Nazionale ed Internazionali

Nell'estate del 2017 è iniziato un programma di monitoraggio nelle quote più alte del bacino. Le così dette vallette nivali sono piccole depressioni nel terreno (pochi metri di diametro) che si prestano perfettamente per studiare i cambiamenti climatici sugli ecosistemi alpini. In collaborazione con il Parco Nazionale Hohe Tauern (AT) e l'Università die Basilea (LTER Furka, CH) si studiano la produttività della vegetazione e diversi parametri del suolo, compresa la macrofauna, mentre insieme all'Università di Torino viene studiata la fenologia di selezionate piante alpine.

Attività di divulgazione

Periodicamente viene organizzato un evento divulgativo nel paese di Mazia dove si informano i cittadini sulla ricerca svolta, i risultati ottenuti e le possibili conseguenze, opportunità e difficoltà per la valle. Annualmente si tiene anche un corso giornaliero (“EUROSTAIN – Training on Sustainable Management of European Mountain Regions”) per studenti internazionali dove vengono presentati vari metodi di analisi dell'uso del suolo, della vegetazione, dei corsi d'acqua e della biodiversità degli animali del suolo. Grazie alla stretta collaborazione con l'Università di Innsbruck e la Libera Università di Bolzano, nel macosito sono state svolte numerose tesi di laurea e di PhD. Per porre la base di un monitoraggio a lungo termine della diversità di piante e animali presenti nella valle, nel 2016 è stata organizzata una settimana intera dedicata alla biodiversità tassonomica. Esperti provenienti da Italia, Svizzera, Austria e Germania hanno censito la valle in modo molto esaustivo. In questo contesto è stato sviluppato anche un programma didattico insieme al Museo di Scienze Naturali di Bolzano. Famiglie e interessati hanno partecipato agli esperimenti, hanno classificato con i ricercatori degli organismi, sono stati coinvolti attivamente in attività ludiche avvicinando la ricerca anche ai più piccoli. Occasionalmente si organizzano anche delle giornate informative per le scuole locali della Val Venosta dove viene presentato il macosito e le attività scientifiche svolte durante l'anno. Queste attività hanno avuto un riscontro notevole a livello mediatico, con numerosi articoli su quotidiani, riviste locali, interviste alla radio e televisione.

Prospettive future

Un aspetto futuro molto importante è l'archiviazione dei dati raccolti in un database con accesso pubblico. Per raggiungere questo obiettivo il sito sta investendo molto nel controllo di qualità del dato e nelle strutture tecniche necessarie per l'archiviazione delle grandi quantità di variabili che vengono registrate giornalmente. Un secondo aspetto riguarda l'uso e l'approfondimento di dati raccolti in passato, riflettendo su nuove possibilità di analisi e interpretazioni. L'obiettivo è di trovare connessioni con altre discipline e anche con altre istituzioni per sfruttare al meglio le risorse presenti. In questo contesto si mira anche all'intensificazione della ricerca riguardante gli effetti della presenza antropica in Val Mazia. Si mira di rafforzare la collaborazione con ricercatori interni all'istituto che si occupano di servizi ecosistemici e anche con ricercatori esterni nel campo socio-economico. La ricerca e il monitoraggio della biodiversità tassonomica rimarranno un pilastro principale nel macrosito. Una misura per sottolineare l'importanza di questo obiettivo è la ripetuta organizzazione del censimento tassonomico della valle almeno ogni 10 anni. Inoltre, il macrosito verrà a far parte di un nuovo progetto della Provincia Autonoma di Bolzano che ha come obiettivo il monitoraggio a lungo termine della biodiversità dell'intera Provincia.

La divulgazione avrà ancora più spazio nelle future attività: per esempio, nel 2019 c'è stata partecipazione attiva all'iniziativa dei "Cammini" (Bergami *et al.* 2018), organizzando un cammino transfrontaliero Italia-Austria. Inoltre, sarà approfondito l'approccio della Citizen Science nei futuri progetti.

Abstract

The Saldur River Catchment covers an area of app. 100 km² and includes different elevations and topographic aspects. Measurements in the Saldur River catchment started in 2010, additionally and in accordance to the sites Monteschino/Muntatschinig, in order to complete an integrated approach of measurements from plot to landscape level. Measurements in the Saldur River catchment are less intensive, but cover a larger area and different ecosystems (intensive meadows, extremely dry pastures, forest). Especially data on taxonomic diversity (mainly lichen, bryophytes, vascular plants, spiders, bugs, ants, grasshoppers, butterflies and earth worms) are surveyed periodically within the whole catchment. Data deriving from these measurements are used for parameterizing and validating models, as well as for input data for analyses on land-use change and ecosystem services (productivity, water availability, natural hazards, biodiversity). The catchment has been equipped with 12 climate stations distributed all over the valley. Furthermore, within the framework of two projects financed by the Autonomous Province of South Tyrol, five sap-flow and radial stem growth-measuring sites were established in spring 2012 in cooperation with Innsbruck University, Austria. Assuming elevation as proxy for future climate conditions (increasing temperatures and changing precipitations regimes) three mountain meadows with comparable management and site conditions were fenced and equipped with sensors for assessing microclimate, in order to study basic microclimatic processes, and connected effects on plant and soil animal diversity along dry elevational gradients.

Rio Saldura

Autori

Roberta Bottarin¹, Alberto Scotti¹

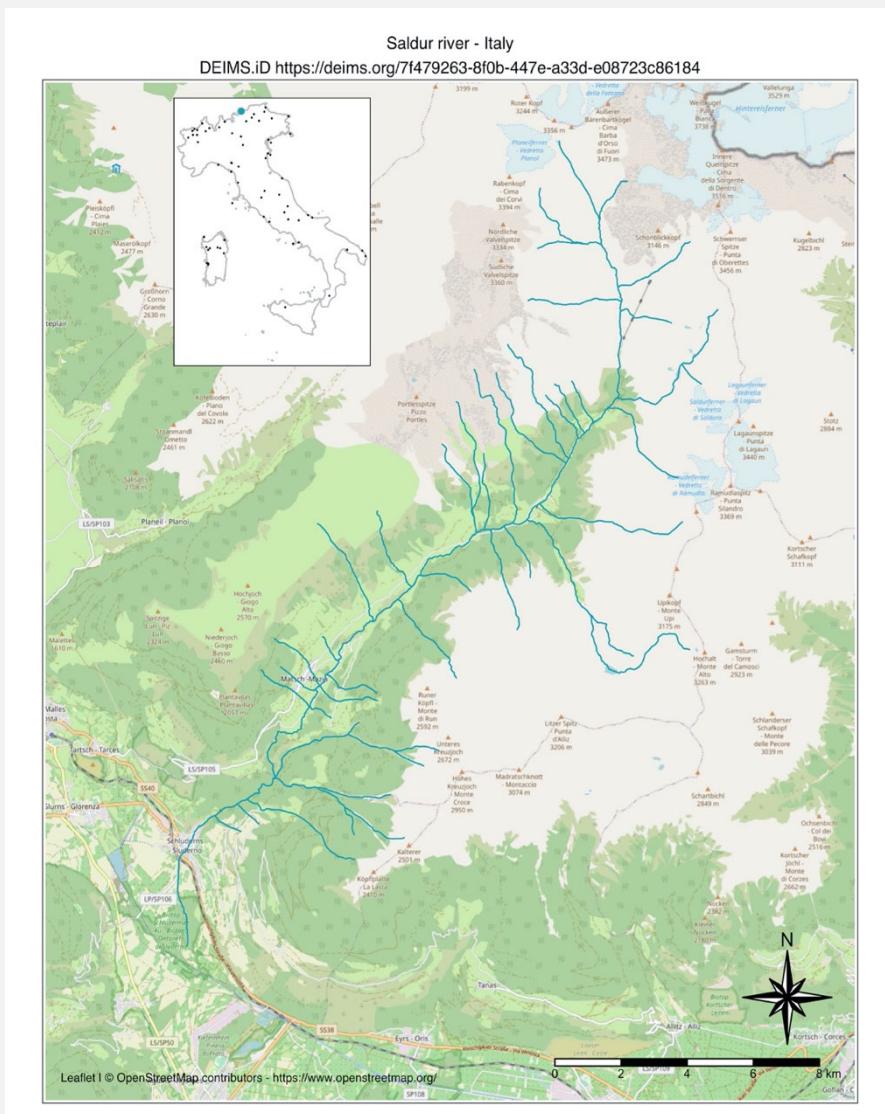
Affiliazione

¹ Istituto per l'Ambiente Alpino, Eurac Research, Viale Druso 1, 39100 Bolzano, Italia

Sigla: IT25-003-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/7f479263-8f0b-447e-a33d-e08723c86184>

Responsabile sito: Roberta Bottarin



Descrizione del Sito

Il Rio Saldura nasce a ca. 2800 m di quota dalla lingua glaciale del ghiacciaio Matschferner. Il torrente è lungo ca. 22 km e a 900 m di quota confluisce nel Rio Puni, affluente dell'Adige, presso Sluderno. A



Fig. 8 - Veduta del Rio Saldura

quota 1600 m è presente dal 2009 un misuratore di portata dell'Ufficio Idrografico della Provincia di Bolzano, mentre a quota 2300 è presente dal 2012 un misuratore di portata dell'Università di Bolzano (vedi sito Area proglaciale Mazia). Il Rio Saldura è stato analizzato nella sua parte finale sia dal Laboratorio Biologico sia da quello Chimico della Provincia Autonoma di Bolzano dal 1980 (a quota 980

m s.l.m., a 17 km dalla sorgente). Questo sito rientra anche nella rete di monitoraggio provinciale della qualità dei corsi d'acqua. Mentre quindi la parte finale del torrente è stata analizzata in passato, non esistevano nessun tipo di analisi né chimiche né faunistiche effettuate nella parte alta del bacino idrografico. Quando nel 2008 la Val Mazia è stata scelta per lo studio dei cambiamenti climatici nei vari ecosistemi terrestri (essendo una delle valli più secche delle Alpi), è stato preso in considerazione anche il monitoraggio della fauna torrentizia (banca dati dal 2009). La presenza del ghiacciaio Palla Bianca nel bacino imbrifero ha reso molto interessante anche il suo effetto correlato ai cambiamenti climatici e alle conseguenze dello scioglimento di neve e ghiaccio sulla fauna lotica. Grazie ad un finanziamento iniziale correlato alla Società Italiana di Ecologia nel 2011 sono state scelte quattro stazioni di campionamento che sono state successivamente monitorate stagionalmente (parametri chimico-fisici e biologici). Nell'ambito di una tesi di laurea e alcuni tirocini, sono stati scelti ulteriori 16 punti di campionamento, dislocati sui vari tributari (alcuni aventi il ghiacciaio nel loro bacino, altri no), permettendo di ottenere interessanti confronti su piccola scala. Nel 2015 sono partiti i lavori di realizzazione di una piccola centrale idroelettrica sul torrente a quota 2000 m. Questo ha comportato tutto una serie di problemi anche per i campionamenti e per la stima della portata, ma anche creato un'opportunità per monitorare gli effetti di questo intervento antropico sugli ecosistemi. Di conseguenza la stazione di campionamento 2 sul corso d'acqua principale, che si trovava esattamente all'altezza della centrale idroelettrica costruita, è stata frazionata in 4 stazioni, mentre la stazione 4 molto più a valle non è stata più campionata. In totale dal 2015 vengono così monitorate non più stagionalmente, ma mensilmente 6 stazioni di campionamento.

Tra il 2011 e il 2013, nell'ambito del progetto EMERGE, in collaborazione con l'Università di Bolzano, si sono misurati su base mensile nell'ambito di campagne intensive (valori orari) gli isotopi dell'ossigeno, dell'idrogeno e la conduttività in vari siti del Rio Saldura, dei suoi principali affluenti e in alcune sorgenti scelte.

Nel 2017 sono state istallate da Eurac Research due sonde multiparametriche a due diversi livelli altitudinali che tra l'altro misurano la concentrazione di azoto nell'acqua del Rio Saldura. I valori dettagliati di questi parametri chimico-fisici dell'acqua saranno importanti per seguire anche variazioni minime

legate per esempio allo scioglimento della neve e ghiaccio o a fenomeni di lisciviazione dai terreni circostanti.

Principali risultati scientifici

Il monitoraggio della comunità macrobenthonica del Rio Saldura ha permesso di individuare sia pattern longitudinali che stagionali (Fig.9). La presenza di un ghiacciaio ha un grande impatto sul regime idrologico, in quanto influenza notevolmente la portata e il trasporto solido. Le comunità faunistiche presenti nei corsi d'acqua alpini reagiscono molto velocemente ai cambiamenti dei loro ambienti e quindi

fungono da vere sentinelle climatiche. Nel corso del progetto di Eurac Research “AlpWater” è stato individuato come l'aumento di portata con i suoi picchi nei mesi di giugno e luglio legato prevalentemente al crescente scioglimento di neve e ghiaccio, ha portato ad una diminuzione della abbondanza e della diversità nel macrozoobenthos (Rogora *et al.* 2018; Scotti *et al.* 2018).

Un altro risultato di ricerca riguarda la

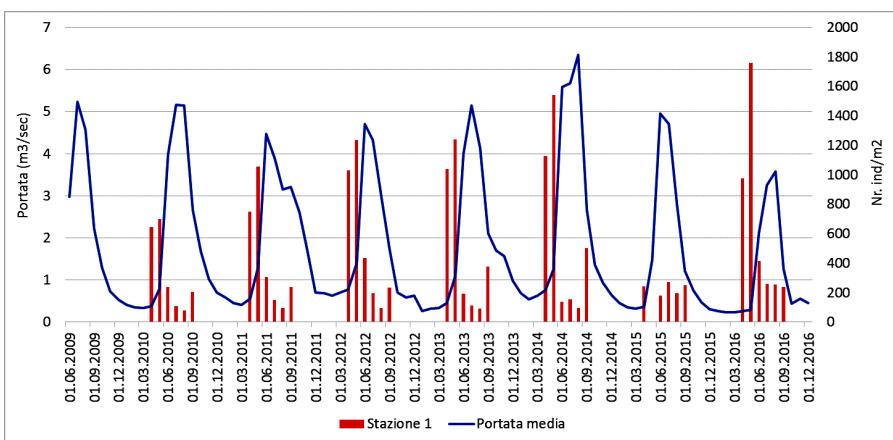


Fig. 9 - All'aumentare della portata (esempio riportato relativo alla stazione 1 del Rio Saldura) in tarda primavera e nei mesi estivi in seguito allo scioglimento di neve e ghiaccio la fauna bentonica diminuisce sia nel numero totale (abbondanza) che nel numero di specie (diversità), per poi recuperare nei mesi autunnali quando la portata del torrente torna a stabilizzarsi

valutazione del contributo legato allo scioglimento della neve e del ghiaccio ai deflussi complessivi del Rio Saldura, che presenta un regime marcatamente nivo-glaciale. Il cambiamento climatico rende questa domanda di ricerca particolarmente urgente. In particolare, per quantificare questi contributi si sono usati traccianti ambientali come isotopi dell'ossigeno, dell'idrogeno e la conduttività elettrica, con un monitoraggio intensivo condotto per tre anni, nell'ambito del progetto EMERGE in collaborazione con l'Università di Bolzano. I risultati sono pubblicati in diversi articoli molto citati: Penna *et al.* (2017); Engel *et al.* (2016); Penna *et al.* (2014).

Un'altra linea di ricerca condotta sul Rio Saldura dall'Università di Bolzano riguarda il contributo glaciale al trasporto solido nei torrenti di alta quota. I risultati hanno evidenziato un notevole incremento del trasporto solido nei periodi di intensa ablazione glaciale (Mao *et al.* 2017; Mao *et al.* 2015).

Nell'anno 2015 anche in previsione dell'entrata in funzione di una nuova centrale idroelettrica, nell'ambito di una tesi per un master in collaborazione con l'Università di Kopenaghen, è stato sviluppato un modello idraulico dettagliato che comprende il tratto immediatamente a valle della centrale fino alla stazione 3, dislocata a 5,6 km a valle. In questo tratto fluviale ogni 100 m sono state rilevate delle sezioni dettagliate dell'alveo mediate GPS, che poi hanno fornito i dati per il calcolo del modello idraulico. Questo modello ha permesso di “prevedere” i cambiamenti di microhabitat, la mole di sedimentazione, e i cambi di portata (Scotti 2014). In futuro questi parametri potranno essere messi in relazione con la fauna bentonica.

Sempre nell'ambito del progetto AlpWater, nel 2017 il Rio Saldura è stato, insieme ad altri 14 siti dislocati in vari punti dell'Alto Adige, uno dei punti di campionamento scelti per valutare il tipo di relazione esistente fra comunità di macroinvertebrati lotici e il tipo di uso del territorio circostante. I primi risultati evidenziano in modo molto chiaro che non solo esiste una chiara relazione fra la struttura delle comunità macrobentoniche e il territorio circostante, ma si possono identificare anche specie indicative specifiche per alcune tipologie. Fra le tipologie analizzate, il tipo d'uso “prateria”, sia a pascolo che a

sfalcio, rappresenta la tipologia con la biodiversità compositiva e funzionale più alta, nonché la struttura di comunità più simile.

Eurac Research inoltre collabora con il Laboratorio Analisi acque e cromatografia della Provincia Autonoma di Bolzano e il Laboratorio biologico della Provincia Autonoma di Bolzano per valutare le concentrazioni dei nitrati nelle acque e nell'atmosfera. L'aumento di nitrati negli ultimi decenni è preoccupante principalmente per due motivi: primo, elevate concentrazioni di nitrati nell'acqua compromettono la salute umana e lo stato di salute dei corpi idrici e secondo, l'impiego di fertilizzanti, l'aratura dei campi e le concimazioni possono contribuire all'inquinamento diffuso. La percolazione da strade agricole e da superfici coltivate rappresenta una fonte potenziale di inquinamento. Quantitativamente spesso le singole sorgenti diffuse sarebbero trascurabili, ma la loro somma a livello di un intero bacino imbrifero diviene significativa e può compromettere lo stato di salute del corso d'acqua che drena la zona. Dal 2017 sono stati istallati campionatori per le deposizioni atmosferiche in due siti in Val Mazia e sono stati fatti numerosi prelievi dell'acqua del torrente Saldura. Le analisi delle concentrazioni dei nitrati in acqua proseguono grazie anche all'istallazione di due sonde multiparametriche nel torrente. Grazie alle numerose stazioni climatiche presenti nel bacino idrografico del Rio Saldura, la connessione con i dati metereologici è possibile e sarà interessante collegare concentrazioni in acqua con quelle atmosferiche e connetterle alle variabili climatiche per cercare di avere informazioni relative al ciclo dell'azoto in questa valle alpina. Interessante sarà anche paragonare i risultati ottenuti con quelli misurati in due stazioni gemelle gestite dalla Provincia Autonoma di Bolzano (Renon a 1780 m s.l.m. e a Monticolo a 530 m s.l.m.), per valutare quanto differiscono i valori rilevati in una valle comunque più secca.

Attività di divulgazione

Oltre alla partecipazione ad eventi che riguardano tutto il macrosito, come le lezioni in campo per studenti delle Università di Bolzano e Innsbruck, la settimana della scienza nel 2016 e gli approfondimenti con scuole e insegnati locali, periodicamente vengono anche organizzate escursioni con il gruppo glaciologico nella parte di alta quota del Rio Saldura.

Alcuni risultati sono stati condivisi con un'iniziativa di LTER Italia, che è riuscita a pubblicare un articolo collettivo sull'impatto del cambiamento climatico su diversi ecosistemi montani nelle Alpi e negli Appennini (Rogora *et al.* 2018).

Prospettive future

Il monitoraggio del macrozoobenthos nelle sei stazioni dislocate lungo l'asta fluviale continuerà cercando di mantenere la cadenza mensile. Questo risulta anche molto interessante se posto in relazione alla problematica dei cambiamenti climatici. Cambiano gli habitat delle specie anche in ambito lotico all'aumentare della temperatura? Che effetti si possono evidenziare a livello di struttura di comunità? Eventuali cambiamenti possono avere influenze sul funzionamento dei principali processi ecologici nei torrenti alpini d'alta quota?

Grazie alle sonde multiparametriche sarà possibile collegare i risultati biotici con i maggiori parametri abiotici con una risoluzione temporale notevole. Vista l'importanza dell'uso del territorio circostante risultata nell'ambito di uno studio condotto, si pianifica un'analisi dei servizi ecosistemici all'interno del bacino idrografico cercando di collegarli con la qualità dell'acqua (sia biologica che per esempio con le concentrazioni dei nitrati).

Per quanto riguarda le analisi quantitative legate alla portata del torrente, si è reso sempre più importante trovare il modo di valutare la portata complessiva del torrente, che si è resa molto difficile dopo la costruzione della centrale idroelettrica a quota 2000 m s.l.m. Per quanto riguarda la modellazione, si vuole arrivare a una stima in continuo del bilancio idrologico del bacino.

Abstract

The Saldur River has its source at an elevation of 2700 m a.s.l. within the proglacial area of the glacier Matschferner. The river is 22 km long and flows into the small Rio Puni close by Sluderno at 900 m a.s.l., which ends in the main river Adige. The Saldur River has been analyzed by the Biological and Chemical Laboratory of the Autonomous Province of Bolzano since 1980: one site, located at 980 m a.s.l. (17 km distance from the source), belongs to the regional and national biological and water-quality program. Discharge has been monitored since 2009 in one location, and since 2012 in a second one.

Since 2011, four sampling stations in the upper part of the catchment have been monitored: physical, chemical and biological parameters have been carried out seasonally. Moreover, 16 smaller sites located on the main tributaries have been sampled in the upper part of the Saldur basin. Since 2015, as a hydroelectric power station has been built at 2000 m a.s.l., in total the macrobenthic communities of 6 sites are monitored monthly. Moreover, in 2017 two multi-probes have been installed in the Saldur River measuring several chemical parameters of the river water, for example nitrogen concentrations.

Area Proglaciale Mazia

Autori

Francesco Comiti¹, Michael Engel¹

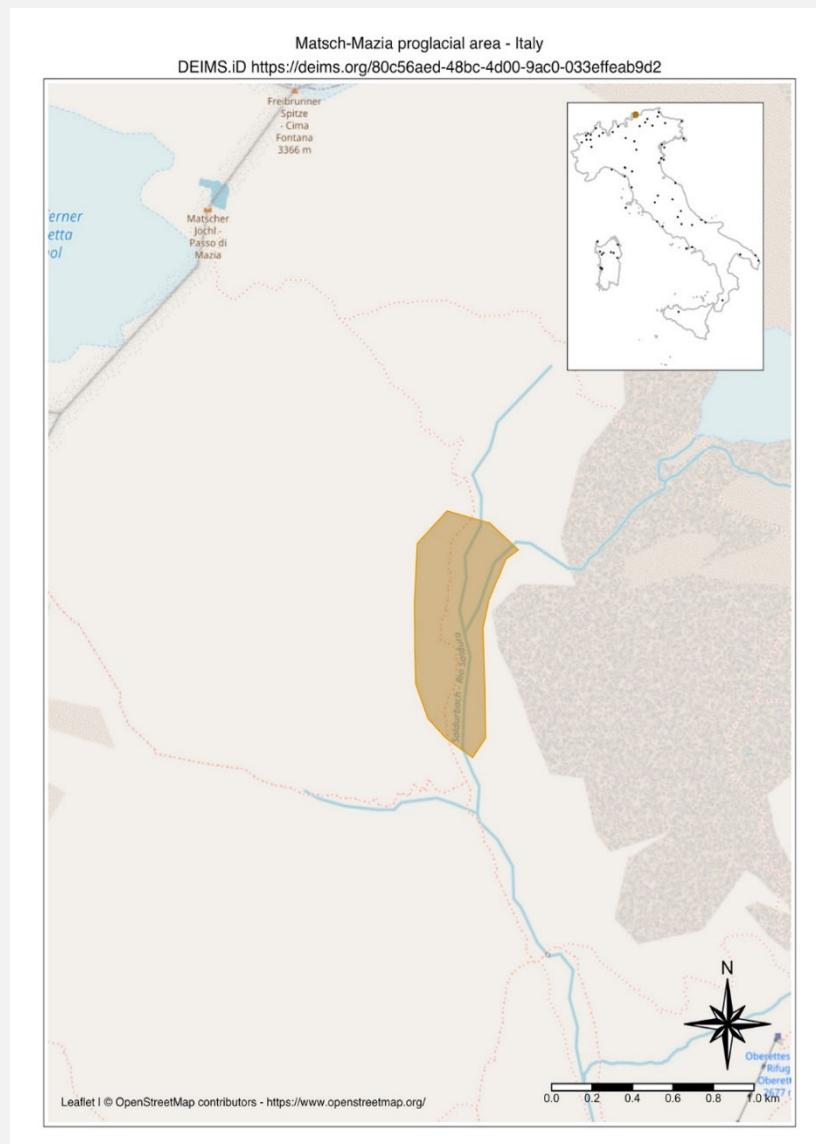
Affiliatione

¹ Facoltà di Scienze e Tecnologie, Libera Università di Bolzano, Piazza Università 5, 39100 Bolzano, Italia

Sigla: IT25-004-T

DEIMS.ID: <https://deims.org/80c56aed-48bc-4d00-9ac0-033effeab9d2>

Responsabile sito: Francesco Comiti



Descrizione del sito

Il sito di ricerca – gestito dalla Libera Università di Bolzano/Bozen, Facoltà di Scienze e Tecnologia – si trova ad una quota variabile tra 2.400-2.500 m s.l.m., alla testata della Val Mazia (area drenata del bacino pari a 11 km²), poche centinaia di metri a valle del fronte glaciale attuale.

Nella parte superiore del bacino, al di sopra dei 2700 m s.l.m., giace un ghiacciaio con un'estensione attuale di circa 2.5 km². Il substrato roccioso è formato da rocce metamorfiche ed il clima è molto freddo e di tipo continentale, con precipitazioni medie annue dell'ordine di 700-1000 mm, che per la maggior parte avvengono in forma solida. La neve al suolo permane da Novembre-Dicembre fino ad Aprile-Maggio.

Presso il sito sono state eseguite analisi di tipo floristico-vegetazionale, microbiologiche ed



Fig. 10 - Area proglaciale Mazia

idro-morfologiche. Attualmente, soltanto le ultime sono ancora in corso. Il livello idrometrico del Rio Saldura (il corso d'acqua principale della Val Mazia) è monitorato presso due sezioni trasversali subito a valle del sito. La conversione da livello idrometrico a portata è stata effettuata tramite misure di portata realizzate con il metodo della diluizione salina. Le precipitazioni liquide per le analisi isotopiche sono state raccolte per mezzo di tre campionatori a bottiglia. I campionatori di precipitazione sono stati svuotati approssimativamente ogni 45 giorni durante il periodo di studio. Campioni di acqua per analisi isotopiche e geochimiche sono stati raccolti manualmente per anni ogni 30-45 giorni in 11 punti nell'asta torrentizia principale e in tre tributari.

I dati ad ora disponibili sono i seguenti: chimica del suolo, diversità floristica (quantitativa e qualitativa), produzione primaria (2012-2014), scambio netto dell'ecosistema e respirazione dell'ecosistema (da giugno a ottobre 2012-2014), deflusso idrico nel Rio Saldura (dal 2012, a intervalli di 10 minuti) e sua separazione nelle componenti di scioglimento glaciale, scioglimento nivale ed acque di falda (per periodi/eventi selezionati), modello digitale del Terreno fornito dalla Provincia Autonoma di Bolzano/Bozen (2005), rilievo LiDAR commissionato da parte della Libera Università di Bolzano (2013), rilievo satellitare “Pleiades” commissionato dall'Università di Innsbruck (2017), rilievo fotogrammetrico della zona proglaciale commissionato dalla libera Università di Bolzano (2017) ed infine il bilancio di massa del ghiacciaio eseguito dall'Università di Innsbruck (2005-2013).

Le collaborazioni scientifiche della Libera Università di Bolzano (passate ed ancora attive) relativamente al sito sono le seguenti: Colorado State University (Dept. Geosciences), Pontificia Universidad Católica de Chile (Dept. Ecosystems and Environment), Università di Padova (Dip. Territorio e sistemi agro-forestali), CNR-IRPI Padova, Università di Firenze (Dip Agricultural, Foodstuff and Forestry systems management), Eurac Research (Ist. per l'Ambiente Alpino).

Risultati

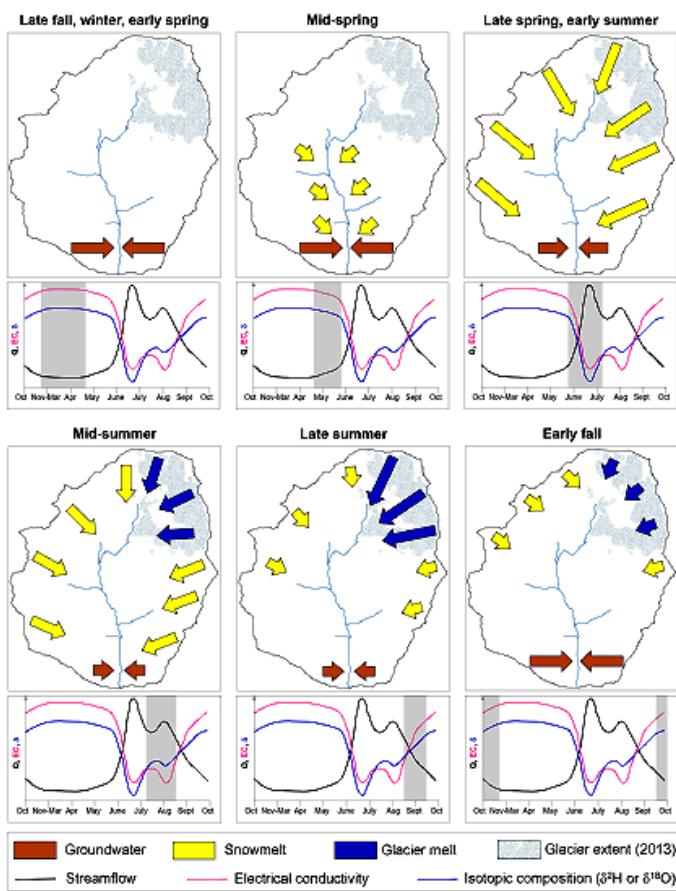


Fig. 11 - Dinamica stagionale idrologia nel bacino superiore del T. Saldura (da Penna *et al.* 2017)

dinamiche dei deflussi liquidi (Engel *et al.* 2016; Penna *et al.* 2017, Fig. 11), e del trasporto solido, sia in sospensione (Mao *et al.* 2019), che al fondo (Mao *et al.* 2014; Comiti *et al.* 2019; Fig. 12 e 13).

Nel complesso, tali risultati evidenziano come i ghiacciai non siano importanti solo come serbatoi di acqua, ma producono ingenti volumi di sedimenti (che rappresentano una percentuale significativa della produzione totale in bacini di alta montagna), che vengono poi trasferiti a valle da torrenti e fiumi. I processi di trasporto solido e la loro disponibilità determinano l'evoluzione morfologica di questi corsi d'acqua su scale temporali da molto brevi (ore) fino a molto lunghe (decenni) e influiscono quindi direttamente sulla relazione uomo/fiume dal punto di vista del rischio idro-geologico (attraverso cambiamenti improvvisi durante le piene e variazioni continue nel tempo) e dell'impatto sulla sedimentazione (e quindi sul volume utile) dei bacini artificiali. Inoltre, si è

Le attività condotte presso il sito hanno permesso di caratterizzare le comunità microbiche dei suoli (Ciccazzo *et al.* 2014, 2015) e delle sorgenti presenti presso il sito (Esposito *et al.* 2016), così come le loro caratteristiche chimico-fisiche (Engel *et al.* 2016; Penna *et al.* 2017).

Sono stati rilevati i dati sulla diversità floristica (dati qualitativi e quantitativi) e le caratteristiche chimico-fisiche del suolo in diversi transetti, che ha condotto alla quantificazione dei flussi gassosi degli ecosistemi erbacei del sito. Infatti, negli anni 2012, 2013 e 2014, è stato registrato lo scambio di anidride carbonica (CO_2) con l'atmosfera da parte di due comunità vegetali in una morena della Piccola Era Glaciale, ad un'altitudine di 2.400 m s.l.m. Lo scambio netto dell'ecosistema (NEE) e la respirazione dell'ecosistema (Reco) sono stati rilevati utilizzando un sistema multiplesso composto da 8 camere automatiche a dinamica chiusa (Montagnani *et al.* 2017).

In merito agli aspetti idro-morfologici, i dati idrometrici, isotopici, geochimici e del trasporto solido raccolti finora hanno permesso di evidenziare il ruolo chiave svolto dall'acqua di fusione glaciale sulle

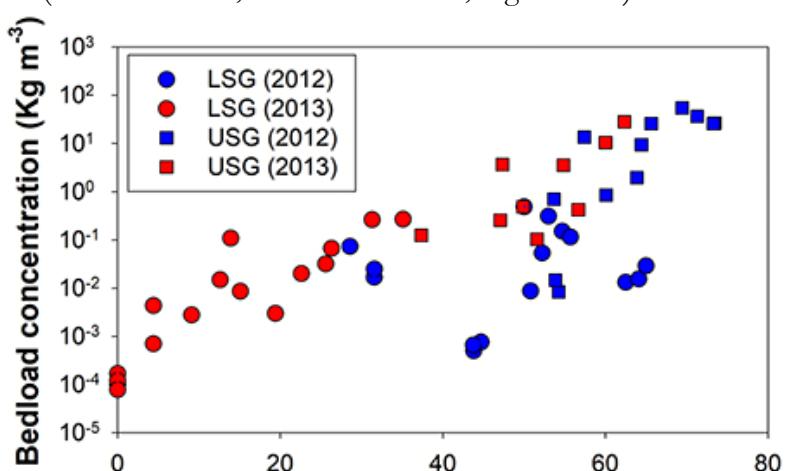


Fig. 12 - Relazione tra la concentrazione solida del trasporto di fondo e la frazione di deflusso di origine glaciale nel Rio Saldura (da Comiti *et al.* 2019)

visto come i processi di trasporto solido fluviale interagiscono in modo rilevante con le dinamiche degli ecosistemi acquatici delle aree proglaciali, mentre i processi di versante (frane, colate) risultino spesso “disconnessi” dal reticolo idrografico e pertanto con minor rilevanza rispetto alla dinamica glaciale.

Progetti di ricerca nazionali ed internazionali

Il sito è stato istituito nella primavera 2011 nell’ambito del progetto EMERGE – Retreating glacier and emerging ecosystem in the Southern Alps, “Ghiacciai in ritiro ed ecosistemi emergenti nelle Alpi meridionali”, supportato finanziariamente dalla Fondazione Dr. Erich-Ritter e Dr. Herzog-Sellenberg all’interno della Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e co-finanziata dalla Libera Università di Bolzano/Bozen). Il progetto EMERGE mirava ad analizzare i differenti aspetti dell’ecosistema emergente dal ritiro glaciale, principalmente per quanto riguarda l’idrologia, le comunità microbiche del suolo e le comunità vegetali presenti sulla zona antistante al ghiacciaio. Nel 2012, lungo gli stessi transetti, ha avuto inizio il progetto “Influence of vegetation on carbon fluxes and carbon soil accumulation after glacier retreat” supportato finanziariamente dalla Libera Università di Bolzano.

Infine, grazie al progetto di ricerca finanziato dalla Prov. Aut. di Bolzano “GLORI” (2017-2020), è stato possibile continuare il monitoraggio idrologico e del trasporto solido lungo il Rio Saldura anche una volta terminato il progetto EMERGE, così come seguire l’evoluzione glaciale e proglaciale tramite immagini telerilevate.

Prospettive future

Le attività di monitoraggio idro-morfologico verranno portate avanti dalla Libera Università di Bolzano al fine di seguire l’evoluzione del sistema proglaciale e del regime idrologico della parte alta del Rio Saldura al progredire della riduzione delle masse glaciali prevista nei prossimi anni. In prospettiva, si prevede che possa essere di grande valore ripetere il monitoraggio del trasporto solido al fondo presso il sito nel periodo 2021-2024, ovvero a 10 anni di distanza dal precedente studio, al fine di verificare come la deglaciazione stia modificando gli apporti solidi al sistema fluviale, e come le diverse unità morfologiche (ovvero habitat acquatici) potranno esserne influenzati.

Abstract

The proglacial site is located at an altitude varying between 2,400-2,500 m above sea level, at the head of the Matsch valley. Floristic-vegetation, microbiological and hydro-morphological analyses were carried out at the site. The hydrometric, isotopic and solid transport data collected so far have shown the dominant role played by glacial outflows on sediment transfer dynamics along the Salur River.

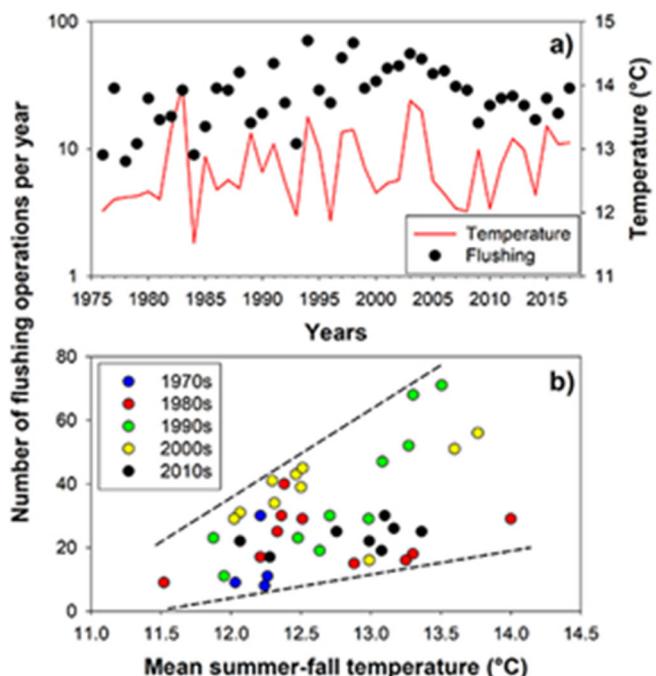


Fig. 13 - Andamento della produzione solida del Rio Saldura (valutata tramite le operazioni di dissabbiamento della presa idroelettrica presente a valle del sito) e temperatura media dell’aria nel periodo estivo-autunnale negli ultimi 4 decenni decenni (da Comiti et al. 2019; dati forniti da Alperia S.p.A.)

Bibliografia citata e Prodotti del macrosito. Ultimi 10 anni

Riviste ISI

- Anagnostou M.N., Nikolopoulos E.I., Id J.K., Anagnostou E.N., Id F.M., Mair E., Bertoldi G., Tappeiner U., Borga M. (2018). Advancing Precipitation Estimation and Streamflow Simulations in Complex Terrain with X-Band Dual-Polarization Radar Observations. *Remote Sens.* 10, 1258. <https://doi.org/10.3390/rs10081258>.
- Bertoldi G., Della Chiesa S., Notarnicola C., Pasolli L., Niedrist G., Tappeiner U. (2014). Estimation of soil moisture patterns in mountain grasslands by means of SAR RADARSAT2 images and hydrological modeling. *Journal of Hydrology*, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.02.018.
- Castelli M., Anderson M.C., Yang Y., Wohlfahrt G., Bertoldi G., Niedrist G., Hammerle A., Zhao P., Zebisch M., Notarnicola C. (2018). Two-source energy balance modeling of evapotranspiration in Alpine grasslands. *Remote Sensing of Environment* 209, 327-342. DOI: 10.1016/j.rse.2018.02.062.
- Ciccazzo S., Esposito A., Borruso L., Brusetti L. (2015). Microbial communities and primary succession in high altitude mountain environments. *Annals of Microbiology*, DOI: 10.1007/s13213-015-1130-1.
- Ciccazzo S., Esposito A., Rolli E., Zerbe S., Daffonchio D., Brusetti L. (2014). Different pioneer plant species select specific rhizosphere bacterial communities in a high mountain environment. *SpringerPlus*, 3:391.
- Colliander A., Jackson T.J., Bindlish R., Chan S., Das N., Kim S.B., Cosh M. H., Dunbar R.S., Dang L., Pashaian L., Asanuma J., Aida K., Berg A., Rowlandson T., Bosch D., Caldwell T., Caylor K., Goodrich D., al Jassar H., Lopez-Baeza E., Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Livingston S., McNairn H., Pacheco A., Moghaddam M., Montzka C., Notarnicola C., Niedrist G., Pellarin T., Prueger J., Pulliainen J., Rautiainen K., Ramos J., Seyfried M., Starks P., Su Z., Zeng Y., van der Velde R., Thibeault M., Dorigo W., Vreugdenhil M., Walker J.P., Wu X., Monerris A., O'Neill P.E., Entekhabi D., Njoku E.G., Yueh S. (2017). Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites, *Remote Sensing of Environment* 191, 215-231.
- Comiti F., Mao L., Penna D., Dell'Agnese A., Engel M., Rathburn S., Cavalli M. (2019). Glacier melt runoff controls bedload transport in Alpine catchments. *Earth and Planetary Science Letters*. *Earth and Planetary Science Letters*, 520, 77-86.
- Della Chiesa S., Bertoldi G., Niedrist G., Obojes N., Endrizzi S., Albertson J.D., Wohlfahrt G., Hörtnagl L., Tappeiner U. (2014). Modelling changes in grassland hydrological cycling along an elevational gradient in the Alps. *Ecohydrology* <http://dx.doi.org/10.1002/eco.1471>.
- Dick J., Orenstein D.E., Holzer J.M., Wohner C., Achard A.L., Andrews C., Avriel-Avni N., Beja P., Blond N., Cabello J., Chen C., Díaz-Delgado R., Giannakis G.V., Gingrich S., Izakovicova Z., Krauze K., Lamouroux N., Leca S., Van Ryckegem G. (2018). What is socio-ecological research delivering? A literature survey across 25 international LTSER platforms. *Science of the total Environment* 622-623, 1225-1240.
- Djuric I., Kepfer-Rojas S., Kappel Schmidt I., Steenberg Larsen K., Beier C., Berg B., Verheyen TeaComposition (~200 LTER members) (2018). Early stage decomposition across biomes. *Science of the Total Environment* 628-629, 1169-1394. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.012.
- Engel M., Notarnicola C., Endrizzi S., Bertoldi G. (2017). Snow model sensitivity analysis to understand spatial and temporal snow dynamics in a high-elevation catchment. *Hydrological Processes* 31 (23), 4151-4168. DOI: 10.1002/hyp.11314.
- Engel M., Penna D., Bertoldi G., Dell'Agnese A., Soulsby C., Comiti F. (2016). Identifying run-off contributions during melt-induced run-off events in a glacierized alpine catchment. *Hydrological Processes*, 30 (3), pp. 343-364. DOI: 10.1002/hyp.10577.
- Esposito A., Engel M., Ciccazzo S., Daprà L., Penna D., Comiti F., Brusetti L. (2016). Spatial and temporal variability of microbial communities in high alpine waterspring sediments. *Research in Microbiology*. DOI: 10.1016/j.resmic.2015.12.006.

-
- Fontana V., Guariento E., Hilpold A., Niedrist G., Steinwandter M., Spitale D., Nascimbene J., Tappeiner U. and Seeber J. (2020). Species richness and beta diversity patterns of multiple taxa along an elevational gradient in pastured grasslands in the European Alps. *Scientific Reports*, 10(1), pp. 1-11.
- Fontana V., Kohler M., Niedrist G., Bahn M., Tappeiner U. & Frenck G. (2017). Decomposing the land-use specific response of plant functional traits along environmental gradients. *Science of The Total Environment*, 599, 750-759.
- Greifeneder F., Notarnicola C., Bertoldi G., Niedrist G., Wagner W. (2016). From point to pixel scale: An upscaling approach for in-situ soil moisture measurements. *Vadose Zone Journal* 15/6.
- Hilpold A., Seeber J., Fontana V., Niedrist G., Rief A., Steinwandter M., Tasser E., Tappeiner U. (2018). Decline of rare and specialist species across multiple taxonomic groups after grassland intensification and abandonment. *Biodiversity and Conservation* 1-16.
- Ilyashuk B., Ilyashuk E., Psenner R., Tessadri R., Koinig K.A. (2018). Rock glaciers in crystalline catchments: Hidden permafrost-related threats to alpine headwater lakes. *Global Change Biology* 24 (4), 1548-1562. DOI: 10.1111/gcb.13985.
- Kattge J., Bönisch G., Díaz S., Dainese M., Fontana V., Niedrist G., Tappeiner U. *et al.* TRY plant trait database – enhanced coverage and open access. *Glob Change Biol.* 2020; 26: 119-188. <https://doi.org/10.1111/gcb.14904>.
- Mair E., Bertoldi G., Leitinger G., Della Chiesa S., Niedrist G., Tappeiner U. (2014). ESOLIP – estimate of solid and liquid precipitation at sub-daily time resolution by combining snow height and rain gauge measurements, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 10, 8683-8714, DOI: 10.5194/hessd-10-8683-2013. (conference proceeding paper).
- Mair E., Leitinger G., Della Chiesa S., Niedrist G., Tappeiner U., Bertoldi G. (2016). A simple method to combine snow height and meteorological observations to estimate winter precipitation at sub-daily resolution. *Hydrological Sciences Journal* 61/11, 2050-2060.
- Mao L., Comiti F., Carrillo R. & Penna D. (2019). Sediment transport in proglacial rivers. *Geomorphology of Proglacial Systems. Landform and Sediment Dynamics in Recently Deglaciated Alpine Landscapes*, eds Heckmann T, Morche D (Springer).
- Mao L., Dell'Agnese A., Huincache C., Penna D., Engel M., Niedrist G., Comiti F. (2014). Bedload hysteresis in a glacier-fed mountain river. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(7), 964-976. DOI: 10.1002/esp.3563.
- Montagnani L., Varolo E., Zanotelli D., Tagliavini, Zerbe S. (2017). Colonization of a deglaciated moraine: contrasting patterns of carbon uptake and release from C3 and CAM plants. *PLOS one*, DOI: 10.1371/journal.pone.0168741s.
- Montagnani L., Badraghi A., Speak A.F., Wellstein C., Borruso L., Zerbe S., Zanotelli D. (2019). Evidence for a non-linear carbon accumulation pattern along an Alpine glacier retreat chronosequence in Northern Italy. *PeerJ* 7:e7703.
- Niedrist G., Tasser E., Bertoldi G., Della Chiesa S., Obojes N., Egarter Vigl L., Tappeiner U. (2016). Down to future: Transplanted mountain meadows react with increasing phytomass or shifting species composition. *Flora* 224, 172-182.
- Niedrist G., Nollo A., Brugger H., Vilardi A., Leitinger G., Tappeiner U. (2018). terraXcube: An emerging ecotrone to converge chamber experiments and environmental studies in alpine ecology, *Geophysical Research Abstracts Vol. 20, EGU2018-9199, EGU General Assembly 2018, Vienna, Austria, 8-13 April 2018*.
- Obojes N., Meurer A., Newesely C., Tasser E., Oberhuber W., Mayr S., Tappeiner U. (2018). Water stress limits transpiration and growth of European larch up to the lower subalpine belt in an inner-alpine dry. *New Phytologist*. DOI: 10.1111/nph.15348.

-
- Pasolli L., Notarnicola C., Bertoldi G., Della Chiesa S., Niedrist G., Bruzzone L., Tappeiner U., Zebisch M. (2014). Soil moisture monitoring in mountain areas by using high resolution SAR images: results from a feasibility study. European Journal of Soil Science 65/6, 852-864.
- Pasolli L., Notarnicola C., Bruzzone L., Bertoldi G., Della Chiesa S., Hell V., Niedrist G., Tappeiner U., Zebisch M., Del Frate F., Vaglio Laurin G. (2011). “Estimation of Soil Moisture in an Alpine Catchment with RADARSAT2 Images”, Applied and Environmental Soil Science, vol. 2011, Article ID 175473, 12 pages, 2011. DOI: 10.1155/2011/175473.
- Penna D., Engel M., Mao L., Dell’Agnese A., Bertoldi G., Comiti F. (2014). Tracer-based analysis of spatial and temporal variation of water sources in a glacierized catchment. Hydrology and Earth System Sciences Discussions 11: 4879-4924. DOI: 10.5194/hessd-11-4879-2014.
- Penna D., Engel M., Bertoldi G., Comiti F. (2017). Towards a tracer-based conceptualization of meltwater dynamics and streamflow response in a glacierized catchment. Hydrology and Earth System Sciences, 21 (1), pp. 23-41. DOI: 10.5194/hess-21-23-2017.
- Präg N., Seeber J., Leitinger G., Tasser E., Tappeiner U., Illmer P. (2020). The role of land management and elevation in shaping soil microbial communities: insights from the Central European Alps. Soil Biology & Biochemistry 150, 107951.
- Reyer C., Leuzinger S., Rammig A., Wolf A., Bartholomeus R.P., Bonfante A., De Lorenzi F., Dury M., Gloning P., Abou Jaoudé R., Klein T., Kuster T.M., Martins M., Niedrist G., Riccardi M., Wohlfahrt G., De Angelis P., De Dato G., François L., Menzel A., Pereira M. (2012). A plant’s perspective of extremes: terrestrial plant responses to changing climatic variability. Global Change Biology, 19, 75-89.
- Rogora M., Frate L., Carranza M.L., Freppaz M., Stanisci A., Bertani I., ... & Cerrato C. (2018). Assessment of climate change effects on mountain ecosystems through a cross-site analysis in the Alps and Apennines. Science of the Total Environment, 624, 1429-1442.
- Rossi M., Niedrist G., Asam S., Tonon G., Tomelleri E., Zebisch M. (2019). A Comparison of the Signal from Diverse Optical Sensors for Monitoring Alpine Grassland Dynamics. Remote Sensing 2019, 11, 296.
- Schirpke U., Leitinger G., Tasser E., Rüdisser J., Fontana V., Tappeiner U. (2020). Functional spatial units are fundamental for modelling ecosystem services in mountain regions. Applied Geography 118, DOI: 10.1016/j.apgeog.2020.102200.
- Scotti A., Jacobsen D., Tappeiner U., Bottarin R. (2018). Spatial and temporal variation of benthic macroinvertebrate assemblages during the glacial melt season in an Italian glacier-fed stream. Hydrobiologia 1-17.
- Scotti A. (2014). Forecasting ecological impacts of a “run-of-river” hydropower plant on a high. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 794-808.
- Scotti A., Tappeiner U., Bottarin R. (2019). Stream benthic macroinvertebrates abundances over a 6-year monitoring period of an Italian glacier-fed stream. Biodiversity Data Journal 7: e33576. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e33576>.
- Steinwandter M., Kahlen M., Tappeiner U., Seeber J. (2019). First records of Opetiopalpus sabulosus Motschulsky, 1840 (Coleoptera, Cleridae) for the European Alps. Nature Conservation 34, 119-125. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.34.30030>.
- Steinwandter M., Rief A., Scheu S., Traugott M., Seeber J. (2018). Structural and functional characteristics of high alpine soil macro-invertebrate communities. European Journal of Soil Biology 86: 72-80. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2018.03.006.
- Steinwandter M., Schlick-Steiner B.C., Seeber G.U.H., Steiner F.M., Seeber J. (2017). Effects of Alpine land-use changes: Soil macrofauna community revisited. Ecology and Evolution 7 (14), 5389-5399. DOI: 10.1002/ece3.3043.
- Wohlfahrt G., Hammerle A., Niedrist G., Scholz K., Tomelleri E., Zhao P. (2016). On the energy balance closure and net radiation in complex terrain. Agricultural and Forest Meteorology, 226-227, 37-49.

Riviste non ISI

- Ballini S., Rief A., Steinwandter M. (2017). Neumeldungen von Spinnen (Arachnida: Araneae) für Südtirol aus dem LTSER-Gebiet Matschertal. *Gredleriana* 17, 241-244.
- Friess T., Hilpold A. (2017). Wanzen (Insecta: Heteroptera) ausgewählter Untersuchungsflächen der Science Week 2016 in der Umgebung von Matsch (Südtirol, Italien). *Gredleriana* 17, 191-204.
- Hilpold A., Stoinschek B. (2017). Erhebung der Tagfalter und Widderchen (Lepidoptera: Papilionoidea, Zygaenidae) in den LTSER-Untersuchungsflächen in Matsch (Südtirol, Italien) im Rahmen der Forschungwoche 2016. *Gredleriana* 17, 227-230.
- Krancbitter P., Hilpold A. (2017). Erhebung der Heuschrecken (Orthoptera, Insecta) in den LTSER-Untersuchungsflächen in Matsch (Südtirol, Italien) im Rahmen der Forschungwoche 2016. *Gredleriana* 17, 185-190.
- Niedrist G.H., Alber R., Scotti A., Rauch H., Vorhauser S., Kiebacher T. & Bottarin R. (2017). Aquatic invertebrates along the progression of glacial and non-glacial streams in Matsch Valley (South Tyrol, Italy). *Gredleriana*, 17, 129-140.
- Rief A., Fontana V., Niedrist G., Seeber J., Tappeiner U. (2017). Floristische und faunistische Bestandsaufnahmen in den LTSER-Untersuchungsflächen in Matsch (Südtirol, Italien) im Zuge einer multidisziplinären Forschungwoche 2016. *Gredleriana* 17, 95-114.
- Steinwandter M., Seeber J. (2017). Erhebung der epi- und endogäischen Bodenmakrofauna in den LTSER-Untersuchungsflächen im Matschertal (Südtirol, Italien) im Sommer 2016. *Gredleriana* 17, 141-156.

Prospettive della Rete LTER-Italia

Autori

Comitato di Coordinamento e Segretariato

Giorgio Matteucci¹, Caterina Bergami², Alessandro Campanaro³, Lucilla Capotondi², Bruno Cataletto⁴, Andrea Lami⁵, Renzo Motta⁶, Alessandra Pugnetti⁷, Mariangela Ravaioli², Maria Grazia Mazzocchi⁸

Affiliazione

- ¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Bioeconomia (IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).
- ² Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna.
- ³ Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Difesa e Certificazione (CREA - DC), Via di Laciola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze.
- ⁴ Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS).
- ⁵ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB).
- ⁶ Università degli Studi di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco (TO).
- ⁷ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia.
- ⁸ Stazione Zoologica Anton Dohrn (SZN), Villa Comunale, 80121 Napoli.

La Rete LTER-Italia, fondata nel 2006, nel 2021 ha raggiunto 15 anni della propria storia. In questi anni, la Rete è cresciuta: partita con 27 siti di ricerca e 10 macrositi, oggi ne conta rispettivamente 79 e 25.

Lo stato attuale della Rete e i principali risultati ottenuti sono illustrati in questo volume e testimoniati dalle centinaia di articoli scientifici, tesi di laurea e dottorato, nonché da numerose iniziative di comunicazione e coinvolgimento dei cittadini.

A partire dal 2018, si sono aperte numerose prospettive per il consolidamento della Rete, con particolare riferimento al percorso di formalizzazione a livello nazionale e internazionale e al rafforzamento della percezione e del ruolo della Rete e dei suoi Siti di Ricerca nei diversi Enti e Università e nelle realtà Regionali, Provinciali, Enti Parco, Consorzi nei quali le attività della Rete vengono svolte.

LTER-Italia ha avviato il processo di costituzione di una Joint Research Unit (JRU), sulla scia di esperienze simili, adottate a livello nazionale da altre infrastrutture di ricerca europee (es. LifeWatch, ICOS, Actris, Emphasis). In questa fase sono state coinvolte le principali istituzioni responsabili dei Siti di Ricerca. Per le peculiarità della Rete e per valorizzare al meglio le esperienze di ricerca dei siti, la JRU prevede, tra i suoi organi (Assemblea Generale, Coordinatore e Vice Coordinatore, Comitato di Coordinamento), anche una Assemblea dei Rappresentanti dei Siti di Ricerca.

La Rete europea (LTER-Europe) partecipa pienamente al percorso di realizzazione dell'Infrastruttura di Ricerca (RI) europea eLTER-RI, una RI di tipo distribuito che è stata inserita nella roadmap ESFRI

Prospettive della Rete LTER-Italia, p. 763-768. DOI: 10.5281/zenodo.5589841. In: Capotondi L., Ravaioli M., Acosta A., Chiarini F., Lami A., Stanisci A., Tarozzi L., Mazzocchi M.G. (a cura di) (2021). La Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine. Lo studio della Biodiversità e dei Cambiamenti, pp. 806. DOI: 10.5281/zenodo.5570272.

del 2018 per il Settore Strategico Ambiente (Environment SWG). LTER-Italia è parte rilevante del processo, dato che l'Italia, tramite il MUR, ha firmato il supporto politico alla proposta di inserimento nella roadmap. Inoltre la Rete, tramite il CNR, partecipa al progetto quinquennale H2020 eLTER-PPP, cominciato a febbraio 2020, che definirà la struttura legale e operativa dell'infrastruttura europea.

La maggior parte delle infrastrutture di ricerca ambientale in Italia (ACTRIS-ERIC, EMSO-ERIC, ICOS-RI, LifeWatch-ERIC, eLTER-RI, Danubius-RI, DiSSCo-RI, Jerico) sono collegate al DSSTTA del CNR, con formalizzazioni di livello diverso, mentre Emphasis è collegata al Dipartimento di Scienze Bio-Agroalimentari. Visto il numero di RI presenti a livello nazionale e il numero di siti e Istituzioni in esse coinvolti con attività spesso comuni, si ritiene utile e necessario costituire un tavolo di lavoro coordinato tra di esse, così da valutare e valorizzare le sinergie ed evitare eventuali duplicazioni e sovrapposizioni.

In questo momento, la Rete LTER-Italia rinnova e rafforza il suo impegno nel continuare e sviluppare ulteriormente le osservazioni e le ricerche ecologiche di lungo termine, nell'ottica del Green Deal europeo e in collegamento con le Strategie Europee per il 2030 sulla Biodiversità e sulle Foreste, guardando con interesse e volontà di partecipazione al piano Next Generation EU, per contribuire a formare le nuove generazioni di ricercatrici e ricercatori cui passare il testimone.

Per far questo, è necessario che la Rete consolida la propria struttura nazionale all'interno del sistema paese, avviando e mantenendo una serie di impegni:

- proseguire e intensificare le attività e le programmazioni che permettano di rendere i siti di ricerca LTER luoghi di impulso per nuove indagini scientifiche, oltre che di acquisizione di serie di dati ecologici;
- intensificare le collaborazioni fra i siti di ricerca, promuovendo e coordinando iniziative e ricerche trans-ecodomìnio, per evidenziare tempi e modalità di risposta di ecosistemi diversi sottoposti ai medesimi fenomeni su scala locale, regionale e globale;
- continuare a individuare siti significativi da considerare come "sensori" dei cambiamenti delle condizioni ecologiche, a livello locale, regionale o globale.
- armonizzare i protocolli di misura e la scelta delle variabili più significative, condividere i metadati e i dati raccolti attraverso strumenti e formati standard, per migliorarne la futura disponibilità ed elaborazione all'interno dei singoli siti e tra i siti;
- promuovere azioni di comunicazione della ricerca a lungo termine, specialmente tramite il coinvolgimento attivo della società civile, anche attraverso attività di citizen science, per contribuire a rendere i cittadini responsabili nei confronti dell'ambiente in cui vivono e le ricercatrici e i ricercatori sempre più disponibili all'ascolto e a una reale condivisione delle conoscenze e della cura del territorio;
- approfondire le relazioni con le reti europee e internazionali (LTER-Europe e ILTER), proponendo e aderendo a collaborazioni scientifiche e progetti collettivi.

Per questo sarà importante:

- proseguire le attività di consolidamento della rete all'interno di CNR, Università e altri Enti di ricerca e territoriali visto anche il riconoscimento formale dal MUR con Adozione del Piano Nazionale Infrastrutture di Ricerca (PNIR) 2021 – 2027 (Decreto 1082 del 10/09/021 del MUR) dove la rete eLTER è stata inserita tra le infrastrutture di alta priorità per il paese. In questa prospettiva, saranno importanti le connessioni con gli altri ministeri con competenze nel settore ambientale e nella gestione del territorio;

-
- sviluppare progetti nei programmi comunitari, quali Horizon Europe, LIFE e INTERREG; ed essere pronti ad eventuali opportunità di accesso a finanziamenti dei Fondi Strutturali e del PNRR;
 - mantenere, prolungare e validare le serie storiche di dati e organizzarle secondo i principi FAIR per poter fornire informazioni sulle risposte ecologiche e climatiche basate su evidenze scientifiche e con una visione integrata;
 - consolidarsi come struttura operativa di riferimento sul territorio per iniziative quali Copernicus, Natura 2000, Agenda 2030 ONU, IPBES, UNFCCC, sui temi relativi a biodiversità, ecosistemi, adattamento climatico e Big Data in campo ambientale;
 - avviare e consolidare collegamenti virtuosi sui temi LTER tra ricerca, piccole medie imprese (PMI), industria, a servizio del Paese per il lancio di sfide tecnologiche, che si basino su una visione ecologica, rispettosa dell'ambiente naturale;
 - diventare un riferimento solido e propositivo per attività di formazione per Università, Scuole e altri possibili utilizzatori finali, fino a ipotizzare la proposta di corsi di dottorato consociati dedicati alle tematiche LTER;
 - promuovere una comunicazione efficace che coinvolga attivamente la cittadinanza e i media, e che sia anche in grado di produrre una trasformazione etica di visioni e azioni nella relazione con natura e territorio.

Nel contesto storico attuale, la minaccia pandemica, i suoi impatti e gli effetti non intenzionali delle politiche del suo contenimento e della sua gestione sono e saranno una parte importante delle nostre vite per il prossimo futuro. Proprio come si è preparata ad affrontare le grandi sfide fondamentali del cambiamento ambientale globale (quali, tra le altre, il cambiamento climatico e la perdita di biodiversità) LTER potrà e dovrà raccogliere e rendere disponibili informazioni e conoscenze utili per affrontare molte delle questioni di sostenibilità sollevate dall'epidemia di COVID-19, facendo proprio il concetto, profondamente ecologico, di “One Health”, che sottolinea come salute umana e ambientale siano strettamente interdipendenti.

In sintesi, la Rete LTER-Italia e la sua futura trasformazione in infrastruttura di ricerca dovranno riuscire a divenire, in modo sempre più efficace e consolidato, uno strumento essenziale per fronteggiare le sfide ambientali e socio-ecologiche attuali e quelle che ci attendono nei prossimi anni, in particolare riguardo alla crisi della biodiversità, alla mitigazione e all'adattamento ai cambiamenti climatici. Nell'attuale contesto storico, appare necessario che la Rete contribuisca anche a sostenere un cambiamento etico dei nostri modi di vivere e a realizzare una profonda trasformazione dei nostri sistemi socio-economici. A tale scopo sarà necessario avviare e sostenere azioni congiunte che includano i cittadini, le imprese, le parti sociali e la comunità della ricerca, nonché l'attivazione di forti partenariati a livello locale, regionale, nazionale ed europeo, per la realizzazione, in modo innovativo, integrato, etico e responsabile, dei piani e delle strategie ambientali per le prossime decadi (EU Biodiversity Strategy, Green Deal, Next Generation EU, Piano Nazionale di ripresa e resilienza-PNRR).

Future perspectives of LTER-Italy network

The LTER-Italy Network, founded in 2006, reached 15 years of its history in 2021. In these years, the Network has grown from 27 research sites and 10 macrosites to the current 79 and 25 respectively.

The status of the Network and its main results are presented in this volume and in hundreds of scientific papers, master and doctoral theses, as well as by numerous initiatives of outreach and citizen involvement.

Starting from 2018, new perspectives emerged for the consolidation of the Network, with particular reference to the processes of formalization at national and international levels and to the strengthening of the perception and role of the Network and its Research Sites in the Institutions and Universities, the Regional and Provincial Bodies, Park Authorities and Consortia in which the activities of the Network are carried out.

Following similar actions adopted at national level by other European research infrastructures (eg LifeWatch, ICOS, Actris, Emphasis), LTER-Italia has initiated the process of setting up a Joint Research Unit (JRU), involving the main institutions responsible for the Research Sites. To enhance the research experiences of the sites, taking into account the particularity of the Network, the JRU will foresee among its bodies (General Assembly, Coordinator and Deputy Coordinator, Coordination Committee), also an Assembly of the Representatives of the Research Sites.

The European Network (LTER-Europe) fully participates to the development of the European Research Infrastructure (RI) eLTER-RI, a distributed RI that has been included in the 2018 ESFRI roadmap in the Strategic Working Group on Environment (Environment SWG). LTER-Italy is an important part of the process, given the fact that Italy through the Ministry of University and Research (MUR) has endorsed the political support for inclusion in the roadmap. In addition, the Network, through the CNR, participates in the five-year H2020 eLTER-PPP project, which began in February 2020 and will define the legal and operational framework of the European infrastructure.

Most of the environmental research infrastructures in Italy (ACTRIS-ERIC, EMSO-ERIC, ICOS-RI, LifeWatch-ERIC, eLTER-RI, Danubius-RI, DiSSCo-RI, Jerico) are linked to the Department of Earth System Sciences and Environmental Technologies (DSSTTA) of the CNR, while Emphasis is connected to the Department of Bio-Agri-Food Sciences. Given the number of RI present at national level and the number of sites and institutions involved with activities that are often common, it is considered useful and necessary to establish a coordinated working group, in order to evaluate and enhance synergies and avoid any duplication and overlaps.

Currently, the LTER-Italy Network renews and strengthens its commitment to continue and further develop long-term ecological observations and research, in the perspective of the European Green Deal and in connection with the European Strategies for 2030 on Biodiversity and on Forests, looking with interest and willingness to participate in the Next Generation EU plan, to help to train future generations of researchers in ecology.

To achieve this, it is necessary for the Network to consolidate its national structure within the country, initiating and maintaining a series of commitments:

- to continue and intensify the activities and programs to make the LTER research sites a stimulus for new scientific investigations, as well as for the acquisition of ecological data series;

-
- to intensify the collaborations between research sites, promoting and coordinating trans-ecodominant initiatives and research, to highlight the responses modalities and times of different ecosystems subject to the same phenomena at local, regional and global scale;
 - to find significant sites to be considered as ecological “sensors” of changes at the local, regional or global level;
 - to harmonize the measurement protocols and the choice of the most significant variables, share the collected metadata and data through standard tools and formats so as to improve their future availability and processing within individual sites and between sites;
 - to promote communication events on long-term research, particularly through the active involvement of the civil society, including citizen science activities, to help citizens to become responsible towards the environment in which they live and the researchers more ready to listen and to share the knowledge and care for nature;
 - to increase the relationships with European and international networks (LTER-Europe and ILTER), by proposing and joining scientific collaborations and collective projects;

In this respect, it will be important to:

- continue the network consolidation activities within CNR, universities and other research and territorial bodies also in consideration of the formal recognition by MUR with the adoption of the National Research Infrastructure Plan (PNIR) 2021 - 2027 (Decree 1082 of 10/09 / 021 of MUR) where the eLTER network has been included in in the infrastructure of high priority for the country. There will be important connections with other ministries with responsibilities in the environmental and land management sector;
- develop projects in EU programs, such as Horizon Europe, LIFE and INTERREG, and be ready for any opportunities to access funding from the Structural Funds and the PNRR;
- maintain, extend and validate historical data series and organize them according to FAIR principles in order to provide integrated information on ecological and climatic responses based on scientific evidence;
- consolidate as a reference operational structure on the ground for initiatives such as Copernicus, Natura 2000, UN Agenda 2030, IPBES, UNFCCC, on issues relating to biodiversity, ecosystems, climate change adaptation and Big Data;
- initiate and consolidate virtuous links on LTER issues between research, small and medium enterprises (SMEs), industry, as a service to the country for technological challenges, based on an ecological vision and respectful of the natural environment;
- become a relevant reference body for training activities for Universities, Schools and other possible end users, fit for proposing associated doctoral courses dedicated to LTER issues;
- promote effective communication that actively involves citizens and the media, and that is also capable of producing an ethical transformation in the relationship with nature and the territory.

In the current historical context of the pandemic threat, the impacts and the unintended effects of the enacted containment and management policies are and will be an important part of our lives for the near future. LTER was prepared for the major fundamental challenges of global environmental change (such as climate change and biodiversity loss). Similarly, LTER can and should collect and make available information and knowledge useful to address many of the sustainability issues raised by the COVID-19 pandemic, embracing the deeply ecological concept of “One Health”, which emphasizes how human and environmental health are strictly interdependent.

Summarising, the LTER-Italy Network and its future transformation into a research infrastructure will have to become an essential tool to face the current environmental and socio-ecological challenges and those that are in front of us in the next years, with particular reference to the biodiversity crisis and to the mitigation and adaptation to climate change. In the contemporary world, it appears necessary that LTER also contributes to supporting an ethical change in our lifestyle and to achieve a profound transformation of our socio-economic systems. To this end, it will be necessary to initiate and support joint actions that include citizens, businesses, social partners and the research community, as well as the activation of strong partnerships at local, regional, national and European level, for the innovative, integrated, ethical and responsible implementation of environmental plans and strategies for the next decades (EU Biodiversity Strategy, Green Deal, Next Generation EU, National Recovery and Resilience Plan-PNRR).

Appendice n. 1

Statistiche bibliografiche della Rete LTER Italia 2006-2020

Autori

Leone Tarozzi¹, Mariangela Ravaioli¹

Affiliazione

¹ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Via Gobetti 101, 40129 Bologna.

Le attività di ricerca condotte nei 79 siti della Rete LTER Italia, nell’intervallo di tempo dal 2006 al 2020, sono state oggetto di diversi prodotti editoriali pubblicati su riviste nazionali e internazionali ad alto impatto scientifico (87% degli articoli sono su riviste ISI incluse nel database di Web of Science), Open Access, oltre che argomento di molteplici partecipazioni (poster e comunicazioni) a convegni e congressi. Diverse tematiche sono state sviluppate in tesi di laurea e di dottorato documentando l’attenzione alla formazione altamente qualificata delle nuove generazioni in ambito scientifico-ambientale.

Di notevole importanza è stata anche l’attività divulgativa per far conoscere al grande pubblico i risultati delle osservazioni ecologiche, al fine di rendere i cittadini più informati e consapevoli, quindi più partecipi dei processi decisionali che li riguardano direttamente.

I 1625 prodotti risultano omogeneamente distribuiti nei Macrositi e Siti della Rete LTER-Italia (Tab. 1):
595 prodotti per i siti inclusi nei Macrositi “Terrestri”,
570 prodotti per i siti inclusi nei Macrositi “Marini e Acque di transizione”,
460 prodotti per i siti inclusi nei Macrositi “Acque interne”.

Tab. 1 - Produzione bibliografica ottenuta della Rete LTER Italia dal 2006 al 2020

Macrositi	Riviste ISI	Riviste non ISI	Libri e Capitoli di Libri	Report Tecnici, Comunicazioni e Poster	Lavori divulgativi	Tesi (Dottorato e Laurea)	Totale
Acque interne	294	37	28	13	62	26	460
Marini/Transizione	376	63	35	61	35	0	570
Terrestri	400	57	52	38	19	29	595
TOTALI	1070	157	115	112	116	55	1625

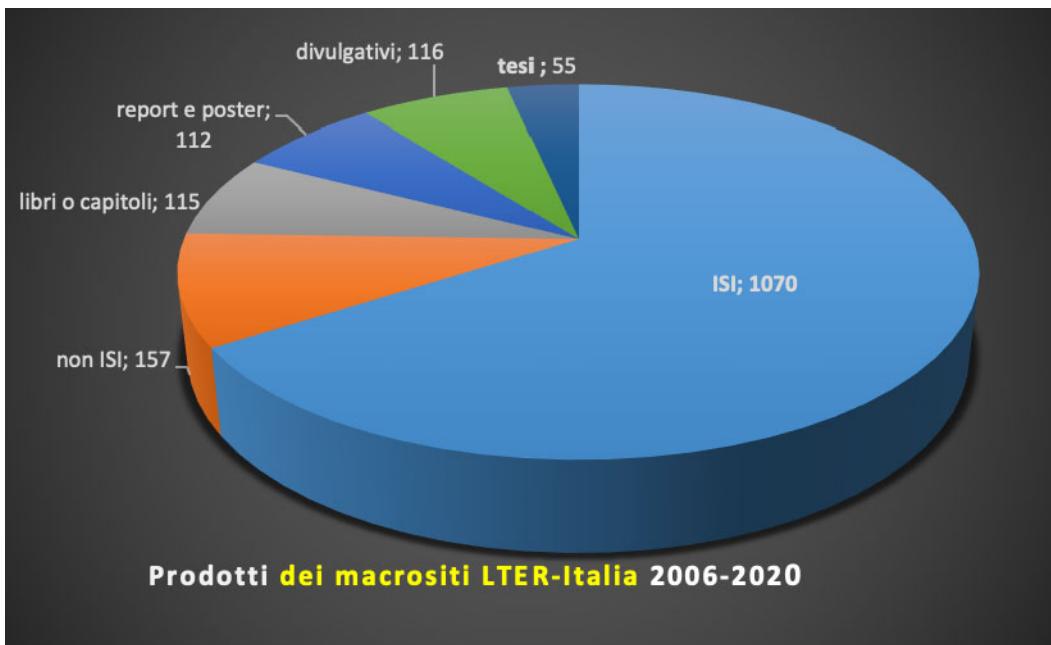


Fig. 1a - Produzione bibliografica totale della Rete LTER-Italia 2006-2020

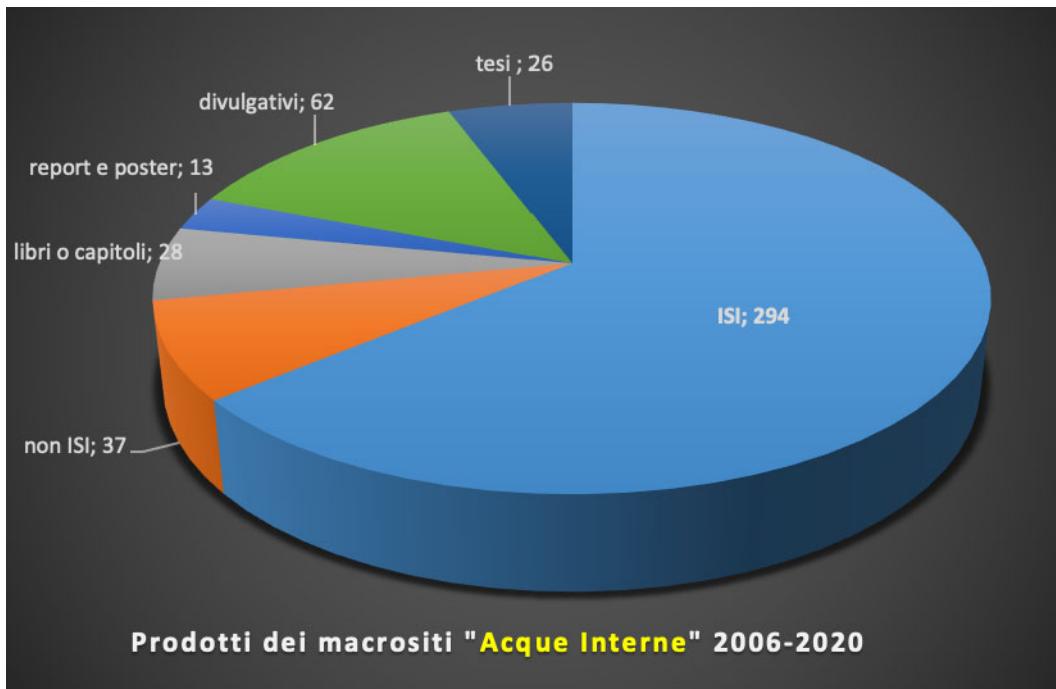


Fig. 1b - Produzione bibliografica inerente i Macrositi "Acque interne" 2006-2020

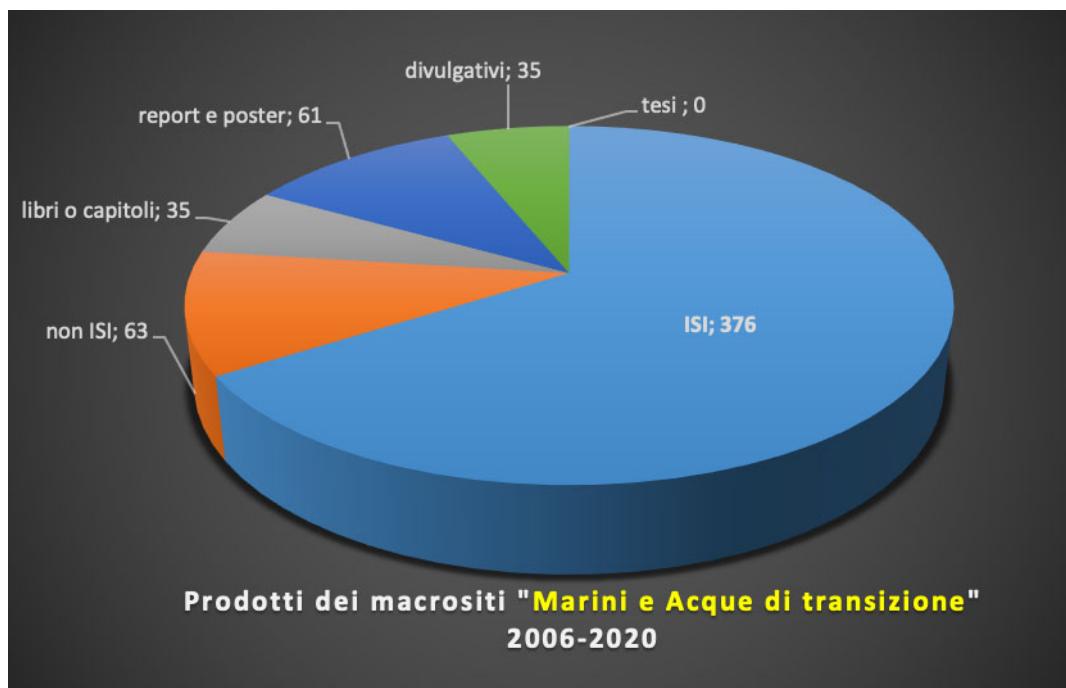


Fig. 1c - Produzione bibliografica inerente i Macrositi “Marini/Acque di Transizione” 2006-2020

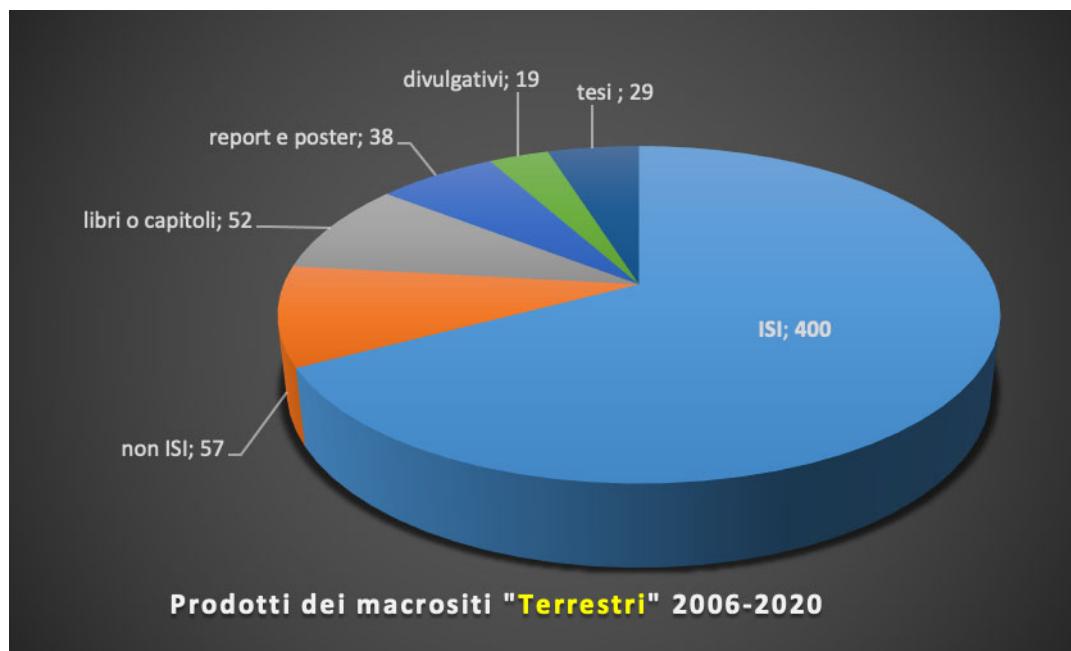


Fig. 1d - Produzione bibliografica inerente i Macrositi “Terrestri” 2006-2020

Appendice n. 2

Organizzazione della Rete LTER-Italia dal 2000 al 2021

Comitati, Segretariati e Gruppi di Lavoro

Comitato di Coordinamento e Segretariato in carica nel 2021

Giorgio Matteucci – Coordinatore (CNR-IBE, FI), Maria Grazia Mazzocchi – Vice Coordinatrice (SZN, NA), Alessandro Campanaro (CRA-DC, FI), Lucilla Capotondi (CNR-ISMAR, BO), Bruno Cataletto (OGS, TS), Andrea Lami (CNR-IRSA, VB), Renzo Motta (UNI TO, DISAFA). Segretariato: Caterina Bergami (CNR-ISMAR, BO), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR, VE), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO) (Fig. 1).

(Il Comitato è stato confermato nell’Assemblea LTER 2016 di Mantova e poi prorogato in attesa della definizione della Joint Research Unit).



Fig. 1 - Comitato di Coordinamento e Segretariato (2016-2021)

Gruppi di Lavoro 2016-2021

Gruppo di Lavoro ICT (Information and Communication Technology)

Alessandro Oggioni – Coordinatore (CNR-IREA, MI), Mauro Bastianini (CNR-ISMAR, VE), Caterina Bergami (CNR-ISMAR, BO) Laura Criscuolo (CNR-IREA, MI).

Gruppo di Lavoro Scienza

Maria Grazia Mazzocchi – Coordinatrice (SZN, NA), Alicia Acosta (UNI Roma Tre), Lucilla Capotondi (CNR-ISMAR, BO), Bruno Cataletto (OGS, TS), Veronika Fontana (EURAC, BZ) Michele Freppaz (UNI TO – DISAFA), Andrea Lami (CN-IRSA, VB), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO), Angela Stanisci (UNI Molise).

Gruppo di Lavoro Comunicazione

Caterina Bergami – Coordinatrice (CNR-ISMAR, BO), Alessandro Campanaro (CREA-DC, FI), Domenico D'Alelio (SZN, NA), Emanuela Dattolo (SZN, NA), Amelia De Lazzari (CNR-ISMAR, VE), Alba L'Astorina (CNR-IREA, MI), Alessandro Oggioni (CNR-IREA, MI), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR, VE), Michela Rogora (CNR-IRSA, VB).

(Da Statuto, i gruppi di Lavoro sono nominati o confermati dal Comitato di Coordinamento in carica).

Comitato di Coordinamento e Segretariato 2014-2016

Giorgio Matteucci-Coordinatore (CNR-ISAFOM, Rende), Maria Grazia Mazzocchi, Vice Coordinatrice (SZN, NA), Alessandro Campanaro (UNI Roma1 e CNBF), Bruno Cataletto (OGS, TS), Andrea Lami (CNR-ISE, VB), Renzo Motta (UNI TO – DISAFA). Lucilla Capotondi (CNR-ISMAR, BO) Segretariato: Caterina Bergami (CNR-ISMAR, BO), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR, VE), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO).

(Il Comitato è stato eletto dall'Assemblea LTER del 2014 di Torino).

Comitato di Coordinamento e Segretariato 2012- 2014

Giorgio Matteucci – Coordinatore (CNR-ISAFOM, Rende), Alessandra Pugnetti – Vice Coordinatrice (CNR-ISMAR, VE), Alessandro Campanaro (UNI Roma 1 e CNBF), Michele Freppaz (UNI TO –DISAFA), Maria Grazia Mazzocchi (SZN, NA), Andrea Lami (CNR-ISE, VB), Enrico Pompei (CFS, RM). Segretariato: Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO), Caterina Bergami (CNR-ISMAR, BO).

(Il Comitato è stato eletto dall'Assemblea del 2012 di Roma).

Comitato di Coordinamento e Segretariato 2010- 2012

Alessandra Pugnetti – Coordinatrice (CNR-ISMAR, VE), Roberto Bertoni – Vice Coordinatore (CNR-ISE, VB), Michele Freppaz, (UNI TO – DISAFA), Franco Mason (CFS-CNBF, VR), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO), Giampaolo Rossetti (UNI PR), Adriana Zingone (SZN, NA) Segreteriato: Claudia Cindolo (CFS-CONECOFOR, RM), Cristiana Cocciufa (CFS-CONECOFOR, RM), Giorgio Matteucci (CNR-ISAFO, Rende).

(Il Comitato è stato eletto dall'Assemblea del 2010 di Roma).

Gruppi di Lavoro 2010-2012

Comitato Redazionale/Editoriale libro “report” sui siti LTER-Italia

Roberto Bertoni – Coordinatore (CNR-ISE, VB), Alessandro Campanaro (UNI ROMA1 – CNBF), Claudia Cindolo (CFS-CONECOFOR, RM), Michele Freppaz (UNI TO – DISAFA), Antonella Lugliè (UNI SS, SS), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR, VE), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO).

Sito Web e metadatabase

Roberto Bertoni (CNR-ISE, VB), Mauro Bastianini (CNR-ISMAR, VE), Alessandro Oggioni (CNR-ISE, VB), Paolo Povero (UNI GE), Giampaolo Rossetti (UNI PR).

(Da Statuto, i gruppi di Lavoro sono nominati o confermati dal Comitato di Coordinamento in carica).

Comitato di Coordinamento e Segretariato 2007-2010

Bruno Petriccione – Coordinatore (CFS-CONECOFOR, RM), Alessandra Pugnetti, Vice Coordinatrice (CNR-ISMAR, VE), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO), Roberto Bertoni (CNR-ISE, VB), Pierluigi Viaroli (UNI PR), Giorgio Matteucci (CNR-ISAFOR, Rende), Adriana Zingone (SZN, NA). Segretariato: Cristiana Cocciaufa (CFS-CONECOFOR, RM).

(Il Comitato è stato eletto nell'Assemblea del 2007 di Roma).

Comitato Promotore per la costituzione della Rete LTER (2004)

Bruno Petriccione – Coordinatore (CFS – CONECOFOR, RM, Progetto ALTER-Net), Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR, VE), Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO), Franco Bianchi (CNR-ISMAR, VE), Roberto Bertoni (CNR-ISE, VB), Rosario Mosello (CNR-ISE, VB), Pierluigi Viaroli (UNI PR), Giorgio Matteucci (UNI Tuscia – DISAFRI), Serena Fonda Umani (UNI TS). Segretariato: Cristiana Cocciaufa (CFS-CONECOFOR, RM).

Coordinatori e Coordinatori Prottempore

Coordinatori Prottempore della costituenda Rete LTER-Italia (2000-2004)

Serena Fonda Umani (UNI TS), Sandro Rabitti (CNR-ISMAR, VE) e Mariangela Ravaioli (CNR-ISMAR, BO).

Coordinatori e Vice Coordinatori eletti dalla Rete LTER, dopo la sua costituzione ufficiale e affiliazione a ILTER

2007-2010 Bruno Petriccione – Coordinatore (CFS-CONECOFOR, Roma), Alessandra Pugnetti – Vice Coordinatrice (CNR-ISMAR, VE).

2010-2012 Alessandra Pugnetti – Coordinatrice (CNR-ISMAR, VE), Roberto Bertone – Vice Coordinatore (CNR-ISE, VB).

2012-2016 Giorgio Matteucci – Coordinatore (CNR-ISAFOR, Rende), Alessandra Pugnetti – Vice coordinatrice (CNR-ISMAR, VE).

2016-2021 Giorgio Matteucci – Coordinatore (CNR-ISAFOR, Ercolano e CNR-IBE, FI), Maria Grazia Mazzocchi – Vice Coordinatrice (SZN, NA).

Atti formali relativi alla Rete LTER-Italia (2011-2021)

Provvedimento del Direttore del Dipartimento Terra e Ambiente del CNR (Enrico Brugnoli) di “Costituzione del Gruppo di lavoro relativo alla Rete di Ricerca Ecologica a Lungo Termine LTER-ITALIA” (in carica dal 2011 al 2017 – Prot. n. 0063973 del 09.11.2021)

Il CNR nell'ambito del Dipartimento Terra Ambiente (DTA-CNR) ha riconosciuto la costituzione della Rete LTER-Italia.

Membri del Gruppo di Lavoro (e loro ruoli al momento della nomina):

Alessandra Pugnetti (CNR-ISMAR (ecosistemi marini) – Coordinatore Rete LTER-Italia);
Mariangela Ravaioli (Membro del CdC Rete LTER-Italia);
Roberto Bertoni (CNR-ISE (ecosistemi d'acqua dolce) – Vice-coordinatore Rete LTER-Italia);
Giorgio Matteucci (CNR-ISAFOM (ecosistemi terrestri) – Membro del Segretariato LTER-Italia);
Saverio Vicario (CNR-ITB, LifeWatch Italia);
Stefano Nativi (CNR-IIA, Information Management (e.g. GIIDA, GEOSS));
Luigi Mazari Villanova (CNR-DTA, Relazioni con il Dipartimento Terra e Ambiente).

Inserimento della Rete LTER Italia e della infrastruttura eLTER ESFRI nel Piano Triennale di Attività (PTA) del CNR (a partire dal 2016)

Il CNR, a partire dal 2016, ha inserito la rete LTER Italia nel suo Piano Triennale di Attività, menzionando anche la partecipazione alla costruzione della infrastruttura europea eLTER ESFRI nella sezione dedicata alle infrastrutture di ricerca europee.

Atto del Presidente del CNR – prof. Massimo Inguscio (Prot. 0051663 del 31.07.2017)

Richiesta al MIUR di esprimere supporto politico alla proposta di infrastruttura europea eLTER-ESFRI.

Atto del MIUR – Prof. Marco Mancini Capo del Dipartimento per la Formazione Superiore e per la Ricerca – di Espressione di Supporto Politico alla costituenda infrastruttura europea eLTER-ESFRI (AOO DGRIC. Registro Ufficiale (U). 0013952_04.08.2017)

Espressione di supporto politico da parte del MIUR, inviata al coordinamento della proposta eLTER-ESFRI.

Nomina dei Membri italiani dell'Interim Council della infrastruttura europea eLTER-RI (ATTO MIUR, AOODGRIC. Registro Ufficiale.U.0017140 del 10.11.2020

Il Direttore Generale del MIUR – dottor Vincenzo De Felice nomina due rappresentanti presso l'Interim Council dell'infrastruttura *European Long-Term Ecosystem, critical zone and socio-ecological systems Research Infrastructure*, eLTER-RI.

Dr. Francesca Galli (Miur Roma), Capo Delegazione e referente del MIUR, Dr. Giorgio Matteucci (CNR-IBE, FI) Membro scientifico.

L'Interim Council di eLTER-RI rimarrà in carica sino al 2024, anno in cui si dovrebbe formalmente costituire la infrastruttura eLTER-RI in forma di ERIC.

eLTER nelle attività finanziate dal Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca (FOE)

Il Ministero per l'Università e la Ricerca, a partire dal 2020, ha inserito eLTER tra le Attività di ricerca di valenza internazionale finanziate dal Fondo ordinario per gli enti e le istituzioni di ricerca (FOE). I fondi assegnati al CNR nel 2020 e 2021 sono pari a 150.000 Euro per anno.

eLTER nel Piano Nazionale per le Infrastrutture di Ricerca 2021-2027 (PNIR2021-2027)

Il MUR ha inserito eLTER nel Piano Nazionale Infrastrutture di Ricerca (PNIR) 2021 – 2027, indicando la rete eLTER tra le infrastrutture di alta priorità per il paese (Decreto 1082 del 10/09/2021 del MUR).

Appendice n. 3

Elenco istituzioni Italiane coinvolte nella Rete LTER-Italia 2006-2021

Accademia Nazionale delle Scienze, detta dei XL, Via Lazzaro Spallanzani 5a/7, 00161 Roma.

Agenzia AGRIS, Loc. Bonassai, 07100 Olmedo (SS).

ARPAE-Daphne – Agenzia Regionale per la Prevenzione, l’Ambiente e l’Energia dell’Emilia Romagna, Cesenatico – Struttura Oceanografica Daphne, Area Ecosistema marino. V.le Vespucci, 247042 Cesenatico (FC).

ARPA Lombardia – Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente, Dipartimento di Lecco, Via I Maggio 21/b, 23848 Oggiono (LC).

Arpa Puglia – Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell’Ambiente, Corso Trieste 27, 70126 Bari.

ARPAE-SIMC – Agenzia Regionale per la Prevenzione, l’Ambiente e l’Energia dell’Emilia Romagna, Servizio IdroMeteo Clima (SIMC), Via Silvani 6, 40122 Bologna.

ARPA Valle d’Aosta, Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente Rue de la Maladière, n. 48 11020 Saint-Christophe (AO).

Area Marina Protetta Portofino, Viale Rainusso 1, 16038 S.Margherita Ligure (GE).

Arma dei Carabinieri (CUFA), Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari, SM - Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci 5, 00187 Roma (ha assorbito ruoli e competenze del Corpo Forestale dello Stato a partire dal 01.01.2017).

Arma dei Carabinieri – Reparto Carabinieri Biodiversità di Verona, Centro Nazionale per lo Studio e la Conservazione della Biodiversità Forestale “Bosco Fontana”, 46045 Marmirolo (MN).

Arma dei Carabinieri – Reparto Carabinieri Biodiversità, Via Sangro 45, 67100 Castel di Sangro (AQ).

Associazione “Confluenze”, Km. 6.500, Strada Provinciale 360 Arceviese, 60019 Senigallia (AN).

Associazione “Smilax”, P.zza Cavour 19, 62032 Camerino (MC).

Centro di Educazione Ambientale, “Renzo Videsot”, Riserva Naturale Montagna di Torricchio, Via Pontoni 5, 62032 Camerino (MC).

Città metropolitana di Roma Capitale – Dipartimento IV Tutela e valorizzazione ambientale, Servizio Aree protette, tutela della flora e della biodiversità.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l’Ambiente (DSSTTA), P.le Aldo Moro 7, Roma.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Biologia e Biotecnologia Agraria (IBBA), Sede centrale, Via E. Bassini 15, 20133 Milano.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per la BioEconomia (IBE), Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per la BioEconomia (IBE), Sede Secondaria, Via dei Taurini 19, 00100 Roma.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Via Moruzzi 1, 46124 Pisa.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine (IRBIM), Largo Fiera della Pesca 2, 60125 Ancona (già Istituto di Scienze Marine – ISMAR).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente (IREA), Sede Secondaria, Via Bassini 15, 20133 Milano.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Via G. Marconi 2, 05010 Porano (TR) (già Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale – IBAF).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Sede Secondaria Via Salaria Km 29.300, 00015 Montelibretti (RM) (già Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale – IBAF).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sugli Ecosistemi Terrestri (IRET), Sede Secondaria Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino (FI) (già Istituto per lo Studio degli Ecosistemi – ISE).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Sede Secondaria di Padova, Corso Stati Uniti 4, 35127 Padova.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), L.go Tonolli 50, 28922 Verbania Pallanza (VB) (già Istituto per lo Studio degli Ecosistemi – ISE).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), Sede Secondaria Via del Mulino 19, 20861 Brugherio (MB).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca sulle Acque (IRSA), Sede Secondaria Talassografico "A. Cerruti", Via Roma 3, 74123 Taranto (già Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – IAMC).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC), Via Piero Gobetti 101, 40129 Bologna.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo (ISAFoM), P.le Enrico Fermi 1, Loc. Porto del Granatello, 80055 Portici NA

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Arsenale Tesa 104, Castello 2737/F, 30122 Venezia.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Sede Secondaria, Via Santa Teresa, 19032 Pozzuolo di Lerici (LS).

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Sede Secondaria, Area Science Park Basovizza, Edificio Q2, Strada Statale 14, km 163.5, 34149 Trieste.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Marine (ISMAR), Sede Secondaria, Via Piero Gobetti 101, 40129 Bologna.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Sede Secondaria, Via Gobetti 101, 40129 Bologna.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Via Torino 155, 30170 Venezia Mestre.

Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Scienze Polari (ISP), Sede Secondaria, Via Raineri 86, 98122 Messina.

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di Ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Via Valle della Quistione 27, 00166 Roma.

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di Ricerca Foreste e Legno (CREA – FL), Viale Santa Margherita 80, 52100 Arezzo.

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria – Centro di Ricerca Difesa e Certificazione (CREA – DC), Via di Laciola 12/a, Cascine del Riccio, 50125 Firenze.

Consorzio CORILA, San Polo 19, 30125 Venezia.

Consorzio PROAMBIENTE, Tecnopolis CNR Bologna, Via Gobetti 101, 40129 Bologna.

Corpo Forestale dello Stato Via G. Carducci 5, 00187 Roma (operativo sino a tutto il 2016, i ruoli e le competenze sono poi state assorbite dal CUFA dell'Arma dei Carabinieri).

ENEA C.R. Ambiente Marino S. Teresa, Forte Santa Teresa, Loc. Pozzuolo, 19032 Lerici (SP).

Ente Acque della Sardegna (ENAS), Via Mameli 88, 09123 Cagliari.

Ente Parco Nazionale del Gran Paradiso (PNGP), Via Pio VII 9, 10135 Torino.

Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste - ERSASF. Regione Lombardia, Via Pola 12, 20124 Milano.

Eurac Research, Istituto per l'Ambiente Alpino, Viale Druso 1, 39100 Bolzano.

Fondazione E. Mach – Centro Ricerca e Innovazione, 38098 S. Michele a/Adige (TN).

Fondazione E. Mach – Centro Trasferimento Tecnologico, 38098 S. Michele a/Adige (TN).

Forest Departement of South Tyrol, Landhaus 6, Peter Brugger, Brennerstraße 6, 39100 Bolzano.

Giardino della Flora Appenninica di Capracotta, Piazza Stanislao Falconi, 386082 Capracotta (IS).

Istituto Istruzione Superiore Giuseppe Garibaldi 6, Contrada Lornano, 62100 (MC).

Istituto Istruzione Superiore Galileo Galilei, Viale del Lavoro 38, 60035 Jesi (AN).

Libera Università di Bolzano, Facoltà di Scienze e Tecnologie, Piazza Università 5, 39100 Bolzano.

Majella Seed Bank, Parco Nazionale della Majella, Località Colle Madonna, 66010 Lama dei Peligni (CH).

Museo di Storia Naturale di Venezia, Santa Croce 1730, 30135 Venezia.

Museo Nazionale dell'Antartide, Sezione di Genova, Viale Benedetto XV 5, 16132 Genova.

NATO Science and Technology Organization (STO), Centro per la Ricerca e la Sperimentazione Marittima (CMRE), Viale San Bartolomeo 400, 19126 La Spezia.

OGS – Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS).

Parco Naturale Mont Avic, Frazione La Fabrique 164, 11020 Champdepraz (AO).

Provincia Autonoma di Bolzano, Agenzia Provinciale per l'Ambiente e la Tutela del clima, Laboratorio Biologico, Via Sottomonte 2, 39055 Laives (BZ).

Provincia di Macerata, Piazza Vittorio Emanuele II 13, 62020.

Provincia autonoma di Trento, Servizio Foreste e Fauna, Via Giovanni Battista Trener 3, 38121 Trento.

Riserva Naturale Regionale Monte Rufeno, Piazza Santa Maria 1, 01021 Acquapendente (VT).

Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica, Servizio Tenuta Presidenziale di Castelporziano.

SELC Soc. Coop, Via dell'Elettricità 3/d, 30175 Marghera (VE).

Stazione Zoologica Anton Dohrn, Punta S. Pietro s/n, 80077 Ischia (NA).

Stazione Zoologica Anton Dohrn, Villa Comunale 80121, Napoli.

TerraData Environmetrics, Spin-off dell'Università degli Studi di Siena, Via L. Bardelloni 19, 58025 Monterotondo Marittimo (GR).

Università dell'Aquila, Dipartimento di Medicina clinica, Sanità pubblica, Scienze della vita e dell'Ambiente, Via Vetoio, 67100 L'Aquila.

Università di Camerino (UNICAM), Sistema Museale, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC).

-
- Università di Camerino (UNICAM), Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria (SBMV), Unità operativa per la diversità vegetale e la gestione degli ecosistemi, Erbario CAME, Via R. Fidanza 11, 62014 Matelica (MC).
- Università di Cagliari, Dipartimento di scienze della vita e dell'ambiente (DiSVA), Viale S. Ignazio da Laconi 13, 09123 Cagliari.
- Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche, Via Fossato di Mortara 17, 44121 Ferrara.
- Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze Fisiche e della Terra, Via Giuseppe Saragat 1, 44122 Ferrara.
- Università di Firenze, Dipartimento di Scienze della Terra (DST), Via G. La Pira 4, 50121 Firenze.
- Università di Firenze, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Via G. Donizetti 6, 50144 Firenze.
- Università di Genova, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita (DISTAV), Corso Europa 26, 16132 Genova.
- Università di Macerata, Dipartimento di Economia e Diritto, Via Armaroli 43, 60200 Macerata.
- Università Politecnica delle Marche, Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente (DISVA), Via Brecce Bianche, 60131 Ancona.
- Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Via Francesco De Sanctis, 86100 Campobasso.
- Università degli Studi del Molise, Dipartimento di Bioscienze e Territorio (DiBT), Contrada Fonte Lappone, Pesche (IS).
- Università di Milano-Bicocca, Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e della Terra, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano.
- Università di Napoli Federico II, Dipartimento di Biologia, Via Mezzocannone 8, 80134 Napoli.
- Università di Napoli Parthenope, Dipartimento di Scienze e Tecnologie, Via Porzio 4, 80143 Napoli.
- Università di Parma, Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Parco Area delle Scienze 11/A, 43124 Parma.
- Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente, Via Ferrata 7, 27100 Pavia.
- Università di Perugia, Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Via Elce di Sotto, 06124 Perugia.
- Università di Perugia, Dipartimento di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, Borgo XX Giugno 74, 06121 Perugia.
- Università di Roma Tre, Dipartimento di Scienze, Viale G. Marconi 446, 00100 Roma.
- Università di Sassari, Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica (DADU), Via Piandanna 4, 07100 Sassari.
- Università del Salento, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Via Provinciale Lecce-Monteroni, 73100 Lecce.
- Università di Sassari, Dipartimento di Medicina Veterinaria, Via Vienna 2, 07100 Sassari.
- Università di Siena, Dipartimento di Scienze della Vita, Via Aldo Moro 2, 53100 Siena.
- Università di Torino, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari (DISAFA), Largo Paolo Braccini 2, 10095 Grugliasco.
- Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Terra – DST, Via Valperga Caluso 35, 10125 Torino.

Università di Torino, Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, DBIOS, Via Accademia Albertina 13, 10123 Torino.

Università della Tuscia, Dipartimento per l'Innovazione dei sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali (Unitus-DIBAF), Via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo.

Università di Venezia Ca' Foscari, Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica (DAIS), Via Torino 155, 30170 Venezia, Mestre.

Elenco istituzioni straniere coinvolte nella Rete LTER-Italia 2006-2021

Autorità Nazionale per le foreste del Portogallo.

Autorità Nazionale per le foreste di Cipro.

Biomarine Sciences, Institute of Environmental Biology, Faculty of Science, Utrecht University, The Netherlands.

Centre Alpin de Phytogéographie, Fondation J.-M. Aubert, Champex-Lac, Switzerland.

Czech University of Life Sciences (CULS), Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Faculty of Environmental Sciences, Prague (Czech Republic).

Department of Environmental Earth Systems Science, Stanford University, 94306 California CA, USA.

Friedrich Alexander University Erlangen Nürnberg, Institute of Geography, Germania.

Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, Jena, Germania.

Orto botanico di Pécs, Ungheria.

Provincia di Malaga, Spagna.

Regione del Peloponneso, Grecia.

Regione dell'Algarve, Portogallo.

Regione dell'Istria, Croazia.

Slovenian Forest Institute, Slovenia.

Smithsonian Environmental Research Center Edgewater, Maryland, 21037 USA.

Studio Faunistico Chiros, Grecia.

Technical University di Zvolen, Facoltà di selvicoltura, Slovacchia.

Technical University di Zvolen, Forest Research Institute Zvolen, Dipartimento di Ecologia forestale e del paesaggio, Slovacchia.

Università della Provenza, Francia.

Università di Antwerp, Belgio.

Università di Bayreuth, Germania.

Università di Friburgo, Germania.

Università di Thompson River, British Columbia, Canada.

University of Gottingen, Bioclimatology, Germania.

University of Innsbruck, Department of Ecology, Sternwartestraße 15, 6020 Innsbruck Austria.

University of Zurich, Department of Evolutionary Biology and Environmental Studies, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zurich, Switzerland.

Appendice n. 4

Acronimi, Glossario, Siti Web e Progetti Rete LTER-Italia 2006-2020

ABC	Atmospheric Brown Cloud.
ABR	AntiBiotico Resistenza.
ACTRIS	Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure. Included in ESFRI Roadmap in 2016 (https://www.actris.eu/).
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler.
AERONET	Aerosol Robotic Network.
Agenda ONU 2030	Agenda Onu 2030 per lo sviluppo sostenibile, programma di azione sottoscritto da 193 paesi ONU (https://unric.org/it/agenda-2030/).
AGRIS	Agenzia per la Ricerca in Agricoltura della Regione Sardegna (https://www.regione.sardegna.it/j/v/2582?s=1&v=9&c=13624).
AIOL	Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia (http://www.aiol.info/).
ALGAE BRA	Database macroalghe: ALGAE DataBase Relational mAnagement system.
ALS	Airborne Laser Scanning.
AMP	Area Marina Protetta.
AnaEE RI	Analysis and Experimentation on Ecosystems (https://www.anaae.eu/).
APQ	Accordo di Programma Quadro per la Ricerca Scientifica e l'Innovazione Tecnologica – Accordo operativo delle Regioni e Ministero della Ricerca per l'attuazione dei progetti PON e POR.
ARPAER	Agenzia Regionale per la Prevenzione, l'Ambiente e l'Energia dell'Emilia-Romagna (https://www.arpae.it/it).
CASPER-laser	Compact and Advanced SPEctrometeR laser.
CCCB ARPA Umbria	Centro “Cambiamento Climatico e Biodiversità in ambienti lacustri e aree umide” di Arpa Umbria.
CDI	Collaborative Data Infrastructure di ARPA Puglia Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente della Regione Puglia (https://www.arpa.puglia.it/).
ARPA-Umbria	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Umbria (https://www.arpa.umbria.it/).
ARPA VDA	Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta (https://www.arpa.vda.it/it/).
Art-er (ex Aster)	Società Consortile dell'Emilia-Romagna, nata per favorire la crescita sostenibile della Regione attraverso lo sviluppo dell'innovazione e della conoscenza, l'attrattività e l'internazionalizzazione del sistema territoriale (https://www.art-er.it/).
ASLO	Association for the Sciences of Limnology and Oceanography (https://www.aslo.org).
AWS	Automatic Weather Station (Stazione Meteorologica Automatica).
BIPO	Biotic Index based on <i>Posidonia oceanica</i> .

BITS	Benthic Index based on Taxonomic Sufficiency.
BMAA	Beta-MetilAmmino-L-Alnina.
Boa E1	Boa oceanografica E1 – Torre Pedrera Rimini (Adriatico) CNR-ISMAR-Bo (http://e1.bo.ismar.cnr.it/perl/e1_home.pl).
CAI	Club Alpino Italiano (https://www.cai.it/).
CAMP-Italy	Coastal Area Management Programme – Italy. Nell’ambito della “Convenzione relativa alla tutela dell’ambiente marino e delle regioni costiere del Mediterraneo”, Convenzione di Barcellona (1989).
CDOM	Colored Dissolved Organic Matter (Materia organica disciolta colorata).
CEA	Centro di Educazione Ambientale.
CERMAS	Centro di Referenza Nazionale per le Malattie degli Animali Selvatici.
CFS	Corpo Forestale dello Stato.
CIESM	The Mediterranean Science Commission (http://www.ciesm.org/).
CIPAIS	Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo Svizzere (http://www.cipais.org/).
CIRSPE	Centro Italiano Ricerche e Studi per la Pesca Federcoopesca-1979. (http://www.cirspe.it/).
CLRTAP	Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution – Convenzione sull’inquinamento atmosferico transfrontaliero a lunga distanza.
CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (https://www.cmcc.it/it).
CMRE,	Center for Maritime Research & Experimentation (Centro per la Ricerca e la Sperimentazione CMRE NATO Marittima) (https://www.cmre.nato.int/).
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.cnr.it/).
CON.ECO.FOR	Rete Nazionale per il Controllo degli Ecosistemi Forestali (inclusa nella Rete europea ICP Forests).
COPERNICUS	European Programme for the establishment of a European capacity for Earth Observation (https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/sea-level).
CORILA	Consorzio per il coordinamento delle ricerche inerenti al sistema lagunare Veneziano (http://www.corila.it/).
COST EU	European Cooperation in Science and Technology (https://www.cost.eu/).
CORINE	Sistema di raccolta e classificazione dati sulla copertura sull’uso del suolo (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land).
COST NETLAKE	Networking Lake Observatories in Europe (https://www.dkit.ie/netlake).
Covid-19	COronaVIrus Disease (2019).
CRA	Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura (fino al 2014) ora CREA.
CREA	Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l’analisi dell’Economia Agraria (https://www.crea.gov.it/).
CREA-DC	Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l’analisi dell’Economia Agraria - Centro di ricerca Difesa e Certificazione (https://www.crea.gov.it/web/difesa-e-certificazione).

CREA-FL	Consiglio per la Ricerca in agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria – Centro di ricerca Foreste e Legno (https://www.crea.gov.it/web/foreste-e-legno/).
CSIC-CEAB	Centre for Advanced Studies of Blanes, Spain (https://www.ceab.csic.es/en/ceab/).
CUFAA	Arma dei Carabinieri, Comando Unità Forestali, Ambientali e Agroalimentari SM - Ufficio Progetti, Convenzioni, Educazione Ambientale, Via G. Carducci n. 5, 00187 Roma, Italia. (http://www.carabinieri.it/arma/oggi/organizzazione/organizzazione-per-la-tutelaforestale-ambientale-e-agroalimentare).
CZU	Department of Applied Geoinformatics and Spatial Planning, Faculty of Environmental Sciences, Czech University of Life Sciences (https://www.fzp.cz/en/r-9407-departments/r-9471-departments/r-9649-department-of-spatial-sciences).
DADU	Dipartimento di Architettura, Design e Urbanistica, Università degli Studi di Sassari (https://www.architettura.uniss.it/it).
DAIS	Dipartimento di Scienze Ambientali, Informatica e Statistica, Università degli Studi di Venezia (https://www.unive.it/pag/16129).
Danubius-Ri	International Center for Advanced Studies on River-Sea System - Research Infrastructure (https://www.danubius-ri.eu/).
DBIOS	Dipartimento di Scienze della Vita e Biologia dei Sistemi, Università degli Studi di Torino (https://www.dbios.unito.it/do/home.pl).
DDT	Diclorodifeniltricloroetano (riportato anche come Para-diclorodifeniltricloroetano).
DDx	Somma di tutti i prodotti di degradazione del DDT.
DEIMS-SDR	Dynamic Ecological Information Management System – Site and Dataset Registry. Il sistema informativo dei dati ecologici, sviluppato in ambito LTER e ILTER.
DGPS	Differential Global Positioning System (Sistema di posizionamento globale differenziale).
DHM	Department of Hydrology and Meteorology del Nepal (http://www.dhm.gov.np).
DIN	Dissolved Inorganic Nitrogen – Azoto inorganico disciolto.
DIP	Data Integration Portal del progetto eLTER, eLTER – RI.
DISAFA	Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali, e Alimentari, Università degli Studi di Torino (https://www.disafa.unito.it/).
DiSSCo-RI	Distributed System of Scientific Collections – Research Infrastructure (https://www.dissco.eu/)
DISTAV	Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e della Vita, Università degli Studi di Genova-UNIGE (http://www.distav.unige.it/drupalint/).
DISTEBA	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università degli Studi del Salento (https://www.disteba.unisalento.it/).
DISVA-UNIVPM	Dipartimento di Scienze della Vita e dell'Ambiente, Università Politecnica delle Marche (https://www.disva.univpm.it/).
DNPWC	Department of National Parks and Wildlife Conservation Nepal (http://www.dnpwc.gov.np).
DOC	Dissolved Organic Carbon (Carbonio Organico Disciolto).
DOI	Digital Object Identifier.

DOM	Dissolved Organic Matter (Sostanza Organica Disciolta).
DP	Deep Probing (Sondaggio Profondo).
DPSIR	Approccio Driver-Pressure-State-Impact-Response.
DSMM	DataSet Metadata Model.
DSS	Decision Supporting System (Sistema di Supporto alle Decisioni).
DSSTIA	Dipartimento Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente, Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://dta.cnr.it).
DST	Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Firenze (https://www.dst.unifi.it/).
EA	East Atlantic pattern.
EAC	Eastern Adriatic Current (Corrente Adriatica Orientale).
EAF	Ente Autonomo del Flumendosa – Regione Sardegna – fino al 2006.
EBV	Essential Biodiversity Variables (Variabili Essenziali di Biodiversità).
ECAFO	Effetti della contaminazione atmosferica sugli ecosistemi forestali.
eLTER RI	Integrated European Long-Term Ecosystem, critical zone and socio-ecological Research Infrastructure. Esfri roadmap 2018 (https://www.lter-europe.net/elter-esfri) (dal 2018).
EMBRC	European Marine Biological Resource Infrastructure Cluster.
EMBRC-ERIC	European Marine Biological Resource Centre - European Research Infrastructure Consortium (https://www.embrc.eu) (dal 2018).
EML	Ecological Metadata Language.
EMODnet	European Marine Observation and Data network (https://emodnet.eu/en).
EMPHASIS	European Infrastructure for Multi-scale Plant Phenotyping and Simulation for Food and Security in Changing Climate (https://emphasis.plant-phenotyping.eu)
EMSO	European Multidisciplinary Seafloor and water-column Observatory (http://emso.eu).
ENAS	Ente Acque della Sardegna (http://www.enas.sardegna.it).
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (https://www.enea.it/it).
EnvThes	Environmental Thesaurus.
EOF	Empirical Orthogonal Function (Funzione Ortogonale Empirica).
EOMORES	Earth Observation-based Services for Monitoring and Reporting of Ecological Status, EU H2020 (Period: 2016-2019).
EOSC	European Open Science Cloud.
EQB	Elementi di Qualità Biologica.
ERIC	European Research Infrastructure Consortium (https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/strategy/strategy-2020-2024/our-digital-future/european-research-infrastructures/eric_en).
ERSAF	Ente Regionale per lo Sviluppo Agricolo e Forestale della Regione Lombardia (https://www.ersaf.lombardia.it).

ESEM	Environmental Scanning Electron Microscope.
ESFRI	European Strategy Forum on Research Infrastructures (https://www.esfri.eu/).
ESPERIME	Esperimenti sul terreno per migliorare le conoscenze sull'inquinamento atmosferico.
ET	Evapotranspiration (evapotraspirazione).
ETH-Zurich	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich (https://ethz.ch/en.html).
EUDAT	European Collaborative Data Infrastructure (https://www.eudat.eu/).
Eurac Research	Istituto di ricerca interdisciplinare, Bolzano, Italia (www.eurac.edu).
EUROSTAIN	Training on Sustainable Management of European Mountain Regions (ERASMUS intensive course, University of Innsbruck).
EVA	European Vegetation Archive (http://euroveg.org/eva-database).
FAIR	Findable Accessible Interoperable Re-usable.
FAO	Food and Agriculture Organization delle Nazioni Unite (http://www.fao.org/home/en/).
FEM	Fondazione Edmund Mach, Provincia Autonoma di Trento (https://www.fmach.it/).
FIRB – MIUR	Fondo per gli Investimenti della Ricerca di Base – Ministero dell'Istruzione e dell'Università e della Ricerca.
FLUXNET	Rete mondiale FLUXNET (Integrating Worldwide CO ₂ , Water and Energy Flux Measurements) (https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dataset_lister.pl?p=9).
FOE	Fondo Ordinario per gli Enti e le istituzioni di ricerca- MUR (Ministero dell'Università e della Ricerca).
FP7	Settimo Programma Quadro per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (https://ec.europa.eu/growth/sectors/space/research/fp7_en).
GAW	Global Atmosphere Watch Programme della World Meteorological Organisation (WMO).
GCC	Green Chromatic Coordinate (Sviluppo della quantità di verde).
GCP	Joint Global Carbon Project (IGBP-GCP).
GCTE	Global Change and Terrestrial Ecosystem.
GEO BON	Group on Earth Observations, Biodiversity Observation Network, GEOSS Global Earth Observation System of Systems (https://geobon.org).
GET-IT	Geoinformation Enabling ToolkIT – Sistema per l'archiviazione, anche in tempo reale, di dati ambientali.
GHG	Green House Gas (Gas a effetto serra).
GIS	Geographic Information System (Sistemi informativi geografici).
GIVD	Global Index of Vegetation-Plot Database (https://www.givd.info/index.xhtml).
GLEON	Global Lake Ecological Observatory Network (https://gleon.org/).
GMES	Global Monitoring for Environment and Security (https://www.esa.int/About-Us/Ministerial-Council-2012/Global-Monitoring-for_Environment-and-Security-GMES).
GNOO	Gruppo Nazionale di Oceanografia Operativa.
GOs	Genomic Observatories (Osservatori per la Genomica).
GPS	Global Positioning System (Sistema di Posizionamento Globale).

GPP	Gross Primary Production.
GSM	Global System for Mobile Communications.
HAB	Harmful Algal Blooms (Proliferazioni Algali Pericolose).
HAS	Harmful Algal Species (Specie Algali Pericolose).
HCMR	Hellenic Centre for Marine Research, Institute of Oceanography (https://www.hcmr.gr/en/).
HFBI	Habitat Fish Bio-Indicator (Bioindicatore degli habitat dei pesci).
HFI	Habitat Fish Index (Indice di habitat dei pesci).
HFM	High Frequency Monitoring (Monitoraggio ad alta frequenza).
HTS	High Throughput Sequencing (Sequenziamento ad alto rendimento).
H2020	Horizon 2020 – Ottavo Programma Quadro Europeo per la Ricerca e lo Sviluppo Tecnologico (https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/).
IAEA	International Atomic Energy Agency (https://www.iaea.org/).
IAMC – CNR	Istituto per l'Ambiente Marino Costiero – Consiglio Nazionale delle Ricerche, fino al 2018.
IBAF – CNR	Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale – Consiglio Nazionale delle Ricerche, fino al 2018.
IBE – CNR	Istituto per la BioEconomia–Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.ibe.cnr.it/).
IBIMET – CNR	Istituto di Biometeorologia – Consiglio Nazionale delle Ricerche, fino al 2019.
ICES	International Council for the Exploration of the Sea.
ICES-WGIMT	ICES-Working Group of Integrated Morphological and Molecular Taxonomy.
ICES-WGZE	ICES-Working Group of Zooplankton Ecology.
ICOS, ICOS-ERIC	Integrated Carbon Observation System – European Research Infrastructure Consortium (https://www.icos-cp.eu/).
ICP Forest	International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests (Rete europea ICP Forests di monitoraggio delle foreste, istituita nell'ambito della Convenzione sull'inquinamento transfrontaliero a lunga distanza. (https://www.icp-forests.org , http://icp-forests.net/) (dal 1985).
ICP Waters	International Cooperative Programme for assessment and monitoring on the effect of air pollution on rivers and lakes (http://www.icp-waters.no/) (dal 1985).
ICP – IM	International Cooperative Programme on Integrated Monitoring.
IGBP	International Geosphere-Biosphere Programme (http://www.igbp.net/).
IGG – CNR	Istituto di Geoscienze e Georisorse. Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.igg.cnr.it/).
ILTER	International Long Term Ecological Research Network (wwwILTER.network) (dal 1993).
INGV	Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (https://www.ingv.it/).
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe (https://inspire.ec.europa.eu).
INSTAAR	Institute of Arctic and Alpine Research – University of Colorado, Boulder (https://instaar.colorado.edu/).

INTECOL	The International Association for Ecology (http://intecol.org/).
InTReGA srl	Innovazione Tecnologica Ricerca e Gestione Ambientale srl.
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission dell'UNESCO.
IOC-IGMETS	IOC-International Group for Marine Ecological Time Series.
IOC – TrendsPO	IOC-Working Group to Investigate Climate Change and Global Trends of Phytoplankton in the Oceans.
IPA	Idrocarburi policiclici aromatici.
IPA-HMW	Idrocarburi policiclici aromatici ad alto peso molecolare.
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (https://ipbes.net/).
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (https://www.ipcc.ch/).
IPROMO	International Programme on Research and Training on Sustainable Management of Mountain Areas (http://www.fao.org/mountain-partnership/el-nuestro-trabajo/capacitydevelopment/ipromo/es/).
IR	Infrastruttura di Ricerca.
IRBIM – CNR	Istituto per le Risorse Biologiche e le Biotecnologie Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche (http://www.irbim.cnr.it/it).
IREA – CNR	Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente – Consiglio Nazionale delle Ricerche (http://www.irea.cnr.it/).
IRET – CNR	Istituto di Ricerca degli Ecosistemi Terrestri, Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.iret.cnr.it/it/).
IRPEM – CNR	Istituto di Ricerche sulla Pesca Marittima – Consiglio Nazionale delle Ricerche (fino al 2003).
IRPI – CNR	Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica – Consiglio Nazionale delle Ricerche (http://www.irpi.cnr.it/).
IRPPS – CNR	Istituto di Ricerche sulla Popolazione e le Politiche Sociali – Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.irpps.cnr.it/)
IRSA – CNR	Istituto di Ricerca sulle Acque – Consiglio Nazionale delle Ricerche (http://www.irsa.cnr.it/index.php/ita/).
ISAC – CNR	Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima – Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.isac.cnr.it/).
ISAFoM – CNR	Istituto per i Sistemi Agricoli e Forestali del Mediterraneo – Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.isafom.cnr.it).
ISE – CNR	Istituto per lo Studio degli Ecosistemi – Consiglio Nazionale delle Ricerche, fino al 2018.
ISMAR – CNR	Istituto di Scienze Marine – Consiglio Nazionale delle Ricerche (http://www.ismar.cnr.it/).
ISP – CNR	Istituto di Scienze Polari – Consiglio Nazionale delle Ricerche (https://www.isp.cnr.it).
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (https://www.isprambiente.gov.it/it).
IUCN	International Union for Conservation of Nature (https://www.iucn.org/).
JRU	Joint Research Unit.

L.E.E	Biocénose Lagunaire Euryhaline et Eurytherme [ENG: Euryhaline and eurythermal lagoon biocenosis – ITA: Biocenosi lagunari eurialine ed euriterme].
LHC	Large Hadron Collider.
LHMS	Lake Habitat Modification Score.
LHS	Lake Habitat Survey.
LiDAR	LIght Detection and Ranging.
LifeWatch-ERIC	Infrastructure for Biodiversity and Ecosystem Research - European Research Infrastructure Consortium (https://www.lifewatch.eu).
Life-Watch Italia	Sezione italiana di LifeWatch E-science and technology infrastructure for biodiversity data and observatories (https://www.lifewatchitaly.eu/).
LOGMEC	LOng-Term Glider Missions for Environmental Characterization.
LM	Laurea Magistrale.
LNG	Liquid Natural Gas (Gas Naturale Liquido).
LOI	Loss On Ignition.
LOICZ	Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone (https://tethys.pnnl.gov/organization/land-ocean-interactions-coastal-zone-loicz-project).
LRAT	Long Range Atmospheric Transport hypothesis.
LT	Laurea Triennale.
LTER	Long Term Ecological Research.
LTER- Europe	European Network of LTER sites (https://www.lter-europe.net/lter-europe) (dal 2003).
LTER – Italia	Rete Italiana per la Ricerca Ecologica di Lungo Termine (Long-Term Ecological Research) (http://www.lteritalia.it/) (dal 2006).
LTSER	Long-term Socio-Ecological Research (ricerca socio-ecologica a lungo termine) (https://www.lter-europe.net/lter-europe/about/ep-tf/ep-ltsr).
MAB	Programma Man and Biosphere – Unesco.
MAECI	Ministero degli affari esteri e della cooperazione internazionale.
M-AMBI	Multivariate-Azzi Marine Biotic Index.
MAMBO	Boa Oceanografica OGS – Monitoraggio AMBientale Operativo (http://nettuno.ogs.trieste.it/ilter/GoTTs/).
MAP	Mean Annual Precipitation (Precipitazione cumulata media annua).
MARES	European Doctorate in MARine EcoSystem Health and Conservation (Scuola di Dottorato Internazionale).
MAT	Mean Annual Temperature (Temperatura media annua).
MATTM	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (https://www.minambiente.it/ ora Ministero della Transizione Ecologia MiTE).
MAV-CVN	Programma delle infrastrutture strategiche (Legge n. 443/2001). Progetto per la salvaguardia della Laguna e della Città di Venezia.
MCs	Microcystine.

MedaS1-GB	Meda S1-Gb Delta del Po CNR-ISMAR-Bo (http://s1.bo.ismar.cnr.it/perl/s1_home.pl).
Meda-Tel-Senigallia	Sito osservativo meteo-marino Meda TeleSenigallia (http://rmm.an.irbim.cnr.it/index.php/meda-senigallia).
MedPTI	Mediterranean Phytoplankton Trophic Index (Indice Trofico del Fitoplancton Mediterraneo).
MELa	Monitoraggio dell'Ecosistema Lagunare (Magistrato alle Acque di Venezia, Attività di monitoraggio ambientale della Laguna di Venezia, 2000-2011, Prodotto dal Concessionario, Consorzio Venezia Nuova).
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer.
MFS	Mediterranean Forecasting System (Sistema di Previsione Mediterraneo).
MiBAC	Ministero per i Beni e le Attività Culturali (https://www.beniculturali.it/) ora Ministero della Cultura MiC).
MIPAAF	Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (https://www.politicheagricole.it/).
MITE	Ministero della Transizione Ecologica (https://www.mite.gov.it/)
MIVIS	Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer.
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer.
MOSE	Modulo sperimentale elettromeccanico- Per la difesa di Venezia e della laguna dalle acque alte. (https://www.mosevenezia.eu/).
MPA	Marine Protected Area (Area Marina Protetta).
MPI	Multimetric Phytoplankton Index (Indice multimetrico del fitoplancton).
MSFD	Marine Strategy Framework Directive (http://www.msfd.eu/).
MUR	Ministero dell'Università e della Ricerca (https://www.mur.gov.it/it).
NAP	Non-Algal Particles (Particelle Non Algali).
NASA	National Aeronautics and Space Administration (www.nasa.gov).
NAST	Nepal Academy of Science and Technology (https://nast.gov.np/).
NCO-P	Nepal Climate Observatory – Pyramid.
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (https://land.copernicus.eu/global/products/ndvi).
NEC	National Emission Ceiling (DIRETTIVA (UE) 2016/2284 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 14 dicembre 2016 concernente la riduzione delle emissioni nazionali di determinati inquinanti atmosferici).
NEE	Net ecosystem exchange (scambio netto dell'ecosistema).
NEVEMONT	Servizio Meteomont Carabinieri (https://www.meteomont.carabinieri.it).
NGS	Next-generation sequencing (Metodo di sequenziamento di nuova generazione).
NIR	Near Infrared (Infrarosso Vicino).
NIS	Non-Indigenous Species (Specie Non Autoctone).
NODC-OGS	National Oceanographic Data Center – Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (https://nodc.inogs.it/).

OGC	Open Geospatial Consortium.
OGS	Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (https://www.inogs.it/).
OLG	Oristano Lagoons, Gulf system.
OP	Organic Phosphorus (Fosforo organico).
OSD	Ocean Sampling Day.
PAM	Pulse Amplitude Modulation.
PAR	Photosynthetic Active Radiation (Radiazione Fotosinteticamente Attiva).
PARSE	Potabilizzazione delle Acque e Rischi Sanitari Emergenti.
PBDE	Polibromodifenileteri.
PCB	Policlorobifenili.
PDSI	Palmer Drought Severity Index (Indice di Sicchezza di Palmer).
Piattaforma Acqua Alta	Piattaforma oceanografica multi-parametrica – CNR ISMAR – Golfo di Venezia (http://www.ismar.cnr.it/infrastrutture/piattaforma-acqua-alta).
PID	Persistent IDentifier.
PITEM	Piano Integrato Tematico (PITEM) Pa.C.E. (Patrimonio-Cultura-Economia), Regione Autonoma Val D'Aosta.
PNALM	Parco Nazionale d'Abruzzo, Lazio e Molise.
PNGP	Ente Parco Nazionale del Gran Paradiso (http://www.pngp.it/).
PNIR	Programma Nazionale Infrastrutture di Ricerca, (http://www.ponricerca.gov.it/notizie/2017/pnir).
POSWARE	<i>Posidonia</i> Warehouse (database <i>Posidonia</i>).
p,p'-DDD	2,2-bis(p-clorofenile) etano (DDD), un prodotto di degradazione del DDT.
p'-DDE	para- dicloro difenil dicloro etilene, un prodotto di degradazione del DDT.
PPNW	Physical Processes in Natural Waters (Processi fisici in acque naturali).
PRI	Photochemical Reflectance Index (indice fotochimico di riflettanza).
PRISMA	Hyperspectral Precursor of the Application Mission.
Proambiente S.c.r.l.	Consorzio misto pubblico-privato, che comprende il CNR, l'Università di Ferrara e 11 piccole/medie imprese con sede nella Regione Emilia-Romagna. La missione del consorzio è sviluppare la Ricerca Industriale e favorire il Trasferimento Tecnologico nell'ambito delle tematiche ambientali (https://consorzioproambiente.it).
PSR	Piano di Sviluppo Rurale.
PTUA	Programma di Tutela ed Uso delle Acque.
RAC/SPA	Regional Activity Centre for Specially Protected Areas (https://www.rac-spa.org/).
Reco	Ecosystem Respiration (Respirazione dell'ecosistema).
Rete SAMANET	Monitoraggio Samanet della qualità delle acque lagunari (2008).
RFID	Radio-Frequency Identification (Identificazione tramite Radio Frequenza).
RI	Research infrastructure (Infrastruttura di Ricerca).

RISE	Risorse Idriche Sostitutive e di Emergenza.
RP	Reactive Phosphorus Fosforo reattivo.
RMM	Rete Meteo Marina del IRBIM CNR di Ancona (http://rmm.an.irbim.cnr.it/).
ROMS	Regional Ocean Modeling System.
RTRM	Sistema Remoto di Monitoraggio in Tempo Reale.
SAF	System Approach Framework.
SAILING	Sensor-based Assessment on In Lake processes and water quality – Scientific INvestigation and Growing environmental awareness (http://www.vb.irsia.cnr.it/projects/sailing).
SALMON	Satellite Remote Sensing for Lake Monitoring.
SAR	Synthetic Aperture Radar (radar ad apertura sintetica).
SARS-COV2	Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus 2.
SBI	Società Botanica Italiana (https://www.societabotanicaitaliana.it/).
SCI	Site of Community Importance (https://www.eea.europa.eu/help/glossary/eea-glossary/site-of-community-importance) (Sito di Importanza Comunitaria).
SCOR	Scientific Committee on Ocean Research (Commissione Scientifica sulla Ricerca Oceanografica).
SeaDataNet	Pan-European infrastructure for ocean & marine data management (https://www.seadatanet.org/).
SEIS	Sistema comune di Informazioni Ambientali (https://www.eea.europa.eu/about-us/what/seis-initiatives).
SELC Soc. Coop	Società di indagini, studi, progettazione e servizi operativi in campo ambientale (https://www.selc.it/).
SensorML	Sensor Model Language.
SGPR	Segretariato Generale della Presidenza della Repubblica (https://www.quirinale.it/page/amministrazione).
SH	Sondaggio Superficiale.
SIA	Stable Isotope Analysis (Analisi degli Isotopi Stabili).
SIBM	Società Italiana di Biologia Marina (https://www.sibm.it/).
SIFTeC	Sistema Informativo Forestale della Tenuta di Castelporziano (Commissione Tecnico Scientifica Tenuta di Castelporziano – CREA Foreste e Legno, sede di Trento (2013-2016).
SIN	Sito di Interesse Nazionale.
SINK	assorbimento di carbonio, usualmente su scala annuale.
SISEF	Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale (https://sisef.org/).
S.It.E	Società Italiana di Ecologia (https://www.ecologia.it).
Siti Natura 2000	Siti identificati secondo la direttiva Habitat della Commissione Europea (https://www.minambiente.it/pagina/rete-natura-2000).
SLA	Specific Leaf Area (Superficie Specifica Fogliare).

SMAP	Soil Moisture Active Passive satellite: missione NASA che raccoglie informazioni sull'umidità del terreno utili a migliorare le previsioni meteorologiche e a monitorare il pericolo di alluvioni (https://smap.jpl.nasa.gov).
SNP	Sagarmatha National Park, Nepal (https://snp.gov.np).
SOS	Sensor Observation Service.
SPAMI	Specially Protected Area of Mediterranean Interest.
SPM	Suspended Particulate Matter (Sostanza Organica Sospesa).
SQGs	Sediment Quality Guidelines (line guida internazionali per i sedimenti).
SST	Sea Surface Temperature (temperatura superficiale del mare).
STO	Science and Technology Organization (NATO) (https://www.sto.nato.int/Pages/default.aspx).
STOCK	Quantità di carbonio fissata durevolmente.
SUPSI	Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (https://www.supsi.ch/home.html).
SZN	Stazione Zoologica Anton Dohrn di Napoli (http://www.szn.it/).
TAR	Codice Erbario Erbario, Talassografico “A. Cerruti”, I.A.M.C.-C.N.R., Taranto (dal 2018 Irs-CNR).
TEP	Particelle esopolimeriche trasparenti.
TERRADATA	TerraData environmetrics - Spin-off dell’Università degli Studi di Siena.
TerraXcube	Infrastruttura di ricerca gestita da Eurac Research a Bolzano (Italia) che simula le condizioni climatiche più estreme del pianeta Terra per studiare la loro influenza sull'uomo, sui processi ecologici e sulla tecnologia (https://terraxcube.eurac.edu).
TIC	Total Inorganic Carbon (Carbonio Inorganico Totale).
TN	Total Nitrogen (Azoto Totale).
TOC	Total Organic Carbon (Carbonio Organico Totale).
TP	Total Phosphorous (Fosforo Totale).
TSM	Total Suspended Matter (Materia Sospesa Totale).
TU Wien	Technological University of Vienna, Austria (www.tuwien.at).
UAV	Unmanned aerial vehicle (aeromobile a pilotaggio remoto).
UFP	Utermöhl Fraction Phytoplankton.
UFZ di Helmholtz	Departments of the Helmholtz Center for Environmental Research (https://www.ufz.de).
UIBK	Università di Innsbruck, Innsbruck, Austria (www.uibk.ac.at).
UNECE	United Nations Economic Commission for Europe.
UN-ECE ICP WATERS	United Nations Economic Commission for Europe – International Cooperative Programme WATERS for assessment and monitoring of the effects of air pollution on rivers and lakes (www.icp-waters.no).
UNEP	United Nations Environment Programme (https://www.unep.org/).
UNEP ABC	UNEP, Global ABC & Programme for Energy Efficiency in Buildings (PEEB).

UNFCCC	United Nation Framework Convention Climate Change (https://unfccc.int/).
UniBA	Università degli Studi di Bari “Aldo Moro” (https://www.uniba.it/).
Uni-Bologna	Università degli Studi di Bologna (https://www.unibo.it).
Uni-Bolzano	Libera Università di Bolzano (www.unibz.it).
Uni-Ferrara	Università degli Studi di Ferrara (http://www.unife.it).
Uni-Parma	Università degli Studi di Parma (https://www.unipr.it/).
Uni-Roma	Sapienza Università di Roma (https://www.uniroma1.it/it).
Uni-Salento	Università degli Studi del Salento (https://www.unisalento.it/).
Uni-Trieste	Università degli Studi di Trieste (https://www.units.it/).
UNICAM-SBMV	Università degli Studi di Camerino – Scuola di Bioscienze e Medicina Veterinaria (http://www.unicam.it).
UNIFI-DAGRI	Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (https://www.dagri.unifi.it/).
UNIFI-DST	Università degli Studi di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra (https://www.dst.unifi.it/ls-3-dipartimento.html).
Uni-Tuscia	Università degli Studi della Tuscia (http://www.unitus.it/).
UNIVE	Università degli Studi di Venezia Ca’ Foscari (https://www.unive.it/).
UQAR	Université du Québec à Rimouski (https://www.uqar.ca/).
VHF	Very-high frequency.
VIOLA	Database of High Mountain Vegetation of Central Apennines, (ID/EU-IT-019">http://www.givd.info>ID/EU-IT-019).
V.S.M.	Volontari Soccorso in Mare (https://www.vsmrimini.it/).
W3C	World Wide Web Consortium (https://www.w3.org).
WACC	Western Adriatic Coastal Current (Corrente costiera adriatica occidentale).
WCP	World Climate Programme (https://public.wmo.int/en/programmes/world-climate-programme).
WFD	Water Framework Directive (The EU Water Framework Directive – integrated river basin management for Europe – Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000).
WMO	World Meteorological Organization (https://public.wmo.int/en).
WUE	Water use efficiency (Efficienza dell’uso dell’acqua).
WISER	Water bodies in Europe: Integrative Systems to assess Ecological status and Recovery (http://www.wiser.eu/) (2009-2012).
ZAA	Zero Annual Amplitude.
ZPS	Zone di Protezione Speciale (https://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia).
ZSC	Zona Speciale di Conservazione (https://www.minambiente.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia).

PROGETTI Rete Lter Italia 2006-2020

ACE-SAP	Ecosistemi alpini e cambiamenti ambientale. Sensibilità e potenziale adattativo della biodiversità. Progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Trento nell'Ambito del “Bando Grandi Progetto” (2006).
ACQWA	Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water (Progetto EU IP FP7) (2008-2014).
ADRIAPAN	ADRIatic Ionian maritime spatial PLANning. It is a project funded by the European Commission – DG Maritime Affairs and Fisheries (DG MARE) under the theme “Maritime Spatial Planning (MSP) in the Mediterranean Sea and/or the Black Sea”, (http://adriplan.eu/) (2013-2015).
ADRICOSM	ADRIatic sea integrated COStal areaS and river basin Management system pilot project Montenegro e Croazia- Finanziamento INGV-Ministero dell'Ambiente (2004-2001).
ADRICOSM STAR	Adricosm integrated river basin and coastal management system: Montenegro coaSTal ARea and Bojana river catchment (https://www.cmcc.it/it/projects/adricosm-star) (2005-2009).
AGREE	coAstal laGoon long teRm managEmEnt LIFE13 NAT/IT/000115 (https://lifeagree.eu/) (2014-2019).
ALPGRAIN	Programma europeo di cooperazione transfrontaliera tra Francia e Italia (Progetto Interreg Alcotra) (https://www.interreg-alcotra.eu/it) (2014-2020).
ALTER-Net	A Long-Term Biodiversity, Europe's ecosystem and awareness Research Network, FP6, Network of Excellence (http://alterneteurope.eu/) (2004-2009). Successivamente ha proseguito le attività sino a diventare piattaforma intergovernativa sulla biodiversità e i servizi ecosistemici (http://alterneteurope.eu/).
AlpWater	Effetti dei cambiamenti globali sui Bacini Imbriferi Alpini (progetto a lungo termine finanziato da Eurac Research) (dal 2012).
ANOCRIA	Anossie attuali nel Nord adriaticO, registrazione nei sedimenti in epoCA Storica, InfluenzA sulle risorse di pesca e bentoniche. Modellizzazione e previsione”. FIRB-MIUR (http://www.ismar.cnr.it/file/organizzazione/bologna/consuntivi/finale%202008.pdf) (2004-2008).
ARION	Sistemi per la Conservazione dei delfini costieri (tursiopi) in Mediterraneo (Progetto LIFE+) (2010-2015).
BALMAS	Progetto IPA Adriatico “Ipa Adriatic Cbc Programme–Ballast Water Management For Adriatic Sea Protection Balmas” (2013-2016).
BIOAQUAE	Biodiversity Improvement of Alpine Aquatic Ecosystems) (LIFE+11 BIO/IT/000020) (https://www.bioaqua.eu/) (2014-2017).
BioMarKs-EU	EU-BIODIVERSA-BioMarKs - Biodiversity of Marine euKaryotes (2008-2011).
Biodiv'ALP	Un piano integrato a favore della Biodiversità sulle Alpi fra Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria e Francia. Proteggere e valorizzare la biodiversità e gli ecosistemi alpini attraverso una partnership e una rete di connettività ecologiche transfrontaliere (Progetto INTERREG V-A Italia-Francia ALCOTRA) (2014-2020).
BIOPAS	Progetto per interventi per incrementare la biodiversità attraverso la gestione sostenibile del pascolo (2013).

BLASCO	Blending LABoratory and Satellite techniques for detecting CyanObacteria. Progetto Finanziato da Fondazione Cariplo (2015-2017).
Blue Growth Community	Food security, sustainable agriculture and forestry, marine and maritime and inland water research and the bioeconomy societal challenge (https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/blue-growth).
Blue Growth MED	Blue Growth Interreg Med, https://blue-growth.interreg-med.eu/) (2019-2022).
CALLIOPE	Coastal dune hAbitats, subLittoraL sandbanks, marIne reefs: cOnservation, Protection, and thrEats mitigation. Bilaterale Italia-Cipro “Calliope”. LIFE17 NAT/IT/000565. Coordinatore Regione Abruzzo (https://test.lifecalliope.eu/) (2018-2023).
CANIF	Carbon and Nitrogen cycles in European Forests. EEC contract No ENV4-CT95-0053. (1996-1999).
CarboItaly	Cambiamenti climatici e sistemi produttivi agricoli e forestali – Progetto FISR-MIUR – Coord. Università degli Studi della Tuscia, (2004-2009).
CarboEurope-IP	Assessment of the European Terrestrial Carbon Balance (2004-2009).
CarboEuroflux	An investigation on Carbon and Energy exchanges of terrestrial ecosystems in Europe (2000-2003).
CCI ECV LAKES	Climate Change Initiative (CCI) programme, Essential Climate Variable project. ESA. (https://climate.esa.int/en/projects/lakes/) (2019-2022).
CEOP	Coordinated Energy and Water Cycle Observation Project N.S.F. (https://www.eol.ucar.edu/field_projects/ceop) (2002-2012).
CERCA	Risposte dei laghi trentini al cambiamento globale: effetti della temperatura e dei raggi UV sul plancton, trend ambientali e esigenze divulgative. Finanziato Provincia Autonoma di Trento (2007-2010).
CIPE	Valutazione dei carichi massimi ammissibili versati nei sistemi scolanti delle Province di Ferrara e Ravenna nelle acque costiere. Attività di studio e ricerca a completamento del progetto di elaborazione del Piano di Tutela delle Acque. Finanziamento ARPAE.R e ARPA-DAPHNE, Progetto Ismar-BO (2005-2003).
CLAM-PHYM	Coasts and Lake Assessment and Monitoring by PRISMA Hyperspectral Mission. Finanziato Agenzia Spaziale Italiana (2011-2015).
E-CHANGES	Effect of Climate Change on Apennine Grassland Ecosystems (2011).
Eco-AlpsWater	Innovative Ecological Assessment and Water Management Strategy for the Protection of Ecosystem Services in Alpine Lakes and Rivers. Interreg Alpine Space programme, ASP569, Interreg, Coordinatore Fondazione Edmund Mach di San Michele all'Adige (2018-2021).
ECOPLAN	Ecologia e biogeografia di due taxa planctonici (dinoflagellati e rotiferi) nei piccoli laghi del Trentino (Provincia Autonoma di Trento) (2006-2008).
ECOPOTENTIAL	Improving future ecosystem benefits through earth observations, Progetto H2020 (http://www.ecopotential.project.eu/) (2015-2019).
ECOSS	ECOlogical observing System in the Adriatic Sea: oceanographic observations for biodiversity – Progetto Interreg Italia-Croazia (https://www.italy-croatia.eu/web/ecoss) (2018-2021).
eLTER PLUS	Integrated European long-term ecosystem, critical zone and social.ecological ystems research infrastructure PLUS – Advanced Community Project for the eLTER Research Infrastructure

	(eLTER PLUS) INFRAIA-01-2018-2019 programme of HORIZON 2020 (https://www.lter-europe.net/projects/PLUS) (2017-2020).
eLTER PPP	Integrated European long-term ecosystem, critical zone and social-ecological systems research infrastructure, Preparatory Phase Project. (https://www.lter-europe.net/projects/PPP) (2020-2025).
EMERGE	European Mountain lake Ecosystems: Regionalisation, diaGnostics & socio-economic Evaluation (EVK1-CT-1999-00032) (2000-2003).
EMMA-Life	Environmental Management through Monitoring and Modelling of Anoxia, Progetto EU Life+ Environment (http://www.ismar.cnr.it/progetti/progetti-internazionali/copy_of_progetti-in-corso-life/progetto-emma) (2004-2007).
EnvEurope LIFE	Environmental quality and pressures assessment across Europe: the LTER network as an integrated and shared system for ecosystem monitoring Life Environment Project LIFE08 ENV/IT/000399. (http://www.enveurope.eu) (2010-2013).
e-PHENO	Programma di condivisione a livello transfrontaliero dei risultati di PhenoALP. Interreg Alcotra n° 44 (http://www.pngp.it/natura-e-ricerca/conservazione-e-ricerca/interreg-alcotra-e-pheno) (2009-2012).
ESC360	Volunteers for monitoring forest biodiversity in the Italian NATURA 2000 Network (Progetto LIFE 17/ESC/IT/001) (https://www.life360esc.eu/it/) (2019-2021).
EULAKES	European Lakes Under Environmental Stressors. Progetto di ricerca nell'ambito "Interreg IV" Progetto EU Central Europe (2010-2013).
EUROFLUX	Misurazione di flusso a lungo termine di anidride carbonica, acqua ed energia in foreste europee. Progetto Europeo ricerca Ambiente e clima (1996-1999).
EUROLIMPACS	Evaluating the Impacts of Global Change on European Freshwater Ecosystems. EU contract No. GOCE-CT-2003-505540 (https://www.idrolab.irsca.cnr.it/eurolimpacs) (2003-2009).
ExpeER	Progetto Europeo Experimentation in Ecosystem Research.
FACTS	Forest biodiversity assessment across Europe: towards an integrated system for biodiversity monitoring (2010-2012).
FORCAST	Progetto Europeo FORCAST - Forest Carbon-Nitrogen Trajectories (2000-2003).
FutMon	Further Development and Implementation of an EU-level Forest Monitoring system (FutMon). Progetto n. LIFE07 ENV/D/000218 (https://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/futmon.jsp) (http://www.futmon.org/) (2007-2011).
GHG-Europe	Progetto Integrato Europeo- GreenHouse Gas management in European land use systems (2010-2014).
GIREPAM	Gestione Integrata delle Reti Ecologiche attraverso i Parchi e le Aree Marine (http://interreg-maritime.eu/web/girepam) (2017-2020).
GLORIA	Global Observation Research Initiative in Alpine environments (Progetto coordinato dalla University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria. (https://www.gloria.ac.at/home) (2005-2021).

GNOMO_soil	Assessing the impacts of disturbances on mountain soil diversity and function (progetto coordinato dal Laboratory of Ecosystems & Societies in Mountain Environments, Grenoble, France). (http://gnomo.ucnrs.org) (2015-2018).
GoProFor	Good Practices implementation network for Forest biodiversity conservation (Progetto LIFE17/GIE/IT/000561) (https://www.lifegoprofor.eu/it/) (2019-2022).
GREAT	Grandi erbivori negli ecosistemi alpini in trasformazione (Progetto Interreg Italia/Svizzera) (http://www.greatinterreg.eu/) (2007-2013).
HABITALP	Varietà degli habitat alpini, obiettivo di monitorare in essi, a mezzo delle fotografie aeree infrarosso colore (IRC), in modo standardizzato, le trasformazioni ambientali di lungo periodo. (Progetto Interreg III B Spazio Alpino). http://www.montavic.it/index.php/L-Ente/Progetti-di-partenariato/PIC-Interreg-III-B-Spazio-Alpino.-Progetto-Habitalp (2002-2006).
HERBDIVNET	Collaborative network. “A Multi-Scale Meta-Experiment to Test the Species Richness-Productivity Relationship. (2011); “The influence of nutrient availability on plant production, diversity and soil microbial communities across grasslands worldwide”. (2017)
HERICOAST	Management of heritage in coastal landscapes. PGI00031 (Progetto Interreg Europe) (https://www.interregeurope.eu/hericoast/) (2018-2021).
HiResAlp	Un approccio innovativo per l'integrazione di dati multi-sorgente per la stima ad alta risoluzione del contenuto in acqua del suolo e dell'evapotraspirazione in aree alpine. Progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige (2013 – 2015).
IMPRECO	Common strategies and best practices to IMProve the transnational PRotection of ECOsystem integrity and services – Interreg ADRION (2014-2020).
INFORM	Improved monitoring and forecasting of ecological status of European INland waters by combining Future earth ObseRvation data and Models (EU FP-7) (2014-2018).
INFRAIA	Integrating and opening research infrastructures of European interest (H2020-INFRAIA), schema europeo per bandi di ricerca per lo sviluppo e l'apertura verso l'esterno delle infrastrutture di ricerca (2018-2020).
INHABIT	Local hydro-morphology, habitat and RBMPs (River Basin Management Plan): new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes (Progetto Life, http://www.life-inhabit.it/it/) LHQA Lake Habitat Quality Assessment (2010-2013).
ITTIORTA	Progetto finanziato dal Demanio Lacustre del Lago d'Orta (2015-2020).
INTER-ASIA	Progetti Inter-Asia cooperazione con l'area geografica asiatica emergente (Kazakistan, Cina, Pakistan, Iran) e Cross-border Studies in the Humanities – Finanziamento Regione Puglia (2017-2020).
Jerico, H2020 FP7	JERICO (Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatory – Novel European eXpertise for coastal observATories (2011-2015).
JERICO-Next	Joint European Research Infrastructure network for Coastal Observatory – Novel European eXpertise for coastal observATories (EU Project – H2020) (2015-2019).
JERICO-S3	JERICO S3 is an integrated pan European multidisciplinary a multi-platform research infrastructure dedicated to a holistic appraisal of coastal marine system changes (https://www.jerico-ri.eu/) (2020-2023).
LANDSEA	Sustainability of the Landsea System for Ecotourism Strategies (Progetto Interreg Europe) (https://www.interregeurope.eu/land-sea/) (2019-2022).

LEMED-IBEX	Monitoraggio e gestione dello Stambecco alpino dal lago Ginevra (Léman) al Mediterraneo. Finanziato Interreg ALCOTRA V-A Francia-Italia (2017-2020).
Life 4 Mar Piccolo	Progetto “Life4MarPiccolo – A new life for Mar Piccolo”, LIFE14 ENV/IT/000461- (http://www.lifemarpiccolo.it/) (2016-2020).
Life Mottles	MONitoring ozone injury for seTTing new critical LEvelS. (https://mottles-project.wixsite.com/life). (2016-2020).
LIFE PASTORALP	Pastures vulnerability and adaptation <i>strategies improved management strategies for climate change adaptation.</i> Life 16 CCA/IT/000060 (https://www.facebook.com/life.pastoralp/) (2017-2022).
LifePlan	ERC Synergy A Planetary inventory of Life-a New Synthesis Built on Big Data Combined with Novel Statistical Methods (ERR-SyG) – ID 856506H2020-EU.1.1. (2019-2026).
LIFE Smart4Action	Sustainable Monitoring and Reporting to Inform Forest and Environmental Awareness and Protection. Progetto Life. (2014-2018).
LifeWatch+	LifeWatch, infrastruttura di eScience per la ricerca su biodiversità ed ecosistemi. Progetto di rafforzamento infrastrutturale (https://www.lifewatchitaly.eu/related-projects/lifewatchplus/) (2019-2022).
MAESTRALE	Progetto LIFE10 NAT/IT/000262-MAESTRALE. Realizzazione di azioni di conservazione diretta di specie e habitat di interesse comunitario nei 3 Siti d'Importanza Comunitaria della costa molisana: IT7228221 Foce Trigno – Marina di Petacciato, IT7222216 Foce Biferno – Litorale di Campomarino, IT7222217 Foce Saccione – Bonifica Ramitelli. (2015-2018).
MICARI	Strumenti e procedure per il MIgloramento della CApacità Ricettiva di corpi Idrici superficiali, Progetto MIUR, 2002. D.M. 408 Ric. (20/03/2002).
MIPP	Monitoring of insects with public participation (Progetto LIFE 11 NAT/IT/000252) (http://lifemipp.eu/mipp/new/index.jsp) (2012-2017).
MONALISA	Monitoraggio di parametri ambientali cruciali nell’ambiente Alpino tramite coinvolgimento di aspetti scientifici, tecnologici ed applicativi (progetto finanziato dalla Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige, www.monalisa-project.eu) (2013-2016).
MOTTLES	MONitoring ozone injury for seTTing new critical LevelS (LIFE15 ENV/IT/000183) (2015-2018).
MPA-ADAPT	Guiding Mediterranean MPAs through the climate change era: building RESILIENCE and ADAPTATION (Project Interreg MED Programme) (https://mpa-adapt.interreg-med.eu/) (2019-2020).
NEPTUNE	Gestione sostenibile capitale naturale e fruizione (http://www.portofinoamp.it/progetti/interreg-marittimo-neptune) (2014-2022).
NETLAKE	Networking Lake Observatories in Europe – COST ACTION ES 1201 (https://www.dkit.ie/netlake) (2012-2016).
PHENO-ALP	Metodologia integrata e approccio comune nei territori Coinvolti (Progetto Interreg Acotral) (http://www.pngp.it/natura-e-ricerca/conservazione-e-ricerca/interreg-alcotra-e-pheno) (2009-2012).
PIM	Piattaforma Integrata di Monitoraggio (Progetto POR-FESR) (http://www.pim-liguria.it/#/home) (2014-2020).

PITAGORA	Piattaforma interoperabile tecnologica per l'acquisizione, la gestione e l'organizzazione dei dati ambientali (Progetto finanziato nell'ambito del POR-FESR, della Regione Piemonte) (2007-2013).
PRISMA I-II	Programma di RIcerca e Sperimentazione per la salvaguardia del Mare Adriatico Programma Prisma I-II – Ricerca e Sperimentazione per il Mare Adriatico. (Murst 5%-CNR) (1999-1995).
POR-FESR Informare	Progetto Network osservativo del sistema INFORMAtivo integrato per il litorale Emiliano-Romagnolo; – Programma Operativo Regionale – Fondo Europeo per lo Sviluppo Regionale, POR-FESR (https://www.informare-er.it/wp/) (2014-2020).
PRIN AZFFAK	Cambiamenti climatici e foreste. Progetto PRIN 2007. (2009-2012).
PRIN E3F3LK	Effetti del cambiamento globale su produttività e forcing radiativo delle foreste italiane Progetto PRIN 2021 – (2013-2016).
PROTECT	An Integrated European Model to Protect the MEDiterranean Forests from Fire (MEDIII) (2009).
Programma TERRA	Programma Terra - Progetto POSIDONIA – Studio per il piano del comparto terra/mare del Mar Piccolo. Comune di Taranto (2001).
RAISA	Progetto Strategico “Ricerche Avanzate per l’Innovazione del Sistema Agricolo” – Sottoprogetto “Ecologia e selvicoltura delle faggete” (1991, 1996).
RECOVER:2010	Predicting recovery in acidified freshwater by the year 2010, and beyond (EVK1-CT-1999-00018) (2000-2003).
Refresh	<i>Coastal lagoon habitat (1150*) and species recovery by restoring the salt gradient increasing fresh water input.</i> Progetti LIFE Lagoon, LIFE16 NAT/IT/000663 (http://www.lifelagoonrefresh.eu/) (2017-2022).
RE-LIFE	Reintroduzione di <i>Patella ferruginea</i> in Liguria. Progetto LIFE+ (https://www.re-lifeproject.eu/progetto/) (2016-2020).
REQUISITE	Progetto Interreg ARPA-Regione Emilia Romagna Realizzazione di un sistema integrato di sorveglianza sulla qualità delle acque marine dell’Adriatico in particolare sui fenomeni eutrofici e mucillaginosi (http://www.requisite.it) (2005-2007).
RIMA	Sviluppo di tecnologie e software per una Rete Integrata previsionale Mediterranea per la gestione dell’Ambiente marino e costiero (https://www.numip.it/rima/) (2012-2016).
RIS-ORTA	Risanamento Sedimento Lago d’Orta. Progetto di “Blue Biotechnology” per la decontaminazione naturale dei fondali inquinati da metalli pesanti (2018).
RITMARE	La Ricerca ITaliana sul MARE (Progetto bandiera MIUR). Programma Nazionale della Ricerca finanziato dal Ministero dell’Università e della Ricerca (già MIUR) (http://www.ritmare.it/) (2012-2017).
RITMARE-IFON	La Ricerca ITaliana per il MARE - Progetto Bandiera del Programma Nazionale della Ricerca, MIUR - Italian Fixed-Point Observatory Network- SP5-WP3- Rete Italiana di siti fissi l’osservazione del mare. (http://www.ritmare.it/risultati/sp5-sistemi-osservativi) (2012-2017).
ROC POP	Restoration of <i>Cystoseira</i> populations (Progetto LIFE+) (http://www.rocpoplife.eu/) (2017-2021).
SALTO	Studio sul mancato arrossamento del Lago di Tovel. Provincia Autonoma di Trento (2001-2004).

SCHeMA	Integrated in Situ Chemical Mapping Probes (Progetto FP7-OCEAN-2013) (www.schema-ocean.eu) (2013-2018).
SeResto	Habitat 1150 (Coastal Lagoon) recovery by Seagrass RESTOration. A new strategic approach to meet HD &WFD objectives. LIFE12 NAT/IT/000331 (http://www.unive.it) (2014-2018).
SINAPSI	Seasonal, INterannual and decadal variabilty of the atmosPherE, oceanS and related marInE ecosystems. Progetto 5% Murst-CNR (1999-2003).
SMART4ACTION	Sustainable Monitoring and Reporting to Inform Forest and Environmental Awareness and Protection (LIFE + ENV13EN000813) (2014-2018).
SOLVe	Progetto del Sistema di Osservazione per la gestione adattativa della Laguna di Venezia. Sottoprogetto di RITMARE (Progetto Bandiera di Ricerca nazionale sul mare, finanziato dal Ministero dell'Università e della Ricerca (già MIUR) (www.ritmare.it) (2012-2016).
SPACE-O	Space Assisted Water Quality Forecasting Platform for Optimized Decision Making in Water Supply Services. EU H2020 (2016-2018).
SPAM	SPecie Alloctone invasive nel bacino del Lago Maggiore (Programma Esecutivo delle ricerche CIPAIIS - Sezione Ecomorfologia delle rive delle acque lacustri) (2016-2018).
SPICOSA-FP6	Progetto “Science and Policy Integration for COastal Systems Assessment”, Strategie alternative di supporto alla Gestione Integrata della Zona Costiera. VI Programma Quadro (http://www.spicosa.eu/) (2007-2001).
STRATUS	Strategie Ambientali per un Turismo Sostenibile. Progetto Interreg (http://interreg-maritime.eu/web/stratus) (2014-2020).
SUNLIFE Umbria	Strategy for the Natura 2000 Network of the Umbria Region (LIFE13 NAT/IT/000371), coordinato dalla Regione Umbria, http://www.life-sun.eu/ (2013-2018).
TRAIL	TRAveling through ecosystems and bIodiversity: Long-term ecological research for citizens – Iniziativa “bottom-up” proposta da LTER Italia finanziata da ILTER.
UNICAM (FAR)	Climate changes, grasslands and livestock management: a multidisciplinary study to improve the sustainable development of Apennine pastoral systems. Fondi Ricerca Università di Camerino (2014-2018).
VECTOR	Vulnerabilità delle Coste e degli ecosistemi marini italiani ai cambiamenti climatici e loro ruolo nei cicli del carbonio mediterraneo - Progetto FISR-MIUR (2004-2007).
WATERS	Innovative tools enabling drinking WATER PROTECTION in rural and urban environments – Diffusione di sistemi innovativi per la protezione delle acque in ambienti rurali e urbani. LiFE (2014-2020).

Ringraziamenti

Le attività di ricerca dei siti della Rete LTER-Italia sono state rese possibili grazie all'impegno di ricercatrici, ricercatori, personale tecnico e studenti, oltre che al supporto del personale amministrativo e di numerosi collaboratori. Le attività di raccolta dati relativi a variabili ecologiche nei siti hanno generato e continuano a generare un patrimonio di informazioni di grande e strategico interesse, che nel tempo è stato organizzato e reso disponibile al mondo della ricerca, degli utilizzatori e dei portatori d'interesse.

Queste attività sono state sostenute da un uso consapevole e correttamente indirizzato delle risorse finanziarie di progetti di ricerca, delle quote di finanziamento ordinario e del personale che i singoli Istituti, Enti ed Università hanno destinato ai siti della Rete.

Le strutture, le iniziative ed i progetti nazionali e internazionali, che hanno contribuito alle attività di ricerca della Rete, sono riportati in Appendice 3 e 4.

Nel 2006, l'adesione della Rete LTER Italiana alle Reti ILTER International e LTER-Europe è stata supportata dal Servizio Conecofor dell'allora Corpo Forestale dello Stato (ora Arma Carabinieri – CUFAA) e dal Dipartimento Terra e Ambiente del Consiglio Nazionale delle Ricerche (DSSTTA-CNR). Nel 2015, il percorso, iniziato nell'ambito dell'ESFRI verso la creazione dell'infrastruttura europea eLTER-RI, è stato reso possibile dai progetti europei eLTER-H2020 e Advance-eLTER e continua con i progetti eLTER-PPP ed eLTER PLUS, e grazie al supporto del MIUR (ora MUR).

Si ringraziano inoltre, per il sostegno alla Rete, molte Società Scientifiche Nazionali, fra cui: SItE, AIOL, SBI, SIBM, SISEF che hanno sostenuto la nascita della Rete e ospitato, nei loro congressi, presentazioni e sessioni dedicate a tematiche LTER.

Un ringraziamento va anche all'Associazione Donne e Scienza che ha valorizzato l'attività delle ricercatrici presenti nella Rete.

Si ringraziano ricercatrici e ricercatori che hanno effettuato una intensa attività di divulgazione nelle scuole di ogni ordine e grado, nelle Università, nella stampa e nei social e organizzato iniziative di coinvolgimento dei cittadini, tra cui si citano in modo speciale i Cammini LTER (2015-2019).

Si ringrazia il Dott. Michael Marani (CNR-Ismar Sede Secondaria di Bologna) per la revisione della versione in inglese dei capitoli: "Introduzione" e "Prospettive della Rete LTER-Italia".

Infine, si ringraziano in particolare Comitati, Segretariati, Gruppi di lavoro, Coordinatori e Vice-Coordinatori (Appendice 2) per il tempo dedicato alla costruzione, organizzazione e gestione della Rete LTER-Italia.

LTER Group 2018





Il volume offre un quadro aggiornato delle attività condotte dalla Rete LTER-Italia durante i primi 15 anni dalla sua costituzione e dei risultati acquisiti mediante ricerche ecologiche a lungo termine condotte in 79 siti distribuiti sul territorio nazionale a coprire un'ampia diversità di ambienti naturali, sia terrestri che acquatici.

