

# RAPPORTO SUGLI INDICATORI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI EDIZIONE 2021

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 18.05.2021.  
Doc. n.112/21





# RAPPORTO SUGLI INDICATORI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI EDIZIONE 2021

Delibera del Consiglio SNPA. Seduta del 18.05.2021.  
Doc. n.112/21

---

REPORT SNPA | 21 2021

Il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) è operativo dal 14 gennaio 2017, data di entrata in vigore della Legge 28 giugno 2016, n.132 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale". Esso costituisce un vero e proprio Sistema a rete che fonde in una nuova identità quelle che erano le singole componenti del preesistente Sistema delle Agenzie Ambientali, che coinvolgeva le 21 Agenzie Regionali (ARPA) e Provinciali (APPA), oltre a ISPRA.

La legge attribuisce al nuovo soggetto compiti fondamentali quali attività ispettive nell'ambito delle funzioni di controllo ambientale, monitoraggio dello stato dell'ambiente, controllo delle fonti e dei fattori di inquinamento, attività di ricerca finalizzata a sostegno delle proprie funzioni, supporto tecnico-scientifico alle attività degli enti statali, regionali e locali che hanno compiti di amministrazione attiva in campo ambientale, raccolta, organizzazione e diffusione dei dati ambientali che, unitamente alle informazioni statistiche derivanti dalle predette attività, costituiranno riferimento tecnico ufficiale da utilizzare ai fini delle attività di competenza della pubblica amministrazione.

Attraverso il Consiglio del SNPA, il Sistema esprime il proprio parere vincolante sui provvedimenti del Governo di natura tecnica in materia ambientale e segnala al MATTM e alla Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e Bolzano l'opportunità di interventi, anche legislativi, ai fini del perseguitamento degli obiettivi istituzionali. Tale attività si esplica anche attraverso la produzione di documenti, prevalentemente Linee Guida o Report, pubblicati sul sito del Sistema SNPA e le persone che agiscono per suo conto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in queste pubblicazioni.

Citare questo documento come segue:

SNPA, 2021. Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021. Report SNPA 21/2021.

ISBN 978-88-448-1058-0

© Report SNPA, 21/2021

[www.snpambiente.it](http://www.snpambiente.it)

Riproduzione autorizzata citando la fonte.

Coordinamento della pubblicazione online:

Daria Mazzella – ISPRA

Copertina: Ufficio Grafica ISPRA

giugno 2021

#### Abstract

Il Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici – Edizione 2021 è stato realizzato dal Sottogruppo Operativo SNPA V/03-02 denominato *Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici* afferente al Gruppo di Lavoro sugli *Indicatori ambientali* del Tavolo Istruttorio del Consiglio Sinanet, *reportistica, comunicazione, formazione, educazione ambientale* con l'obiettivo di individuare, mettere a sistema e popolare per la prima volta gli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici disponibili a livello nazionale e regionale nell'ambito del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

*The Climate Change Impacts Indicators Report – Edition 2021 is the main product of the National System for Environmental Protection Sub-Group V/03-02 on Climate Change Impact Indicators within the Working Group on Environmental Indicators of TIC V on Sinanet, reporting, environmental communication, education and training. The Report aims at providing a first picture on climate change*

*impacts at national and regional level based on specific indicators developed within the National System for Environmental Protection.*

Parole chiave: indicatori, impatti dei cambiamenti climatici, adattamento

# CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI

## **Coordinamento tecnico-scientifico e redazione finale del Rapporto**

ISPRA – Francesca Giordano, Ilaria Leoni, Monica Pantaleoni, Andrea Salmeri, Stefanina Viti

## **Sottogruppo Operativo SNPA V03-02 “Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici”**

ISPRA – Francesca Giordano (Coordinamento)

ARPA CALABRIA – Francesco Fusto

ARPAE EMILIA-ROMAGNA – Gabriele Antolini

ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA – Federica Flapp

ARPA LAZIO – Simone Dionisi

ARPA LIGURIA – Veronica Bonati, Luca Onorato

ARPA PIEMONTE – Renata Pelosini

ARPA PUGLIA – Micaela Menegotto, Vito Laghezza

ARPA SARDEGNA – Michele Fiori

ARPA UMBRIA – Alessandra Cingolani

ARPA VALLE D'AOSTA – Umberto Morra di Cella

APPA Bolzano – Flavio Ruffini (Osservatore)

## **Autori dei testi per capitolo**

*Definizioni e concetti chiave* (Francesca Giordano – ISPRA, Federica Flapp – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA, Gabriele Antolini – ARPAE EMILIA-ROMAGNA)

*Obiettivi e contenuti del Rapporto* (Francesca Giordano – ISPRA)

*Il quadro delle politiche: mitigazione e adattamento* (Monica Pantaleoni – ISPRA, Federica Flapp – ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA)

*Analisi dei trend passati e in corso e proiezioni climatiche future* (Guido Fioravanti, Piero Fraschetti, Francesca Lena, Walter Perconti, Emanuela Piervitali – ISPRA)

*Impatti dei cambiamenti climatici osservati e previsti* (Gabriele Antolini – ARPAE EMILIA-ROMAGNA, Umberto Morra di Cella – ARPA VALLE D'AOSTA, Marta Galvagno – ARPA VALLE D'AOSTA, Renata Pelosini – ARPA PIEMONTE)

*Indicatori nazionali e casi pilota regionali sviluppati in ambito SNPA* (Francesca Giordano, Ilaria Leoni, Monica Pantaleoni, Andrea Salmeri, Stefanina Viti – ISPRA, referenti e contributori delle schede)

*Progetti nazionali sul tema degli impatti dei cambiamenti climatici: elementi conoscitivi e approcci alla costruzione di indicatori* (Ilaria Leoni, Stefanina Viti – ISPRA)

*Discussione dei risultati e Sviluppi futuri* (Francesca Giordano, Monica Pantaleoni – ISPRA)

## **Referenti delle schede impatto-indicatore**

ISPRA – Angela Barbano, Domenico Berti, Patrizia Borrello, Giovanni Braca, Antonio Caputo, Jacopo Giuseppe Cecere, Marina Colaiezzi, Franco Crosato, Filippo D'Ascola, Roberta De Angelis, Marco Di Legnino, Stefania Ercole, Tomaso Fortibuoni, Raffaela Gaddi, Rossella Maria Gafà, Alessandra Galosi, Carla Iadanza, Francesco La Vigna, Mauro Lucarini, Monica Pantaleoni, Walter Perconti, Marco Picone, Valentina Rastelli, Fernando Spina, Alessandro Trigila

ARPA CALABRIA – Francesco Fusto, Rossella Stocco

ARPAE EMILIA-ROMAGNA – Gabriele Antolini, Marco Marcaccio

ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA – Alessandro Acquavita, Andrea Cicogna

ARPA LIGURIA – Andrea Cavallo, Veronica Parodi

ARPA LOMBARDIA – Orietta Cazzuli, Matteo Fioletti, Antioco Vargiu, Matteo Zanetti

ARPA PIEMONTE – Barbara Cagnazzi, Cristiana Ivaldi, Mariaelena Nicolella, Luca Paro, Renata Pelosini, Luisa Renier, Cecilia Scarinzi

ARPA SARDEGNA – Michele Fiori, Andrea Motroni

ARPA SICILIA – Vincenzo Ruvolo, Giancarlo Bellissimo, Giuseppe Cuffari, Marilù Armato

ARPA VALLE D'AOSTA – Umberto Morra di Cella

ARPA VENETO – Francesco Rech

ISTITUTO ZOOPROFILATTICO SPERIMENTALE  
DELLA LOMBARDIA E DELL'EMILIA-ROMAGNA –  
Mattia Calzolari  
REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Paola Angelini

**Referenti delle schede buone pratiche**

CNR-ISAC – Stefania Argentini, Alessandra Bonazza, Giampietro Casasanta  
CNR-ISMAR – Davide Bonaldo  
Istituto per le piante da legno e l'ambiente - Andrea Ebene  
COMUNE DI REGGIO EMILIA – Susanna Ferrari Bergomi, Elisia Nardini  
COMUNE DI PATERNÒ – Gianfranco Ursino  
REGIONE SARDEGNA – Antonio Pasquale Belloi  
REGIONE SICILIA – Maria Gabriella Matranga  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA CAMPANIA – Simona Castaldi  
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FIRENZE – Camilla Dibari, Giovanni Argenti, Marco Bindi  
UNIVERSITÀ CÀ FOSCARI DI VENEZIA – Fabio Pranovi  
UNIVERSITÀ IUAV DI VENEZIA – Francesco Musco, Giulia Lucertini, Federica Appiotti, Giacomo Magnabosco

**Contributori e fornitori dei dati**

ISPRA – Gaia Bazzi, Martina Bussettini, Arnaldo De Benedetti, Francesca De Maio, Otello Giovanardi, Simona Imperio, Barbara Lastoria, Alessandro Lotti, Andrea Marcon, Stefano Mariani, Francesca Piva, Sasa Raicevich, Lorenzo Serra, Emanuela Spada  
ARTA ABRUZZO – Giovanni Desiderio, Mauro Barone, Michele Corsini  
APPA BOLZANO – Paul Seidemann, Ufficio Idrografico Provincia di Bolzano  
ARPA CALABRIA – Francesco Gionfriddo  
ARPAE EMILIA-ROMAGNA – William Pratizzoli, Valeria Sacchetti, Giulia Villani, Antonio Volta  
ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA – Nicola Bettoso, Davide Brandolin, Valentina Gallina  
ARPA LIGURIA – Sonia Albanese, Federica Martina, Paolo Moretto, Eva Zattera

ARPA LOMBARDIA – Andrea Fazzone, Lorenza Galassi, Anna Paola Gatti, Valeria Marchesi, Cristina Zocchia  
ARPA PIEMONTE – Claudia Vanzetti  
ARPA SARDEGNA – Maurizio Testa  
AGENZIA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA – Mario Lorrai  
ARPA SICILIA – UOC Area Mare  
ARPA Umbria – Sonia Renzi  
ARPA VALLE D'AOSTA – Michel Isabellon, Pietro Capodaglio  
ARPA VENETO – Alberto Bonini Baraldi, Marco Sangati  
CENTRO AGRICOLTURA AMBIENTE GIORGIO NICOLI – Alessandro Albieri  
REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA – Daniela Iervolino  
INFRASTRUTTURE LOMBARDE S.p.A. – Anna Boccardi, Dino De Simone  
SNAM – Umberto Berzero

**Supporto della rete degli esperti tematici ISPRA sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici**

Federica Aldighieri, Domenico Berti, Giovanni Braca, Martina Bussettini, Antonio Caputo, Carlo Cipolloni, Francesca De Maio, Marco Di Legorio, Patrizia Di Marco, Stefania Ercole, Giovanni Finocchiaro, Tomaso Fortibuoni, Raffaela Gaddi, Alessandra Galosi, Otello Giovanardi, Carla Iadanza, Gianluca Iarocci, Marilena Insolvibile, Francesca Lena, Ilaria Leoni, Mauro Lucarini, Stefano Mariani, Giovanna Marino, Monica Pantaleoni, Marco Picone, Sasa Raicevich, Valentina Rastelli, Andrea Salmeri, Maria Chiara Sole, Fernando Spina, Alessandro Trigila, Luisa Vaccaro, Chiara Vicini, Stefanina Viti

**Revisione tecnico-scientifica esterna della versione intermedia del Rapporto**

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE – Fabiana Baffo  
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA – Sergio Castellari  
CENTRO EURO-MEDITERRANEO SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI – Valentina Mereu

**Revisione generale del Rapporto**

Consiglio Scientifico ISPRA e Presidente della Società Meteorologica Italiana – Luca Mercalli

**Consultazione della Rete dei Referenti SNPA del Rapporto Stato Ambiente**

ISPRA – Cristina Frizza (Coordinamento)  
ARTA ABRUZZO – Armando Lombardi  
ARPA BASILICATA – Ersilia Di Muro  
APPA BOLZANO – Helmut Schwarz  
ARPA CALABRIA – Vincenzo Sorrenti  
ARPA CAMPANIA – Paola Petillo  
ARPAE EMILIA-ROMAGNA – Roberto Mallegni  
ARPA FRIULI VENEZIA GIULIA – Sara Petrillo  
ARPA LAZIO – Rosangela Lonetto  
ARPA LIGURIA – Federico Grasso  
ARPA LOMBARDIA – Raffaella Marigo  
ARPA MARCHE – Miriam Sileno  
ARPA MOLISE – Michela Presutti  
ARPA PIEMONTE – Gianmario Nava  
ARPA PUGLIA – Erminia Sgaramella  
ARPA SARDEGNA – Sergio Pilurzu  
ARPA SICILIA – Marilù Armato  
ARPA TOSCANA – Maddalena Bavazzano  
APPA TRENTO – Jacopo Mantoan  
ARPA UMBRIA – Paolo Stranieri  
ARPA VALLE D'AOSTA – Marco Cappio Borlino  
ARPA VENETO – Giovanna Ziroldo

**Elaborazioni grafiche**

ISPRA – Elena Porrazzo

**Fotografie di copertina**

ISPRA – Giorgio Baldin, Gaia Bazzi  
ARPA VALLE D'AOSTA – Umberto Morra di Cella  
REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA – Inventario dei fenomeni franosi in Italia

<b>CONTRIBUTI E RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>3</b>
<b>PRESENTAZIONE.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>12</b>
<b>SINTESI .....</b>	<b>14</b>
<b>1. DEFINIZIONI E CONCETTI CHIAVE .....</b>	<b>17</b>
1.1. Impatti dei cambiamenti climatici e indicatori .....	17
1.2. Obiettivi degli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici .....	20
1.3. L'utilizzo degli indicatori di impatto a supporto di strategie e piani di adattamento.....	21
1.4. Incertezze nelle osservazioni e nelle proiezioni .....	22
<b>2. OBIETTIVI E CONTENUTI DEL RAPPORTO.....</b>	<b>25</b>
<b>3. IL QUADRO DELLE POLITICHE: MITIGAZIONE E ADATTAMENTO .....</b>	<b>26</b>
3.1. Livello internazionale .....	26
3.2. Livello europeo .....	26
3.2.1. Mitigazione.....	26
3.2.2. Adattamento .....	27
3.3. Livello nazionale.....	28
3.3.1. Mitigazione.....	28
3.3.2. Adattamento .....	28
3.4. Livello regionale .....	29
<b>4. ANALISI DEI TREND PASSATI E IN CORSO E PROIEZIONI CLIMATICHE FUTURE.....</b>	<b>31</b>
4.1. Clima passato e in corso .....	31
4.2. Proiezioni climatiche future.....	32
<b>5. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI OSSERVATI E PREVISTI.....</b>	<b>34</b>
5.1. Livello globale.....	34
5.2. Livello nazionale.....	39
<b>6. INDICATORI NAZIONALI E CASI PILOTA REGIONALI SVILUPPATI IN AMBITO SNPA .....</b>	<b>43</b>
6.1. Introduzione .....	43
6.2. La scheda impatto-indicatore.....	46
6.3. Risorse idriche.....	50

<b>6.3.1.</b>	<b>Modifica del ciclo idrologico .....</b>	<b>51</b>
6.3.1.1.	<i>Indice di runoff (Nazionale) .....</i>	52
6.3.1.2.	<i>Numero annuo di portate sopra soglia (Liguria).....</i>	54
6.3.1.3.	<i>Curva di durata delle portate (Liguria) .....</i>	57
<b>6.3.2.</b>	<b>Modifica della disponibilità delle risorse idriche rinnovabili .....</b>	<b>60</b>
6.3.2.1.	<i>Internal flow (Nazionale) .....</i>	61
<b>6.3.3.</b>	<b>Variazione della disponibilità di risorsa idrica sotterranea .....</b>	<b>63</b>
6.3.3.1.	<i>Livello delle falde acquifere (Nazionale) .....</i>	64
<b>6.3.4.</b>	<b>Variazione di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche .....</b>	<b>67</b>
6.3.4.1.	<i>Percentuale di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche (Sardegna) .....</i>	68
<b>6.4.</b>	<b>Suolo e territorio.....</b>	<b>70</b>
6.4.1.	<b>Variazione dell'erosione idrica del suolo.....</b>	<b>71</b>
6.4.1.1.	<i>Erosione idrica del suolo (Nazionale) .....</i>	72
6.4.2.	<b>Modifica di frequenza e distribuzione spaziale degli eventi fransosi .....</b>	<b>74</b>
6.4.2.1.	<i>Eventi fransosi principali (Nazionale) .....</i>	75
6.4.3.	<b>Variazione della capacità erosiva delle precipitazioni.....</b>	<b>77</b>
6.4.3.1.	<i>Fattore R erosività media annua delle precipitazioni (Veneto) .....</i>	78
6.4.4.	<b>Variazione spazio/temporale del contenuto idrico del suolo.....</b>	<b>80</b>
6.4.4.1.	<i>Umidità del suolo (Calabria).....</i>	81
<b>6.5.</b>	<b>Ecosistemi terrestri .....</b>	<b>83</b>
6.5.1.	<b>Peggioramento dello stato di conservazione degli uccelli migratori .....</b>	<b>84</b>
6.5.1.1.	<i>Indice di variazione della data di migrazione primaverile (Nazionale) .....</i>	85
6.5.2.	<b>Peggioramento delle condizioni fisiche degli uccelli durante la migrazione primaverile.....</b>	<b>87</b>
6.5.2.1.	<i>Indice di consistenza degli accumuli di grasso durante la migrazione primaverile (Nazionale) .....</i>	88
6.5.3.	<b>Modifica del ciclo vitale .....</b>	<b>90</b>
6.5.3.1.	<i>Variazione dei calendari fenologici di specie vegetali (Emilia-Romagna) .....</i>	91
6.5.4.	<b>Aumento del rischio di siccità negli ambienti naturali .....</b>	<b>94</b>
6.5.4.1.	<i>Deficit traspirativo in ambienti naturali (Friuli Venezia Giulia).....</i>	95
<b>6.6.</b>	<b>Ecosistemi marini.....</b>	<b>98</b>
6.6.1.	<b>Alterazione dei processi chimico-fisici (scambi di calore) .....</b>	<b>99</b>
6.6.1.1.	<i>Temperatura superficiale del mare (Nazionale) .....</i>	100
6.6.1.2.	<i>Temperatura superficiale del mare (Friuli Venezia Giulia).....</i>	102
6.6.1.3.	<i>Temperatura superficiale del mare (Liguria) .....</i>	104
6.6.1.4.	<i>Temperatura superficiale del mare (Calabria) .....</i>	106
6.6.2.	<b>Alterazione dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto di acque dolci) .....</b>	<b>108</b>
6.6.2.1.	<i>Salinità superficiale del mare (Friuli Venezia Giulia).....</i>	109
6.6.2.2.	<i>Salinità superficiale del mare (Liguria) .....</i>	111
6.6.2.3.	<i>Salinità superficiale del mare (Calabria) .....</i>	113
6.6.3.	<b>Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine .....</b>	<b>115</b>

6.6.3.1.	<i>Stima della biomassa planctonica attraverso fluorescenza indotta (Clorofilla a) (Friuli Venezia Giulia)</i> .....	116
<b>6.7. Ambiente alpino e appenninico .....</b>		<b>118</b>
6.7.1.	Variazione della massa glaciale .....	119
6.7.1.1.	<i>Bilancio di massa dei ghiacciai (Nazionale)</i> .....	120
6.7.1.2.	<i>Bilancio di massa dei ghiacciai (Valle d'Aosta e Lombardia)</i> .....	122
6.7.2.	Degradazione del permafrost .....	124
6.7.2.1.	<i>Stato termico del permafrost (Valle d'Aosta e Piemonte)</i> .....	125
<b>6.8. Zone costiere .....</b>		<b>127</b>
6.8.1.	Variazione della frequenza di condizioni di mare agitato.....	128
6.8.1.1.	<i>Frequenza di condizioni di mare agitato (Nazionale)</i> .....	129
6.8.2.	Variazione del livello medio del mare .....	131
6.8.2.1.	<i>Livello medio del mare (Nazionale)</i> .....	132
6.8.2.2.	<i>Livello medio del mare (Venezia)</i> .....	134
6.8.3.	Cambiamenti geomorfologici delle zone costiere .....	136
6.8.3.1.	<i>Variazioni geomorfologiche della costa (Nazionale)</i> .....	137
6.8.4.	Inquinamenti di breve durata nelle acque di balneazione.....	139
6.8.4.1.	<i>Numeri di eventi di inquinamento di breve durata (Nazionale)</i> .....	140
6.8.5.	Fioriture microalgali in acque marino-costiere .....	142
6.8.5.1.	<i>Concentrazione di Ostreopsis ovata (Nazionale)</i> .....	143
6.8.6.	Perdita di biodiversità dell'habitat coralligeno .....	145
6.8.6.1.	<i>Stato dell'habitat coralligeno (Sicilia)</i> .....	146
<b>6.9. Salute .....</b>		<b>148</b>
6.9.1.	Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Aedes albopictus</i> ) .....	149
6.9.1.1.	<i>Andamento della densità media di aedes albopictus (Emilia-Romagna)</i> .....	150
6.9.2.	Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Culex pipiens</i> ) .....	152
6.9.2.1.	<i>Media regionale mensile delle zanzare Culex Pipiens (Emilia-Romagna)</i> .....	153
6.9.3.	Mortalità estiva per ondate di caldo .....	155
6.9.3.1.	<i>Mortalità estiva (Piemonte)</i> .....	156
<b>6.10. Foreste .....</b>		<b>158</b>
6.10.1.	Variazione di frequenza, intensità e potenziale degli incendi boschivi .....	159
6.10.1.1.	<i>Incendi boschivi (Nazionale)</i> .....	160
6.10.1.2.	<i>Incendi boschivi (Lombardia)</i> .....	163
6.10.1.3.	<i>Indice meteorologico di pericolo di incendio (Piemonte)</i> .....	165
<b>6.11. Agricoltura e produzione alimentare .....</b>		<b>167</b>
6.11.1.	Aumento del rischio di siccità agricola .....	168
6.11.1.1.	<i>Deficit traspirativo (Emilia-Romagna)</i> .....	169
<b>6.12. Pesca .....</b>		<b>171</b>
6.12.1.	Cambiamento di areale di distribuzione di specie target della pesca .....	172
6.12.1.1.	<i>Temperatura media delle catture commerciali (Nazionale)</i> .....	173

<b>6.13. Energia .....</b>	<b>175</b>
6.13.1. Variazione della produzione di energia idroelettrica .....	176
6.13.1.1. <i>Produzione linda di energia idroelettrica (Nazionale)</i> .....	177
6.13.2. Modifica dei consumi energetici.....	179
6.13.2.1. <i>Gradiente del consumo per riscaldamento di gas naturale (Nazionale)</i> .....	180
6.13.2.2. <i>Gradi giorno di raffrescamento (Piemonte)</i> .....	182
6.13.2.3. <i>Gradi giorno di riscaldamento (Piemonte)</i> .....	185
6.13.2.4. <i>Consumi di energia elettrica nel mese di luglio (Lombardia)</i> .....	188
6.13.2.5. <i>Consumi di gas naturale nel settore residenziale (Lombardia)</i> .....	190
<b>6.14. Insiamenti urbani.....</b>	<b>192</b>
6.14.1. Fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana .....	193
6.14.1.1. <i>Numero di eventi alluvionali e di allagamento (Nazionale)</i> .....	194
<b>6.15. Patrimonio culturale.....</b>	<b>197</b>
6.15.1. Degrado dei materiali lapidei .....	198
6.15.1.1. <i>Recessione superficiale (Nazionale)</i> .....	199
<b>7. PROGETTI NAZIONALI SUL TEMA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI: ELEMENTI CONOSCITIVI E APPROCCI ALLA COSTRUZIONE DI INDICATORI .....</b>	<b>201</b>
7.1. Introduzione .....	201
7.2. Desert-adapt.....	204
7.3. Simetores .....	206
7.4. Change we care .....	208
7.5. iDEAL.....	210
7.6. Asti .....	212
7.7. Med-star.....	214
7.8. Mitimpact.....	216
7.9. Pastoralp .....	218
7.10. Adapt2clima .....	220
7.11. Climefish .....	222
7.12. Urbanproof.....	224
7.13. Protecht2save .....	226
<b>8. DISCUSSIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>228</b>
<b>9. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI.....</b>	<b>236</b>
<b>10. GLOSSARIO.....</b>	<b>238</b>
<b>11. BIBLIOGRAFIA GENERALE.....</b>	<b>242</b>

## PRESENTAZIONE

I cambiamenti climatici rappresentano una delle sfide globali più serie e urgenti che l'umanità si trova oggi ad affrontare: il ritardo nell'azione metterà infatti il pianeta, e gli esseri viventi che lo abitano, a rischio di sconvolgimenti, anche irreversibili.

Agire nell'immediato è quindi ormai necessario e imprescindibile, sia sul fronte della mitigazione (azione mirata alle cause del cambiamento climatico) che su quello dell'adattamento (azione mirata alle conseguenze del cambiamento climatico).

Con il Green Deal europeo, il nostro continente ha voluto porre al centro del proprio impegno il riscaldamento globale, con l'obiettivo di contribuire a limitare l'aumento della temperatura media globale entro 1,5°C rispetto all'epoca pre-industriale e a rendere i territori più resilienti ai cambiamenti climatici, coerentemente con quanto stabilito dagli Accordi di Parigi nell'ambito delle Nazioni Unite, sulla base delle stime del Gruppo Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici (IPCC).

Come evidenziato dalla Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (SNAC) adottata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) nel 2015 e confermato dal documento del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC), nella fase di *scoping* della procedura di Valutazione Ambientale Strategica al momento della stesura del presente Rapporto, in Italia sono già stati osservati impatti dei cambiamenti climatici, la cui intensità e durata mettono seriamente a rischio la disponibilità delle risorse naturali, la salute degli ecosistemi, nonché i mezzi di sussistenza, l'efficienza dei sistemi economici e il benessere della società.

Entrambi questi documenti individuano nel Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) il soggetto che potrebbe *"essere investito per norma della valutazione integrata di indicatori per la stima*

*degli impatti (...) e per la misura dell'efficacia degli interventi di adattamento"* nonché il possibile soggetto titolato alla *"definizione e popolamento di set di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, afferenti a tutti i sistemi ambientali ed ai settori socio-economici previsti dal Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici"*.

In questo contesto, nella consapevolezza che il nostro Paese deve rafforzare con rapidità le attività di monitoraggio e sviluppo delle conoscenze sugli impatti dei cambiamenti climatici, il Consiglio del SNPA ha attivato un Gruppo di Lavoro proprio sul tema degli "impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici", coordinato da ISPRA, con l'obiettivo di definire un set di indicatori di impatto a livello nazionale e regionale e supportare così il processo decisionale in tema di adattamento ai cambiamenti climatici. Ad oggi in Italia, non esiste, infatti, un sistema di indicatori omogeneo e standardizzato che consenta una rappresentazione spazio-temporale dei principali effetti dei cambiamenti climatici in corso sulle risorse ambientali e sui settori socio-economici del nostro Paese.

Si tratta di un lavoro molto complesso e sinergico che coinvolge più di dieci settori d'impatto differenti, distinti tra quelli più specificatamente naturali (ecosistemi e biodiversità, suolo e territorio, foreste, risorse idriche, etc.) e quelli di rilevanza sociale (salute) ed economica (energia, agricoltura, pesca, etc.).

Il presente Rapporto, che con grande soddisfazione presento nel mio ruolo di Presidente del Consiglio del SNPA e di ISPRA, rappresenta un primo grande sforzo di sistematizzazione di dati e indicatori disponibili all'interno del Sistema su questo tema. I risultati emersi forniranno altresì un importante quadro conoscitivo che verrà trasferito all'interno della Piattaforma Nazionale di Adattamento ai

Cambiamenti Climatici in via di realizzazione da parte di ISPRA su mandato del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, oggi Ministero della Transizione Ecologica (MITE). In linea con la Piattaforma europea *Climate-ADAPT* e i portali di informazione climatica dei diversi Stati europei, la Piattaforma rappresenterà, infatti, il primo strumento in Italia sul tema dei cambiamenti climatici, dei relativi impatti e dell'adattamento, finalizzato a favorire lo scambio di informazioni tra l'Amministrazione centrale, gli Enti locali e tutti i portatori di interesse, e a offrire a utenti esperti l'accesso a un'ampia varietà di dati, compresi quelli relativi agli impatti osservati dei cambiamenti climatici sul territorio italiano.

Stanti le lacune conoscitive ancora esistenti e la necessità di proseguire con continuità l'osservazione

nel tempo dei fenomeni che il cambiamento climatico sta esacerbando sul nostro territorio, SNPA proseguirà con la consueta determinazione e competenza la propria azione finalizzata al miglioramento delle conoscenze scientifiche sul tema del cambiamento climatico e dei relativi impatti, consapevole che solo l'azione congiunta di tutti gli attori che operano su questa materia potrà consentire al nostro Paese di fronteggiare al meglio una sfida così complessa.

Stefano Laporta  
Presidente ISPRA e SNPA

## INTRODUZIONE

Il 2020 verrà certamente ricordato come l'anno della pandemia da Covid-19 e non potrebbe essere diversamente viste le devastanti conseguenze socio-sanitarie ed economiche che hanno colpito tutti i paesi del pianeta. Con i *lockdown* che hanno costretto oltre un terzo della popolazione mondiale a vivere in isolamento, si è fatta strada la convinzione che questo shock sanitario globale rappresenti una prova generale di ciò che ci aspetta con il cambiamento climatico, sebbene su scale temporali differenti. Rispetto a quella pandemica, l'evoluzione della crisi climatica appare, infatti, decisamente più lenta inducendo l'opinione pubblica a percepirla come meno critica e urgente.

A livello globale, anche quest'anno tuttavia, le temperature hanno fatto registrare nuovi record, come quelli rilevati ad esempio al Polo Nord con anomalie di +20°C rispetto alle medie climatiche di riferimento per il Circolo polare artico e i 38°C raggiunti nella piccola città siberiana di Verkhoyansk, generalmente conosciuta per i suoi inverni gelidi.

È ormai chiaro e riconosciuto a livello internazionale che, oltre a una forte e decisa azione globale finalizzata alla riduzione delle emissioni dei gas serra e ad assicurare il mantenimento del riscaldamento globale ben al di sotto dei 2°C o intorno a 1,5°C, sono altrettanto necessarie e urgenti misure di adattamento alle crescenti temperature al fine di poter fronteggiare gli inevitabili impatti che colpiranno con particolare intensità le comunità e i territori più fragili.

Stanti gli attuali impegni che i Paesi delle Nazioni Unite hanno assunto nell'ambito dell'Accordo di Parigi, il nostro pianeta andrebbe incontro a un incremento di almeno 3°C di temperatura entro la fine del secolo con una chiara accelerazione degli impatti associati a crescenti e più durature siccità,

fenomeni di precipitazione più intensi, nonché tempeste più violente. L'adattamento costituisce quindi un pilastro chiave dell'Accordo di Parigi, che sottolinea la necessità che tutti i firmatari pianifichino e implementino adeguate misure attraverso piani nazionali di adattamento, studi, monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici e investimento in un futuro verde.

Con la recente pubblicazione della nuova Strategia europea sull'adattamento ai cambiamenti climatici (COM, 2021), prevista dal Green Deal europeo (COM, 2019), l'Europa ha voluto rafforzare il cammino da percorrere per prepararsi agli "effetti inevitabili" del cambiamento climatico, espressione ormai imprescindibile e significativa di quanto siano ineluttabili i cambiamenti in atto: costruire un continente europeo più resiliente ai cambiamenti climatici diventa quindi la parola chiave di fronte alla minaccia del riscaldamento globale, anche in linea con l'obiettivo 13 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite per uno sviluppo sostenibile *"Adottare misure urgenti per combattere i cambiamenti climatici e le loro conseguenze"* (UN, 2015).

A partire dalla Strategia europea del 2013, l'obiettivo diventa oggi quello di migliorare le conoscenze degli effetti dei cambiamenti climatici e poter definire le soluzioni che consentano di passare dalla pianificazione all'azione vera e propria: dobbiamo agire ora prima che sia troppo tardi, per mantenere l'integrità delle risorse naturali da cui dipende il benessere della società e la prosperità economica. Solo nell'Unione europea ad oggi i dati indicano che le perdite economiche associate alla maggior frequenza, intensità e durata degli eventi meteorologici estremi ammontano ad una media di 12 miliardi di euro l'anno, destinati ad aumentare ad almeno 170 miliardi di euro all'anno se l'incremento

della temperatura globale superasse i 3°C rispetto ai livelli preindustriali (COM, 2021).

Le proiezioni climatiche segnalano anche per il nostro Paese un incremento della temperatura fino a 2°C per il periodo 2021-2050 su scala stagionale e della frequenza e durata di fenomeni climatici estremi che metteranno ulteriormente a rischio le aree urbanizzate, già rese fragili dai processi di sviluppo che hanno sottratto aree naturali a favore di superfici impermeabili, e dall'elevata concentrazione della popolazione, di beni mobili e immobili, nonché di servizi e infrastrutture vulnerabili. Ma sono anche le risorse naturali ad essere a rischio e, con esse, la maggior parte dei settori dell'economia italiana: in uno scenario in cui l'aumento della temperatura dovesse mantenersi al di sotto dei 2°C rispetto al periodo preindustriale, le perdite economiche per l'Italia sarebbero ragionevolmente contenute (circa lo 0,5% del PIL nazionale) mentre aumenterebbero esponenzialmente in caso di un più consistente

aumento della temperatura, con perdite di PIL pro capite superiore al 2,5% nel 2050 e tra il 7-8% entro fine secolo, considerando lo scenario climatico pessimistico a più elevate emissioni di gas serra (Spano et al., 2020).

La questione climatica rappresenta quindi anche per l'Italia un tema da porre con urgenza al centro delle politiche ambientali nazionali: il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), in fase di stesura al momento della pubblicazione del presente Rapporto, previsto dall'iniziativa *Next Generation EU*, rappresenta certamente un'opportunità irrinunciabile per il nostro Paese al fine di declinare a livello nazionale l'ambizioso progetto europeo che intende coniugare al contempo le due grandi sfide climatiche della nostra epoca: neutralità e resilienza.

Alessandro Bratti  
Direttore Generale ISPRA

## SINTESI

Il Rapporto sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici è il prodotto finale dell'attività del Sottogruppo Operativo SNPA V/03-02 denominato *Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici* all'interno del Gruppo di Lavoro sugli *Indicatori ambientali* del Tavolo Istruttorio del Consiglio *Sinanet, reportistica, comunicazione, formazione, educazione ambientale*. Il lavoro, svolto con il coordinamento di ISPRA e il contributo di ARPA Calabria, ARPAE Emilia-Romagna, ARPA Friuli Venezia Giulia, ARPA Lazio, ARPA Liguria, ARPA Piemonte, ARPA Puglia, ARPA Umbria, ARPA Valle d'Aosta, ARPA Sardegna, si è posto come principale obiettivo quello di individuare, mettere a sistema e popolare per la prima volta in Italia gli indicatori disponibili a livello nazionale e regionale nell'ambito del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente.

Tale attività è stata condotta in sinergia con il percorso di realizzazione della Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici da parte di ISPRA, su incarico del MATTM, che prevede un'apposita sezione dedicata agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici cui hanno collaborato le seguenti ARPA: Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Emilia-Romagna, Lombardia, Veneto, Calabria, Sardegna.

A supporto di tale attività ISPRA ha istituito, inoltre, una *Rete interna di esperti tematici sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici*.

Il set di indicatori definito, suddiviso in *Indicatori di livello nazionale* elaborati da ISPRA (n. 20) e *Casi pilota regionali* sviluppati dalle ARPA o altri soggetti regionali partecipanti all'iniziativa (n. 30), fornisce un primo quadro conoscitivo sui fenomeni potenzialmente connessi ai cambiamenti climatici sul nostro territorio e rappresenta un sistema dinamico e aggiornabile anche in funzione di eventuali nuove

acquisizioni scientifiche in materia di cambiamenti climatici e relativi impatti sui diversi settori, nonché del contributo di soggetti esterni al Sistema che operano in questo ambito.

Il quadro conoscitivo è stato completato con una selezione di buone pratiche per fornire alcuni esempi di come gli indicatori siano stati tradotti in misure messe in atto a livello locale per far fronte agli effetti dei cambiamenti climatici.

I differenti indicatori che compongono il set analizzato presentano caratteristiche eterogenee in termini di dati di base, consistenza e lunghezza delle serie storiche nonché di metodologie utilizzate per la stima e la valutazione dei trend: ciò significa che allo stato attuale non è possibile mettere a confronto indicatori nazionali con i relativi casi pilota regionali, disporre di analisi dei trend per tutti gli indicatori inclusi nel set, né sono disponibili per tutti i fenomeni analizzati valutazioni statistiche circa la significatività delle tendenze in atto.

A fronte, quindi, di tendenze ancora non statisticamente significative o definibili, su cui si dovrà necessariamente focalizzare l'attenzione nel prosieguo dell'attività, il Rapporto evidenzia altresì alcuni segnali significativi di cambiamenti già in atto sulle risorse naturali del nostro territorio, quali in particolare:

- per i 6 **corpi glaciali italiani** considerati si verifica una generale **tendenza alla fusione** con una perdita costante di massa coerente con quanto registrato nelle Alpi e, più in generale, a scala globale: in particolare, dall'analisi dei dati dal 1995 al 2019, emerge come il bilancio cumulato mostri perdite significative che ammontano da un minimo di oltre 19 metri di acqua equivalente per il ghiacciaio del Basòdino al massimo di quasi 41 metri per il ghiacciaio di

Caresèr, per una perdita di massa media annua pari a oltre un metro di acqua equivalente mentre il bilancio cumulato dei ghiacciai analizzati nei casi pilota regionali (Valle d'Aosta e Lombardia) mostra perdite significative che ammontano a oltre 15 metri di acqua equivalente per il ghiacciaio del Timorion (2001-2019) e a quasi 36 metri per il ghiacciaio di Alpe Sud (1998-2019).

- il **permafrost** nei versanti poco acclivi e nei plateau di alta quota delle Alpi occidentali **si sta degradando** in media ad un tasso di circa  $0.15^{\circ}\text{C}$  ogni 10 anni nei due siti analizzati (Piemonte e Valle d'Aosta).
- le variazioni annue di **temperatura superficiale del mare** mostrano incrementi in tutti i mari italiani con alterazioni marcate nel Mar Ligure, Adriatico e Ionio Settentrionale e valori attenuati nel canale di Sicilia (trend non significativo lungo la costa africana). In prossimità della costa pugliese e lucana si riscontrano i valori maggiori che superano il valore di  $0.08^{\circ}\text{C}/\text{anno}$ .
- le **variazioni del livello del mare**, seppur lente e non apprezzabili dall'occhio umano nel breve periodo, costituiscono fonte di preoccupazione per le conseguenze che l'innalzamento potrà avere sulle coste: gli incrementi, dell'ordine di pochi millimetri l'anno (valori medi del trend pari a circa 2.2 mm/anno con picchi nel Mare Adriatico di circa 3 mm/anno), sono continui e appaiono ad oggi irreversibili. Particolare attenzione merita il caso di Venezia, dove è presente un fenomeno combinato di eustatismo e subsidenza, per le irreversibili conseguenze che si potrebbero avere su un patrimonio storico-culturale e architettonico unico e sull'insediamento urbano in generale: se nel lungo periodo (1872-2019) il tasso di innalzamento del livello medio del mare si attesta mediamente sui 2.53 mm/anno, esso risulta più che raddoppiato nell'ultimo periodo

(1993-2019) con valori che raggiungono i 5.34 mm/anno.

- negli ultimi 60 anni (1961-2020) il rischio di **siccità in agricoltura** in Emilia-Romagna è in aumento per le colture prese in esame (mais, erba medica, vite). Il deficit traspirativo è in aumento sia sul breve periodo (30 giorni) sia sul medio periodo (90 giorni). L'incremento più elevato nel deficit cumulato massimo è osservato per il mais che per i 30 giorni presenta un trend di 8 mm/decennio, rispetto all'erba medica e alla vite (5mm/decennio), e per i 90 giorni un trend di 20 mm/decennio, rispetto ai 18 mm/decennio per l'erba medica e la vite.
- un **aumento del deficit traspirativo della vegetazione** in 6 ambienti naturali tipici del Friuli Venezia Giulia fino a +17 mm/decennio durante l'estate e fino a +22 mm/decennio durante l'intero anno con possibili conseguenze sul ciclo di crescita e riproduttivo.
- l'aumento della temperatura del mare sta causando un **aumento delle catture commerciali di specie ad affinità calda** rispetto le specie ad affinità fredda nei mari italiani. In Mar Adriatico, la temperatura media delle catture è aumentata da  $19,2^{\circ}\text{C}$  (media 1987-1996) a  $20,2^{\circ}\text{C}$  (media 2009-2018), con un aumento annuo significativo di  $0,046^{\circ}\text{C}$ ; nel Mar Ionio è aumentata da  $20,3$  a  $22^{\circ}\text{C}$ , con un aumento annuo significativo di  $0,07^{\circ}\text{C}$ ; nel Mar di Sardegna da  $20,5$  a  $22,3^{\circ}\text{C}$ , con un aumento annuo significativo di  $0,075^{\circ}\text{C}$ .

Il quadro che emerge mette in evidenza alcuni segnali già riconoscibili e significativi riguardo allo stato di salute dei nostri ghiacciai, dei nostri mari nonché degli ecosistemi naturali del nostro territorio, quali campanelli d'allarme per quelle che potranno essere le conseguenze anche sulla società e sull'economia italiane. Stanti le lacune conoscitive ancora esistenti e la necessità di proseguire con continuità l'osservazione nel tempo dei fenomeni che il cambiamento climatico sta esacerbando sul nostro

territorio, il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente proseguirà con la consueta determinazione e competenza la propria azione finalizzata al miglioramento delle conoscenze scientifiche sul tema del cambiamento climatico e dei relativi impatti, consapevole che solo l'azione congiunta di tutti gli attori che operano su questa materia potrà consentire al nostro Paese di fronteggiare al meglio una sfida così complessa.

# 1. DEFINIZIONI E CONCETTI CHIAVE

## 1.1. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI E INDICATORI

L'Intergovernmental Panel on Climate Change delle Nazioni Unite definisce come impatti dei cambiamenti climatici *gli effetti sui sistemi naturali e umani (es. effetti sulla vita, la salute, gli ecosistemi, l'economia, la società, i servizi, le infrastrutture, etc.) causati da eventi meteorologici e climatici estremi e dai cambiamenti climatici che si verificano entro un periodo di tempo specifico e vulnerabilità di una società o un sistema esposti ai cambiamenti climatici. Gli impatti sono anche indicati come conseguenze e risultati di questi effetti* (IPCC 2014).

Gli impatti dei cambiamenti climatici sono la conseguenza, quindi, dell'innalzamento delle temperature medie, del cambiamento dei regimi

pluviometrici, degli eventi meteo-climatici estremi come precipitazioni intense, ondate di calore e siccità. Non sono solo gli eventi estremi a generare "impatti estremi" ma essi sono anche dovuti ad eventi moderati in un contesto alterato da modificazioni graduali o alla concatenazione con altri effetti sinergici o, ancora, al verificarsi di nuove vulnerabilità (fisiche, sociali o economiche) in un mondo in cambiamento (Figura 1).

Tali fenomeni variano non solo in base al clima, ma anche alle condizioni geografiche e socio-economiche dei territori: siamo tutti esposti ai cambiamenti climatici, ma alcune regioni sono più a rischio di altre.

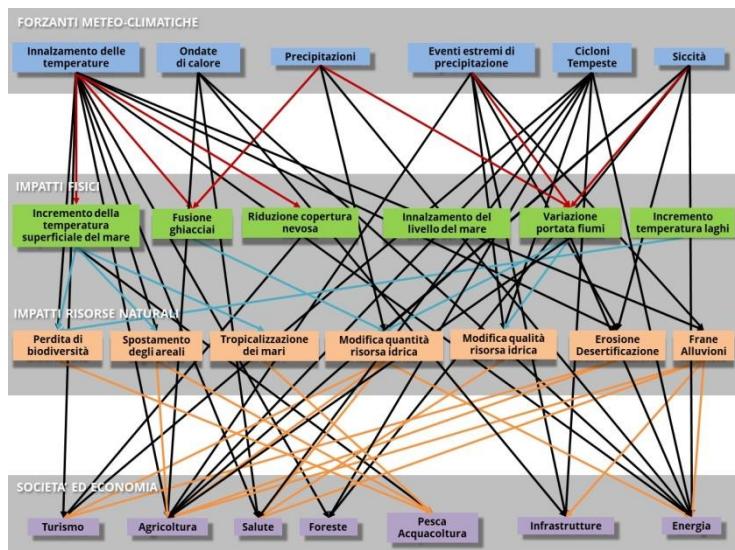


Figura 1 – Quadro esemplificativo degli impatti dei cambiamenti climatici. La rappresentazione non è esaustiva di tutte le possibili conseguenze sui diversi territori. Fonte: elaborazione ISPRA da fonti varie.

Gli impatti dei cambiamenti climatici possono essere diretti, quando cioè la forzante meteo-climatica agisce direttamente sulla matrice di impatto (es. impatto diretto dell'aumento della temperatura/variazione dei regimi di precipitazione nevosa sui ghiacciai) o indiretti, quando l'impatto è mediato da fattori non-climatici a loro volta conseguenza di fattori climatici (es. impatto indiretto dell'aumento della temperatura sulla temperatura superficiale del mare che determina lo spostamento degli areali con conseguenze successive sul settore della pesca). Nella maggior parte dei casi, almeno in contesti vulnerabili come l'area mediterranea, le conseguenze dei cambiamenti climatici sono negative, sono causa cioè di un danno o una perdita (es. perdita di biodiversità) oppure, in casi ben più rari, possono essere positivi, qualora forniscano delle opportunità (es. nuove opportunità per il settore agricolo per alcune zone geografiche).

L'evoluzione nel tempo delle grandezze climatiche e degli effetti del loro cambiamento può essere rappresentata efficacemente attraverso l'uso degli indicatori. Un indicatore rappresenta lo stato e/o la tendenza o *trend* di certe condizioni (i. e. ambientali, sociali, economiche) su una determinata area ed in uno specifico periodo di tempo.

Sebbene il presente documento sia esclusivamente focalizzato sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, è utile richiamare brevemente alcuni concetti chiave al fine di facilitare la comprensione e la distinzione tra le differenti categorie di indicatori funzionali all'implementazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Sono definiti *indicatori climatici* quelli che hanno lo scopo di descrivere il clima e i suoi cambiamenti nel corso del tempo, come ad esempio le precipitazioni cumulate, le temperature medie, le temperature estreme, ecc., siano essi dovuti alla variabilità naturale o alle attività umane, e di comprendere le cause degli impatti dei cambiamenti climatici.

Sono invece *indicatori di impatto dei cambiamenti climatici* quelli finalizzati a descrivere le conseguenze che le variazioni climatiche producono sulle funzioni ecologiche, sociali ed economiche nonché sulla salute umana ed animale (EEA, 2012; EEA, 2017). Distinti dagli indicatori di impatto sono gli *indicatori di vulnerabilità* che hanno l'obiettivo di favorire la comprensione delle vulnerabilità territoriali, economiche e sociali rispetto agli impatti climatici, basandosi quindi su elementi come la sensitività e la capacità di adattamento.

Lo schema illustrato in Figura 2 permette di comprendere la connessione tra le componenti fondamentali del potenziale impatto o rischio: pericolosità (*hazard*), esposizione (*exposure*) e vulnerabilità (*vulnerability*).

Secondo tale impostazione si verifica un rischio solo se in un certo luogo ed in un certo momento sono contemporaneamente presenti una fonte di pericolo (*hazard*), un recettore vulnerabile, che può subire cioè le conseguenze innescate dal pericolo e l'esposizione, ovvero la possibilità che il recettore venga in contatto con il pericolo.

La vulnerabilità viene attualmente definita come "...la propensione o la predisposizione di un sistema ad essere negativamente alterato...includendo la sensitività o la suscettibilità al danno e l'incapacità di fronteggiare un fenomeno e di adattarsi".

Pertanto la vulnerabilità viene intesa come funzione dei seguenti due fattori:

- sensibilità/suscettibilità al danno;
- capacità di adattamento, intesa come la capacità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani e di altri organismi di adeguarsi ai potenziali danni, cogliere le opportunità, o di rispondere alle conseguenze (IPCC, 2014).

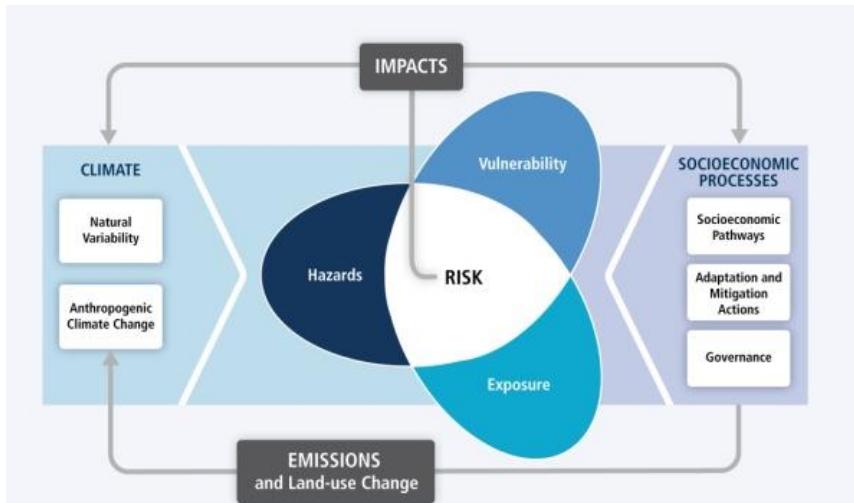


Figura 2 – Framework concettuale per la valutazione della vulnerabilità e dei rischi associati ai cambiamenti climatici  
(Fonte: IPCC, 2014).

Vengono definiti *indicatori di adattamento ai cambiamenti climatici* quelli finalizzati al monitoraggio e alla valutazione del progresso compiuto in tema di adattamento. Essi sono suddivisi in due differenti categorie:

- *indicatori basati sul processo*: hanno l'obiettivo di monitorare il progresso nell'implementazione delle misure di adattamento;
- *indicatori basati sul risultato*: hanno lo scopo di misurare l'efficacia delle politiche e delle misure di adattamento nel raggiungere i risultati desiderati.

I primi considerano l'adattamento come un processo decisionale, piuttosto che una serie di risultati mentre i secondi si basano sul risultato, ovvero sul fatto che l'adattamento significa costruire determinate capacità specifiche, ridurre una vulnerabilità, gestire un determinato rischio, oppure ancora sfruttare un'eventuale opportunità.

È opportuno precisare che nel presente Rapporto con il termine *indicatori di impatto dei cambiamenti*

*climatici* si intende lo strumento finalizzato a favorire la comprensione delle tendenze di medio-lungo termine di fenomeni ambientali, sociali ed economici che, sulla base della letteratura scientifica più autorevole, presentano una potenziale relazione causa-effetto con i cambiamenti climatici: alcuni indicatori mostrano tendenze che possono essere più direttamente associate alle variazioni climatiche rispetto ad altri. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, si tratta di fenomeni che non presentano una relazione esclusiva e univoca di causa-effetto con il cambiamento del clima, ma risultano dalla combinazione di più fattori, tra cui anche quello climatico. Solo con il monitoraggio nel tempo di questi fenomeni, sarà possibile comprenderne sempre meglio le cause, distinguendo il ruolo del cambiamento del clima dai fattori non strettamente climatici.

Si precisa, inoltre, che in un quadro non standardizzato a livello internazionale circa il confine tra le differenti categorie di indicatori, e pur nella consapevolezza che il sistema climatico sia costituito

dalle componenti atmosfera, idrosfera, biosfera, criosfera e litosfera, nel presente Rapporto si è considerato indicatore climatico quello strettamente riferito alla componente atmosferica del sistema climatico (temperature, precipitazioni, ecc.), includendo tra gli indicatori di impatto tutti i fenomeni risultanti da una variazione in essa rilevati, ivi compresi quindi i cosiddetti impatti fisici (fusione dei ghiacciai, incremento della temperatura superficiale del mare, ecc.).

## 1.2. OBIETTIVI DEGLI INDICATORI DI IMPATTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

I decisori politici, gli amministratori e i tecnici locali hanno oggi necessità sempre crescenti di disporre di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici al fine di: i) comprendere, valutare e misurare gli effetti derivanti dalle modifiche climatiche in atto nonché il significato delle possibili conseguenze sull'ambiente, sulla società e sull'economia; ii) informare la propria cittadinanza e aumentare la consapevolezza sulle problematiche ambientali emergenti; iii) sviluppare adeguate politiche di adattamento ai cambiamenti climatici e iv) supportare il monitoraggio nel tempo dell'efficacia delle azioni adottate. Gli obiettivi specifici di un set di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici sono infatti molteplici, in qualche modo concatenati l'uno all'altro, e possono essere così sintetizzati:

- obiettivo 1: incrementare la base conoscitiva, al fine di definire tipologie ed entità degli impatti dei cambiamenti climatici, identificare settori e regioni più vulnerabili e a rischio, sottolineare l'esigenza delle azioni di adattamento, anche individuando i gap informativi da colmare e i monitoraggi essenziali ai fini di un'adeguata valutazione, nonché fornire elementi utili allo sviluppo di una capacità previsionale relativa agli impatti stessi;
- obiettivo 2: informare, comunicare, aumentare la consapevolezza e la comprensione delle

tendenze di lungo termine degli effetti dei cambiamenti climatici e del significato di tali cambiamenti per le persone, l'ambiente, l'economia;

- obiettivo 3: supportare il processo decisionale con elementi scientifici solidi, chiari e comprensibili per lo sviluppo delle strategie e/o piani di adattamento ai cambiamenti climatici, la pianificazione e l'implementazione di misure efficaci, che tengano conto del contesto locale;
- obiettivo 4: descrivere la situazione di riferimento (*baseline attuale*) e la sua evoluzione nel tempo con l'obiettivo di monitorare l'efficacia delle azioni di adattamento nel ridurre rischi e/o vulnerabilità (EEA, 2012).

L'incremento della base conoscitiva (ob. 1) è senza dubbio il primo tassello indispensabile senza il quale nessuno degli obiettivi successivi (ob. 2, 3 e 4) potrà essere raggiunto. Solo migliorando la conoscenza (ob. 1) sarà infatti possibile promuovere un'adeguata informazione e comunicazione (ob. 2), attraverso un uso efficace di indicatori, e rafforzare la capacità di far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici, attuando strategie e piani basati su misure appropriate, tempestive ed efficaci (ob.3). Gli indicatori di impatto rappresentano, infine, una delle categorie di indicatori utili ai fini del monitoraggio dell'adattamento (ob. 4): gli obiettivi di un sistema di Monitoraggio, Valutazione e Reporting (MVR), infatti, variano a seconda che si desideri monitorare il progresso nell'implementazione delle misure di adattamento (indicatori di processo) o misurare l'efficacia delle misure di adattamento nel raggiungere i risultati prestabiliti (indicatori di risultato). In questo secondo caso, in funzione dell'obiettivo del monitoraggio (es. riduzione della sensibilità, riduzione dell'esposizione, riduzione della vulnerabilità, ecc.) dovranno essere utilizzati opportuni indicatori che consentano la misurazione dell'avvenuto cambiamento. Naturalmente si presuppone che gli stessi indicatori siano stati utilizzati nella fase precedente all'implementazione

delle azioni, al fine di determinare la situazione di riferimento iniziale (*baseline* attuale) rispetto alla quale effettuare il confronto. Misurare il progresso e l'efficacia delle azioni di adattamento senza aver stabilito la situazione di riferimento potrebbe, infatti, risultare in una valutazione scarsamente significativa. Sebbene l'uso degli indicatori di impatto sia prevalentemente finalizzato al raggiungimento degli obiettivi 1, 2 e 3, è importante sottolineare che nessun sistema completo di MVR può prescindere da questa tipologia di indicatori, pur non potendosi basare solo su di essi: ai fini di una valutazione dell'efficacia di una misura di adattamento, infatti, la constatazione della diminuzione di un impatto potrebbe non essere sufficiente (es. nei casi in cui l'impatto sia diminuito non come conseguenza dell'efficacia di una data misura ma in seguito ad esempio alla riduzione delle sue cause) (EEA, 2015; EEA, 2020; SNPA, 2018).

### **1.3. L'UTILIZZO DEGLI INDICATORI DI IMPATTO A SUPPORTO DI STRATEGIE E PIANI DI ADATTAMENTO**

Come evidenziato nei paragrafi precedenti gli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici possono essere utilmente impiegati, sia ai fini della costruzione di una base conoscitiva sia con obiettivi di monitoraggio, negli strumenti e nelle procedure di analisi che supportano la pianificazione dell'adattamento.

Le Linee Guida elaborate nell'ambito dei progetti LIFE MASTER ADAPT e CReIAMO PA – L5 (di cui al paragrafo 3.4 . Livello regionale) hanno ben delineato la sequenza delle attività e delle operazioni necessarie per pianificare l'adattamento a scala regionale e locale: un segmento fondamentale di questa filiera di lavoro è l'analisi del rischio climatico, basata sull'elaborazione delle cosiddette “*catene di impatto*”.

Riprendendo l'inquadramento concettuale del rischio climatico già illustrato precedentemente, una catena

di impatto si sviluppa a partire dall'analisi della sorgente di pericolo, identificata con il fattore meteo-climatico e i suoi effetti diretti sull'ambiente fisico, per poi prendere in considerazione i fattori di esposizione e di vulnerabilità (sensibilità e capacità di adattamento) e giungere infine a valutare il rischio associato ai potenziali impatti dei cambiamenti climatici.

Punto di partenza di questo percorso è l'analisi di contesto che include la compilazione di un “inventario” degli impatti già verificatisi nel territorio, i quali costituiscono “*il primo nucleo di valutazione da integrare con i rischi e gli impatti che potrebbero verificarsi in futuro*” (MATTM, 2020). Tale riconoscione può essere effettuata sia raccogliendo le testimonianze di chi in quel territorio vive e lavora, sia consultando fonti di informazione “oggettive”, tra le quali possono trovare impiego proprio gli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici che consentono di evidenziare eventuali trend in atto. In questo senso, gli indicatori di impatto rappresentano uno strumento utile per “*analizzare gli impatti già osservati e studiare in senso previsionale come le anomalie climatiche (le variazioni del clima rispetto al passato) andranno a modificare gli impatti di cui già si ha esperienza*” (Giordano et al, 2018).

Nello sviluppo di una catena di impatto, gli indicatori di cui qui trattiamo possono essere utilizzati per fornire elementi conoscitivi inerenti a diverse componenti della “catena”, a seconda della tipologia di impatti a cui si riferiscono.

Come anticipato nel paragrafo 1.1, alcuni degli indicatori proposti nel presente Rapporto sono relativi a impatti di tipo diretto classificabili come “*impatti fisici*”, ossia descrivono l'effetto diretto della variazione di un indicatore climatico sull'ambiente fisico (es. *Variazione della massa glaciale*, *Variazione della frequenza di condizioni di mare agitato*), talvolta essi stessi inclusi nella categoria di “*indicatori climatici*” in un'accezione ampia del concetto di sistema climatico. Nell'elaborazione di

una catena di impatto, questi indicatori possono quindi contribuire all'analisi della componente “sorgente di pericolo (hazard)” che tuttavia, prescindendo dall'esposizione e dalla vulnerabilità del sistema, non può essere affrontata attraverso azioni di adattamento (GIZ & EURAC, 2017) se non in termini di contenimento delle perdite ad essi associate. Sulle sorgenti di pericolo, infatti, è necessario intervenire sul fronte della mitigazione.

Altri indicatori proposti in questo Rapporto descrivono invece gli impatti che le variazioni climatiche producono sulle funzioni ecologiche, sociali ed economiche nonché sulla salute umana ed animale, in linea con la definizione più classica di indicatore di impatto (EEA, 2012). Possiamo quindi ipotizzare un utilizzo di questa tipologia di indicatori di impatto in fasi successive dell'analisi di rischio, poiché si tratta di indicatori relativi a impatti la cui entità dipende anche dall'esposizione e dalla vulnerabilità del sistema, ossia impatti che rappresentano il segmento finale di un'analisi di rischio climatico (“*impatto potenziale*”) o anche un suo segmento intermedio (“*impatto intermedio*”), ma comunque influenzabile dalle azioni di adattamento.

Le prospettive di utilizzo futuro degli indicatori di impatto dipendono dalle loro caratteristiche.

Nel corso del tempo, gli indicatori relativi agli impatti fisici potranno essere utili per monitorare l'evoluzione del segnale di pericolo e la congruenza delle previsioni da modelli rispetto agli andamenti osservati.

Gli indicatori relativi agli impatti sugli ecosistemi e sui diversi settori socio-economici, dipendenti dalla loro esposizione e vulnerabilità, potranno invece essere impiegati nel monitoraggio dell'efficacia delle azioni di adattamento, posto che tali indicatori soddisfino alcuni ulteriori requisiti. In particolare, l'utilità degli indicatori di impatto per valutare i risultati delle misure di adattamento dipenderà da quanto sia evidente e univoco il rapporto causa-effetto tra il

segnale climatico e l'impatto considerato, ossia da quanto l'impatto sia determinato, direttamente o indirettamente, da fattori climatici oppure derivi anche da altri fattori ambientali e/o antropici (es. *Fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana*, *Fioriture microalgali in acque marino-costiere*, *Variazione di frequenza e intensità degli incendi boschivi*).

Quando gli impatti siano determinati da fattori anche di tipo non climatico (es. pressioni antropiche, fattori socio-economici), i relativi indicatori non saranno i più adeguati a monitorare i processi di adattamento, in quanto l'aggravarsi o l'attenuarsi degli impatti sarà difficilmente attribuibile in maniera chiara alle azioni di adattamento intraprese ovvero sarà necessario poter distinguere le diverse componenti che su di esse agiscono. Tali indicatori sono comunque preziosi e imprescindibili al fine di poter cogliere la complessità delle relazioni intercorrenti tra gli effetti dei cambiamenti climatici e i sistemi ambientali, sociali ed economici.

#### 1.4. INCERTEZZE NELLE OSSERVAZIONI E NELLE PROIEZIONI

Il processo di caratterizzazione dell'incertezza, come parte integrante di ogni valutazione del rischio, è presente anche nella valutazione e nella gestione, in termini di politiche di adattamento e mitigazione, del rischio climatico.

I dati sui cambiamenti climatici osservati e previsti e sui loro impatti sono sempre associati a un grado di incertezza. Oltre all'incertezza relativa all'entità del cambiamento climatico (es. di quanto si è riscaldata mediamente la Terra negli ultimi 150 anni), esprimibile per esempio con un intervallo di confidenza oppure con standard terminologici adeguati, ancora più problematico risulta quantificare l'impatto causato dal cambiamento climatico in un determinato sistema antropico o naturale (es. quante morti sono state causate dalle ondate di calore negli ultimi 50 anni). Quando l'impatto è espresso attraverso dati osservativi, è il processo di

rilevamento stesso che è associato a un'incertezza, dovuto all'errore di campionamento o di misurazione, o alla copertura spaziale o temporale incompleta e al necessario processo di aggregazione del dato (es. interpolazione). In altri casi, il danno su una determinata matrice ambientale o su un sistema complesso viene stimato in base a una specifica modellistica di impatto. Quest'ultima viene impiegata necessariamente per il futuro ma in alcuni casi, qualora non siano disponibili osservazioni dirette, anche per il passato. L'incertezza in questo caso deriva dalle limitazioni insite nei modelli, che risultano per esempio dalla risoluzione (temporale e spaziale) o da processi difficilmente modellabili perché ancora parzialmente sconosciuti o troppo complessi (anche a causa dei numerosi meccanismi di retroazione). Particolarmente difficili e complessi in questo senso sono i sistemi sociali ed economici, motivo per cui è sempre molto arduo fornire una stima quantitativa del danno in termini monetari. Relativamente alla modellistica, particolarmente critico risulta anche il passaggio dalla grande scala alla scala locale (*downscaling*), che si rende necessario poiché i modelli globali forniscono informazioni sul clima futuro e sul rischio climatico futuro con un dettaglio spaziale ancora non adeguato e non sufficiente per guidare le politiche di adattamento e le scelte strategiche a livello locale.

Un livello ancora maggiore di incertezza è associato all'attribuzione della causa dell'impatto a una forzante climatica. La relazione causa-effetto tra impatto e clima può essere infatti molto solida, come per esempio nel caso dell'aumento della temperatura sulla fusione dei ghiacciai, oppure più incerta, come nel caso della diminuzione del contenuto idrico del suolo o del numero di morti da eventi alluvionali. In questi ultimi casi, altri fattori, naturali e antropici, intervengono nel determinare e modulare l'impatto osservato, al punto da rendere molto difficile stabilire se e in che misura il fattore climatico abbia causato l'impatto stesso. A rendere difficile l'individuazione della relazione causa-effetto tra due fenomeni, è in

particolare l'inerzia temporale con cui si producono gli impatti. L'orizzonte temporale su cui viene valutato l'impatto influenza notevolmente sull'incertezza: nonostante l'enorme progresso scientifico e tecnologico, più avanti si spinge la previsione più il margine di errore aumenta e il ventaglio di possibilità si allarga. Ma l'incertezza aumenta anche cercando di dare risposte sugli impatti osservati nel passato: generalmente più si va indietro nel tempo, più le informazioni diventano più scarse in termini di qualità e di quantità.

Vi sono poi altre problematiche connesse specificatamente alla valutazione degli impatti e del rischio climatico. La grande complessità dei sistemi, naturali e antropici, su cui agiscono le forzanti climatiche e la loro profonda interconnessione è alla base della citata "catena degli impatti": non si hanno cioè solo impatti direttamente causati dal cambiamento del clima, ma anche impatti indiretti, quando l'effetto è mediato da fattori non-climatici a loro volta conseguenza di fattori climatici (es. "migrazioni climatiche"), la cui valutazione risulta ancora più difficile in termini di entità e di attribuzione.

Il set di indicatori presentato in questo lavoro riflette in qualche modo la specificità dei settori naturali e antropici che si sono scelti per classificare gli impatti: ogni settore presenta una sua specifica complessità, per il quale la conoscenza scientifica può raggiungere livelli eterogenei. In relazione anche a questo, i dati osservativi e gli strumenti modellistici per ogni settore di impatto possono avere un grado di dettaglio diverso. Anche i casi studio a livello regionale possono risentire di una certa difformità per quanto riguarda per esempio la lunghezza temporale delle serie storiche o la densità delle reti osservative. In generale, ne deriva una eterogeneità complessiva ancora difficilmente superabile, ma che sarà possibile ridurre nel corso degli anni, grazie allo sviluppo degli strumenti di indagine e all'adozione di standard tecnologici e procedurali comuni.

L'incertezza è insita nel processo di conoscenza scientifico, e non si può prescindere da essa. È fondamentale che si utilizzino i migliori strumenti disponibili per quantificare l'incertezza, che deve essere messa a disposizione durante il processo decisionale e comunicata nella forma più adeguata. Il decisore politico, dal canto suo, deve essere consapevole (o reso consapevole) dell'incertezza associata a una specifica informazione connessa al clima e ai suoi impatti, e deve tenerne conto a fronte del ventaglio di possibili decisioni.

Naturalmente l'incertezza non può giustificare l'inazione: visto il poco tempo a disposizione, perché la crisi climatica non diventi una vera emergenza, il modo in cui si agirà nei prossimi 10 anni ne determinerà l'evoluzione a fine secolo. Il principio di precauzione, funzionale a salvaguardare non solo la vita e l'habitat della specie umana, ma l'intero pianeta, deve e dovrà necessariamente guidare le scelte politiche.

## 2. OBIETTIVI E CONTENUTI DEL RAPPORTO

È a partire dalle esigenze conoscitive emerse nell'ambito della SNAC (MATTM, 2015), nella quale si evidenzia come ad oggi in Italia non esista un sistema di indicatori omogeneo e standardizzato che consenta una rappresentazione spazio-temporale dei principali effetti dei cambiamenti climatici in corso sulle risorse ambientali e sui settori socio-economici del nostro Paese, che il Consiglio del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente ha istituito nel 2016 un Gruppo di Lavoro (GdL) *Impatti, vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici*, costituito da ISPRA (coordinamento) e da ARPA Valle d'Aosta, ARPA Piemonte, ARPA Liguria, ARPA Friuli-Venezia Giulia, ARPA Veneto, ARPAE Emilia-Romagna, ARPA Toscana, ARPA Sardegna, ARPA Campania (Osservatore).

Sulla base dei settori e degli impatti chiave della SNAC, e in linea con analoghe esperienze in corso a livello internazionale, il GdL ha sviluppato in una prima fase (2016-2017) un percorso metodologico di individuazione di "potenziali" indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, identificato un portfolio di circa 150 indicatori e definito i possibili criteri atti a selezionare impatti chiave e indicatori prioritari (SNPA, 2018; Giordano et al, 2018).

In una seconda fase della programmazione (2019-2020), con l'istituzione del Sottogruppo Operativo SNPA V/03-02 *Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici* all'interno del Gruppo di Lavoro sugli *Indicatori ambientali* del Tavolo Istruttorio del Consiglio Sinanet, *reportistica, comunicazione, formazione, educazione ambientale*, ISPRA ha proseguito l'attività con il supporto di APPA Bolzano (Osservatore), e le ARPA Calabria, Emilia-Romagna, Friuli Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Piemonte, Puglia, Umbria, Valle d'Aosta, Sardegna, con l'obiettivo di individuare, mettere a sistema e popolare per la prima volta in Italia gli indicatori

prioritari disponibili a livello nazionale e regionale nell'ambito del SNPA. Tale attività è stata condotta in sinergia con il percorso di realizzazione della Piattaforma Nazionale sull'Adattamento ai Cambiamenti Climatici da parte di ISPRA, su incarico del MATTM, che prevede un'apposita sezione dedicata agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici cui hanno collaborato le seguenti ARPA: Valle d'Aosta, Piemonte, Liguria, Emilia-Romagna, Lombardia, Veneto, Calabria, Sardegna.

A supporto di tale attività ISPRA ha istituito, inoltre, una *Rete interna di esperti tematici sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici*.

Il presente Rapporto illustra il risultato finale del lavoro svolto dal Sottogruppo Operativo nel biennio 2019-2020 che offre una panoramica su impatti chiave e indicatori prioritari popolati e disponibili in ambito SNPA, con l'obiettivo di delineare un primo quadro conoscitivo sui fenomeni potenzialmente correlabili ai cambiamenti climatici sul nostro territorio. Il set di indicatori così ottenuto, suddiviso in *Indicatori di livello nazionale* elaborati da ISPRA (n. 20) e *Casi pilota regionali* sviluppati dalle ARPA o altri soggetti regionali partecipanti all'iniziativa (n. 30), rappresenta un sistema dinamico e aggiornabile anche in funzione di eventuali nuove acquisizioni scientifiche in materia di cambiamenti climatici e relativi impatti sui diversi settori, nonché del contributo di soggetti esterni al Sistema che operano in questo ambito, con l'auspicio che questo lavoro possa contribuire a colmare le lacune conoscitive esistenti a livello nazionale.

Il quadro conoscitivo è stato completato con una selezione di buone pratiche per fornire alcuni esempi di come gli indicatori siano stati tradotti in misure messe in atto a livello locale per far fronte agli effetti dei cambiamenti climatici.

## 3. IL QUADRO DELLE POLITICHE: MITIGAZIONE E ADATTAMENTO

### 3.1. LIVELLO INTERNAZIONALE

La “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici” (UNFCCC) (UN, 1992), Accordo ambientale adottato dalle Nazioni Unite nell’ambito della Conferenza sull’Ambiente e sullo Sviluppo delle Nazioni Unite (UNCED, *United Nations Conference on Environment and Development*) del 1992 a Rio de Janeiro, aveva come obiettivo la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra, ad un livello tale da prevenire interferenze antropogeniche pericolose con il sistema climatico terrestre ed esortava i Paesi a mettere in piedi piani regionali che contenessero misure per facilitare l’adattamento ai cambiamenti climatici e a sviluppare piani per la salvaguardia delle aree più vulnerabili.

Successivamente, soprattutto per ciò che concerne la mitigazione, nel 1997 più di 160 Paesi hanno sottoscritto il Protocollo di Kyoto, il primo Accordo finalizzato a fissare obiettivi di riduzione delle emissioni (UN, 1997). Per i Paesi Membri dell’Unione Europea il Protocollo stabiliva una riduzione delle emissioni pari all’8% delle emissioni di gas serra rispetto a quanto emesso nel 1990. Tale target emissivo è stato poi ripartito all’interno dell’Unione Europea e l’Italia si è vista assegnare per il periodo 2008-2013 un obbligo di riduzione delle emissioni pari al 6,5% di quanto emesso nel 1990.

In seguito la Conferenza delle Parti della “Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici” del 2015 con la decisione 1/CP21 ha adottato l’Accordo di Parigi (UN, 2015a). L’Accordo definisce l’obiettivo di lungo termine per contenere l’aumento della temperatura media globale

ben al di sotto dei 2°C e il perseguitamento degli sforzi per limitare l’aumento a 1.5°C, rispetto ai livelli pre-industriali. Accanto alle misure di mitigazione l’Accordo prevede anche l’implementazione di misure per l’adattamento al cambiamento climatico, al fine di accrescere la capacità dei Paesi di adattarsi agli effetti avversi dei cambiamenti climatici.

Aderendo all’Accordo ogni Paese deve predisporre e comunicare il proprio “Contributo determinato a livello nazionale” (NDC – *Nationally Determined Contribution*) che identifichi l’impegno per la riduzione delle emissioni e il raggiungimento degli obiettivi di contenimento delle temperature. Ogni aggiornamento dell’NDC da parte dei paesi firmatari dell’Accordo dovrà consistere in un avanzamento in termini di ambizione rispetto al contributo precedente.

### 3.2. LIVELLO EUROPEO

#### 3.2.1. MITIGAZIONE

Il Consiglio Europeo nella primavera del 2007 ha sancito la necessità di avviare una transizione verso un’economia a basso contenuto di carbonio attraverso un approccio integrato tra le politiche attuate per la riduzione dei gas a effetto serra e le politiche energetiche. A seguito delle conclusioni del Consiglio, è stato approvato il cosiddetto “Pacchetto clima-energia 2020” (Consiglio dell’Unione Europea, 2007), ossia un insieme di provvedimenti legislativi finalizzati al raggiungimento dei seguenti target:

- riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra del 20% rispetto ai livelli del 1990. Questo target è stato suddiviso tra i settori ETS (*Emission*

*Trading System*, istituito dalla Direttiva 2003/87/CE “EU Emissions Trading Scheme” e modificata dalla Direttiva 2009/29/CE) ovvero grandi impianti e settori ESD (*Effort Sharing Decision* 406/2009/EC) cioè civile, trasporti esclusa aviazione, agricoltura, rifiuti e processi industriali. Alla luce della normativa citata i target al 2020 per l’Italia sono rispettivamente pari ad un -21% delle emissioni 2005 per ETS e -13% rispetto alle emissioni 2005 per ESD.

- riduzione dei consumi energetici del 20% rispetto allo scenario *business as usual*;
- produzione di energia da fonti rinnovabili pari al 20% dei consumi energetici dell’Unione europea;
- uso dei biocombustibili per il 10% della quantità di combustibile utilizzato nel settore dei trasporti.

L’obiettivo di riduzione dell’Unione Europea successivo al 2020, inviato all’UNFCCC come NDC dell’Unione all’Accordo di Parigi, prevede la riduzione dei gas serra di almeno il 40% a livello europeo rispetto all’anno 1990 (Unione Europea e Stati Membri, 2015). Le Conclusioni del Consiglio di ottobre 2014 dividevano tale obiettivo di riduzione tra i settori ETS e ESD, rispettivamente con target di riduzione pari a 43% e 30% rispetto alle emissioni dell’anno 2005. Il target per i settori ESD ovvero non ETS è stato poi suddiviso a livello di stato membro con il Regolamento UE 2018/842 “*Effort Sharing Regulation*”. La riduzione delle emissioni che l’Italia dovrà raggiungere al 2030 è pari al 33% rispetto alle emissioni di gas serra del 2005. L’obiettivo sulle rinnovabili prevede che la quota di energia da fonti rinnovabili nel consumo finale lordo di energia dell’Unione nel 2030 sia almeno pari al 32% (Direttiva (UE) 2018/2001) mentre sull’efficienza energetica si prevede un obiettivo al 2030 pari al 32.5% (Direttiva (UE) 2018/2002).

Successivamente con il Regolamento (UE) 2018/1999 è stato istituito un sistema di Governance dell’Unione dell’Energia che ha il fine di monitorare le politiche e misure messe in atto dagli Stati Membri

dell’Unione europea in materia di riduzione delle emissioni, incremento dell’efficienza energetica, fonti rinnovabili, ricerca e innovazione, sicurezza energetica e sviluppo del mercato interno dell’energia.

L’11 dicembre 2019 la Commissione europea ha presentato il Green Deal europeo (COM, 2019), che rappresenta una tabella di marcia, con specifiche azioni, per stimolare l’uso efficiente delle risorse, arrestare i cambiamenti climatici, mettere fine alla perdita di biodiversità e ridurre l’inquinamento. Nel marzo 2020, per dare operatività al Green Deal è stata emanata dalla Commissione Europea la prima proposta di “Legge europea sul clima”, che ha confermato gli obiettivi della neutralità climatica al 2050 e previsto la definizione e l’innalzamento dell’obiettivo europeo per la riduzione delle emissioni di gas a effetto serra al 2030. Nel dicembre 2020 il Consiglio Europeo ha posto tale obiettivo di riduzione pari al 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990.

### 3.2.2. ADATTAMENTO

Nel 2013 la Commissione Europea ha presentato la Strategia Europea sull’Adattamento ai Cambiamenti Climatici con la finalità di promuovere e supportare le azioni di adattamento negli Stati Membri, assicurare processi decisionali informati, colmare le lacune conoscitive creando, con il supporto dell’Agenzia Europea per l’Ambiente, una piattaforma denominata Climate-ADAPT con l’obiettivo di mettere a sistema tutte le informazioni in materia di adattamento a livello europeo. Terza finalità della strategia era quella di promuovere prioritariamente azioni per l’adattamento nei settori più vulnerabili.

Il 24 Febbraio 2021 la Commissione Europea ha adottato la nuova Strategia di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (COM, 2021). La nuova Strategia, in linea con quanto previsto dal Green Deal europeo (COM, 2019), ha lo scopo di migliorare le conoscenze e la disponibilità dei dati aumentando e

aggiornando costantemente anche le informazioni contenute nella piattaforma Climate-ADAPT, sostenendo lo sviluppo di politiche a tutti i livelli di governance e accelerando lo sviluppo e la diffusione di soluzioni di adattamento.

A livello locale il Patto Globale dei Sindaci per il Clima e l'Energia rappresenta un'iniziativa trasversale finalizzata a coinvolgere e sostenere le città nel raggiungimento degli obiettivi di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. Le città firmatarie si impegnano a sostenere l'attuazione dell'obiettivo di riduzione dei gas a effetto serra dell'UE del 40% entro il 2030 e l'adozione di un approccio comune per affrontare la mitigazione e l'adattamento ai cambiamenti climatici.

Il Patto dei Sindaci è stato lanciato in Europa nel 2008 con l'ambizione di riunire i governi locali volontariamente impegnati a raggiungere e superare gli obiettivi dell'UE in materia di clima ed energia. Nel 2014 *Mayors Adapt* – iniziativa del Patto dei sindaci sull'adattamento ai cambiamenti climatici – è stata istituita dalla Commissione europea come una delle azioni della strategia di adattamento dell'UE per coinvolgere le città nell'implementare azioni di adattamento ai cambiamenti climatici. La Commissione europea ha unito le due iniziative nel 2015 nel tentativo di promuovere un approccio integrato all'azione per il clima e l'energia. Il Patto Globale dei Sindaci per il Clima e l'Energia è il più grande movimento al mondo per le azioni locali sul clima e l'energia.

### 3.3. LIVELLO NAZIONALE

#### 3.3.1. MITIGAZIONE

Nell'ambito del Regolamento (UE) 2018/1999 sul sistema di Governance dell'Unione dell'Energia il 31/12/2019 l'Italia ha inviato alla Commissione il proprio Piano Nazionale per l'Energia e il Clima (PNIEC) con orizzonte al 2030. L'obiettivo del PNIEC

è quello di realizzare una nuova politica energetica che assicuri la piena sostenibilità ambientale, sociale ed economica del territorio nazionale e accompagni tale transizione (MiSE, MATTM, MIT, 2019).

Per quanto riguarda il percorso di decarbonizzazione nazionale finalizzato alla neutralità climatica al 2050, sempre in ottemperanza al Regolamento sulla Governance e in linea con quanto richiesto dall'Accordo di Parigi, il 10 febbraio 2021 l'Italia ha trasmesso alla Commissione Europea la "Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra" (LTS) (MATTM, MiSE, MIT, Mipaaf, 2021). Tale Strategia identifica possibili percorsi di decarbonizzazione basandosi su diverse opzioni tecnologiche.

Sia il PNIEC che la LTS nei prossimi anni saranno aggiornati a valle anche dei processi di revisione degli obiettivi energetico-ambientali nazionali attualmente in corso di rivalutazione a livello europeo nella nuova Legge Europea sul Clima (innalzamento dell'obiettivo di riduzione delle emissioni medio EU da 40% al 55% al 2030) e delle scelte che verranno prese con il Piano per la Ripresa e la Resilienza (PNRR), in fase di scrittura al momento di pubblicazione del presente Rapporto.

#### 3.3.2. ADATTAMENTO

In ambito nazionale nel 2014 è stata presentata la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNAC) (MATTM, 2015). La SNAC è composta da tre elementi fra loro indipendenti: un Rapporto Tecnico-Scientifico sullo "Stato delle conoscenze su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia" (Castellari et al, 2014a), un Rapporto Tecnico-Giuridico sull'"Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici" (Castellari et al, 2014b) e un Documento Strategico denominato "Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti

Climatici" (Castellari et al, 2014c). Questi tre documenti costituiscono la base aggiornata delle conoscenze tecniche sugli impatti dei cambiamenti climatici e la relativa vulnerabilità e forniscono la prospettiva strategica sull'adattamento a livello nazionale.

Lo scopo della Strategia è quello di ridurre al minimo le vulnerabilità traendo vantaggio dalle eventuali opportunità che si potrebbero presentare nelle nuove condizioni climatiche. Secondo la SNACC questo potrebbe implementarsi elaborando una visione nazionale su come affrontare gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali e sui settori economici, fornendo un quadro conoscitivo di riferimento per l'adattamento e individuando un set di azioni ed indirizzi per far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici

Nel 2018 è stata finalizzata la bozza del Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici (PNACC) (MATTM, 2018), attualmente sottoposto a Valutazione Ambientale Strategica. Il Piano include un quadro delle tendenze climatiche in atto a livello nazionale e degli scenari climatici futuri, individua possibili azioni di adattamento e relativi strumenti di monitoraggio e valutazione dell'efficacia. Il testo analizza gli impatti e le vulnerabilità territoriali, evidenziando quali aree e settori siano maggiormente a rischio. Il PNACC è costituito da 8 documenti e ha come obiettivo quello di limitare la vulnerabilità dei sistemi naturali, sociali ed economici agli impatti dei cambiamenti climatici, incrementare la capacità di adattamento dei sistemi naturali, sociali ed economici, migliorare lo sfruttamento delle eventuali opportunità e favorire il coordinamento delle azioni ai diversi livelli.

Se la SNAC è una "visione" strategica dell'adattamento a livello di Paese, il PNACC è la modalità con cui essa viene perseguita. Sostanzialmente il PNACC attua la SNAC, offrendo uno strumento di supporto operativo alle istituzioni nazionali, regionali e locali per l'individuazione e la

scelta delle azioni di adattamento più efficaci nelle diverse aree climatiche in relazione alle rispettive criticità e per l'integrazione di criteri di adattamento nelle procedure e negli strumenti già esistenti di programmazione e pianificazione territoriale.

### 3.4. LIVELLO REGIONALE

In Italia il quadro delle politiche climatiche a scala regionale e locale è molto diversificato, riguardo sia alle tempistiche sia alle modalità di pianificazione e attuazione dei percorsi di mitigazione e di adattamento ai cambiamenti climatici. Vario è anche l'inquadramento generale dei percorsi, che spesso vedono l'adattamento e la mitigazione come oggetto di iter distinti, mentre in alcuni casi essi vengono affrontati in maniera integrata e in altri ancora sono esplicitamente collocati nella cornice delle Strategie Regionali per lo Sviluppo Sostenibile.

Alcune Regioni si sono dotate di Strategie e/o Piani specifici, in genere preceduti dalla redazione di linee guida o documenti preparatori, secondo un iter che ha previsto la definizione di sistemi di governance a carattere trasversale e che ha impegnato le Amministrazioni per più anni. Le Regioni che per prime hanno sviluppato questo complesso percorso, affrontandolo con diversi approcci e modalità, sono la Lombardia (Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2012; Regione Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2014; Regione Lombardia e Fondazione Lombardia per l'Ambiente, 2016), l'Emilia-Romagna (Delibera della Giunta regionale, 2015; Regione Emilia-Romagna, 2018), la Sardegna (Regione Autonoma della Sardegna e Università di Sassari, 2018; Regione Autonoma della Sardegna, 2019).

Altre Regioni hanno avviato formalmente il percorso verso l'adozione di una Strategia o di un Piano regionale sul tema dei cambiamenti climatici, redigendone i documenti preliminari (Regione Abruzzo, 2018; Regione Piemonte, 2020; Regione

Puglia, 2020). In altri casi sono stati sviluppati studi tesi a tracciare il quadro climatico che possa essere utilizzato come riferimento per le future strategie (EURAC Research, 2018; Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia e ARPA Friuli Venezia Giulia, 2018; EURAC Research, 2020). Altre Regioni ancora hanno avviato processi per integrare l'adattamento ai cambiamenti climatici nelle proprie Strategie Regionali per lo Sviluppo Sostenibile come nel caso di Marche e Lazio.

Per favorire il superamento di questa situazione di disomogeneità, in particolare per quanto concerne l'adattamento, nel 2018 il MATTM ha avviato nell'ambito del progetto CRelAMO PA - *linea di intervento L5 – Rafforzamento della capacità amministrativa per l'adattamento ai cambiamenti climatici* un percorso che coinvolge le Regioni con finalità di condivisione e formazione sulla redazione di Strategie e Piani Regionali di Adattamento, creando le condizioni affinché questi si sviluppino in coerenza con la Strategia e il Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (MATTM, 2015; MATTM, 2018).

Nell'ambito di CRelAMO PA – L5 nel 2020 sono stati pubblicati tre documenti metodologici rivolti ai decisori pubblici nazionali, regionali e locali, a cui si affiancano due fascicoli di schede operative, una nota informativa e un glossario. Lo stato dell'arte delle Strategie e dei Piani di adattamento a scala regionale e locale è sintetizzato nelle *"Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di*

*adattamento ai cambiamenti climatici"* e la situazione in alcune Regioni è descritta più approfonditamente nell'allegato informativo *"L'adattamento ai Cambiamenti Climatici in Italia - Report sul quadro di attivazione delle regioni e degli enti locali"*. Un altro strumento teso a fornire una base metodologica comune sono le *"Linee guida per la redazione delle strategie regionali per l'adattamento"* (Regione Autonoma della Sardegna, 2019) elaborate nell'ambito del progetto LIFE MASTER ADAPT (*MAinSTREAMing Experience at Regional and local level for ADAPTation to climate change*) coordinato dalla Regione Autonoma della Sardegna e realizzato con il supporto di Regione Lombardia, ISPRA, Università di Sassari, IUAV, Coordinamento Agende 21 Locali, Ambiente Italia srl, Fondazione Lombardia per l'Ambiente. Queste Linee Guida, pubblicate a dicembre 2019, sono state fatte proprie dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e rappresentano anch'esse uno strumento di cui possono utilmente usufruire le Regioni interessate a predisporre una propria Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

Questa breve ricognizione non ha naturalmente carattere esaustivo e il quadro dei percorsi di adattamento e mitigazione intrapresi a livello regionale e locale è in continua evoluzione.

# 4. ANALISI DEI TREND PASSATI E IN CORSO E PROIEZIONI CLIMATICHE FUTURE

## 4.1. CLIMA PASSATO E IN CORSO

L'osservazione delle variazioni climatiche del passato recente e in corso e la stima di quelle future costituiscono il presupposto indispensabile alla valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici e, conseguentemente, alla definizione delle strategie di adattamento. La conoscenza delle variazioni del clima passato e presente si fonda sui dati osservati e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima dei trend, quella del clima futuro si basa invece sulle proiezioni dei modelli climatici.

Con riferimento alle tendenze passate e in corso, le stime più recenti degli indicatori rappresentativi dell'andamento dei valori medi e degli estremi delle variabili climatiche sono riportate nell'ultimo rapporto annuale sul clima in Italia (ISPRA, 2020). Al fine di ottenere una stima accurata dei trend climatici, vengono selezionate le serie di dati più lunghe, che soddisfano inoltre criteri rigorosi di qualità, completezza e continuità.

L'andamento della temperatura in Italia dal 1961 al 2019 è illustrato nella Figura 3 che mostra la serie di anomalie annuali di temperatura media, rispetto al trentennio climatologico 1961-1990, a confronto con l'andamento della temperatura media globale sulla terraferma. In generale, entrambe le serie presentano un marcato trend in aumento negli ultimi decenni. In Italia, a partire dal 1985, le anomalie sono state sempre positive, ad eccezione del 1991 e del 1996 e otto dei dieci anni più caldi della serie storica sono stati registrati dal 2011 in poi, con anomalie comprese tra +1,26 e +1,71°C. La stima aggiornata

del rateo di variazione della temperatura media dal 1981 al 2019 è di  $+0,38 \pm 0,05^\circ\text{C}/10 \text{ anni}$ ; il rateo di variazione della temperatura massima ( $+0,42 \pm 0,06^\circ\text{C}/10 \text{ anni}$ ) è maggiore di quello della temperatura minima ( $+0,34 \pm 0,04^\circ\text{C}/10 \text{ anni}$ ). Su base stagionale i trend di aumento della temperatura più forti si registrano in estate ( $+0,52 \pm 0,10^\circ\text{C}/10 \text{ anni}$ ) e primavera ( $+0,44 \pm 0,10^\circ\text{C}/10 \text{ anni}$ ). I trend sono calcolati sul periodo 1981 – 2019 poiché si fa risalire all'inizio degli anni '80 un cambiamento del trend di temperatura, quando ha inizio un periodo caratterizzato da un riscaldamento più marcato nel corso dell'ultimo secolo.

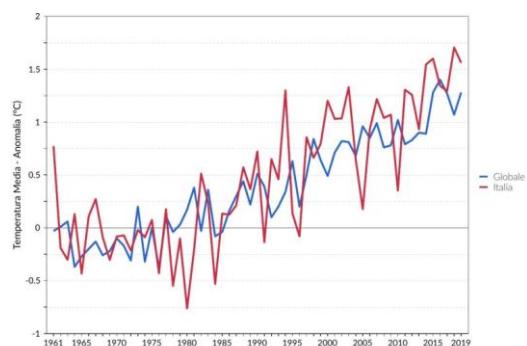


Figura 3 – Serie delle anomalie di temperatura media globale sulla terraferma e in Italia, rispetto ai valori climatologici normali 1961-1990. Fonti: NCDC/NOAA e ISPRA. Elaborazione: ISPRA.

Gli indici degli estremi di temperatura evidenziano un quadro coerente con il trend in aumento dei valori medi. Sia per il numero medio di notti tropicali che per quello dei giorni estivi, il 2019 è stato il ventitreesimo anno consecutivo con anomalie positive rispetto alla media climatologica. L'indice

WSDI (*Warm Spell Duration Index*) rappresentativo dei prolungati e intensi eventi di caldo nel corso dell'anno è stato sempre superiore alla media dal 1996 in poi. I giorni con gelo sono stati invece quasi sempre inferiori alla media dal 1995. Inoltre, le notti e i giorni freddi mostrano una chiara tendenza a diminuire, mentre i giorni e le notti calde mostrano una chiara tendenza ad aumentare; negli ultimi 35 anni le notti e i giorni freddi sono stati quasi sempre inferiori alla media climatologica e le notti e i giorni caldi sono stati quasi sempre superiori alla media climatologica.

Con riferimento alla serie nazionale della precipitazione cumulata annuale e stagionale, dall'analisi statistica dei trend nel periodo 1961-2019 non risultano tendenze statisticamente significative.

Per quanto riguarda le tendenze nel medio e lungo periodo degli indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e dei valori estremi di precipitazione non emergono segnali evidenti di variazioni significative. Va tenuto comunque presente che i risultati sono stati ottenuti su un insieme ancora piuttosto limitato di stazioni di misura e che, per valutare in modo più approfondito l'esistenza di trend degli eventi di precipitazione intensa, sarebbe necessario disporre di lunghe serie osservative con frequenza oraria.

#### 4.2. PROIEZIONI CLIMATICHE FUTURE

Per una stima del clima futuro, sono state analizzate le proiezioni del clima nel corso del XXI secolo dall'insieme delle simulazioni dei modelli di MedCORDEX (ISPRA, 2015), un'iniziativa che studia il clima dell'area Mediterranea. L'obiettivo dello studio è stato quello di mettere in evidenza gli elementi di conoscenza e di incertezza più significativi sull'evoluzione del clima futuro in Italia, dai molteplici risultati prodotti dai modelli climatici.

Dagli output giornalieri di temperatura e di precipitazione cumulata relativi al territorio italiano di quattro modelli RCM (*Regional Climate Models*),

sono stati estratti ed elaborati quelli che ricadono nel territorio italiano. I modelli forniscono previsioni in due scenari di sviluppo socio-economico e di emissione di gas climateranti (*Representative Concentration Pathways - RCP*), che rappresentano rispettivamente uno scenario intermedio (4,5 W/m<sup>2</sup>, RCP4,5) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8,5 W/m<sup>2</sup>, RCP8,5). Per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi di temperatura e precipitazione che gli indici estremi significativi per il clima italiano e riportati in termini di differenze rispetto al valore medio di 1971-2000. Questo consente di confrontare i segnali climatici di diversi modelli, indipendentemente dalla loro abilità nel riprodurre i valori assoluti.

Per la temperatura media (Figura 4) si prevede in un secolo un incremento compreso tra 1,8 e 3,1°C nello scenario RCP4,5 e tra 3,5 e 5,4°C nello scenario RCP8,5. Il trend dell'*ensemble mean* (media delle variazioni previste dai 4 modelli) è di 0,2°C/10 anni nello scenario RCP4,5 e di 0,4°C/10 anni nello scenario RCP8,5.

L'aumento della temperatura è previsto in tutte le stagioni, da tutti i modelli. La stagione in cui si prevede l'aumento più marcato della temperatura media è l'estate, con variazioni in un secolo comprese tra 2,5 e 3,6°C nello scenario RCP4,5 e tra 4,2 e 7,0°C nello scenario RCP8,5, mentre l'aumento meno marcato è previsto in primavera, con variazioni in un secolo comprese tra 1,3 e 2,7°C nello scenario RCP4,5 e tra 2,8 e 4,8°C nello scenario RCP8,5.

Gli indici degli estremi di temperatura mostrano variazioni ugualmente importanti e significative. Tutti i modelli sono concordi nell'indicare una riduzione dei giorni con gelo e un aumento di notti tropicali, giorni estivi e periodi di caldo, oltre a una forte riduzione delle notti e dei giorni freddi, e un marcato aumento delle notti e dei giorni caldi, tuttavia le differenze

sull'entità delle variazioni sono talvolta significative. In particolare, si prevede un consistente aumento medio nazionale dell'indice WSDI compreso tra 30 e 93 giorni nello scenario RCP4.5 e tra 76 e 182 giorni nello scenario RCP8.5.

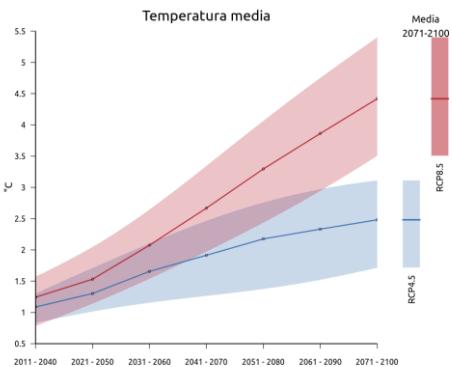


Figura 4 – Temperatura media. Variazioni rispetto alla media 1971-2000 previste dai quattro modelli (media su periodi di 30 anni) nei due scenari RCP4.5 (blu) e RCP8.5 (rosso). L'area colorata rappresenta la distribuzione delle previsioni dei modelli mentre la linea continua indica la media delle variazioni previste dai modelli (*ensemble mean*).

Le proiezioni delle precipitazioni sono molto più incerte di quelle della temperatura e i due scenari non si possono distinguere con altrettanta chiarezza. Considerando la media nazionale della precipitazione cumulata annuale, nello scenario RCP4.5 tre modelli su quattro prevedono in un secolo una debole diminuzione e un solo modello un debole aumento delle precipitazioni. Complessivamente, le variazioni previste al 2061-2090 sono comprese tra una diminuzione di circa l'8% e un aumento del 5% circa, mentre l'*ensemble mean* indica una riduzione dell'1,5% circa. Nello scenario RCP8.5 tale intervallo si allarga (risultando compreso tra -15% e +2%) e l'*ensemble mean* si sposta nel senso di una riduzione delle precipitazioni.

Le proiezioni di alcuni indici rappresentativi della frequenza, dell'intensità e degli estremi di precipitazione indicano una futura, progressiva concentrazione delle precipitazioni in eventi più intensi e meno frequenti. L'entità di queste variazioni risulta comunque molto incerta e mediamente debole o moderata. Va tenuto presente, tuttavia, che le proiezioni si riferiscono ai valori medi delle variabili climatiche su griglie di calcolo con risoluzione di circa 50 km, e che localmente le variazioni potrebbero essere più marcate e significative.

## 5. IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI OSSERVATI E PREVISTI

### 5.1. LIVELLO GLOBALE

Il cambiamento climatico sta modificando in modo significativo il contesto ambientale in cui si sviluppano tutti i processi naturali e antropici, sia in modo diretto, quando le forzanti climatiche agiscono direttamente su tali processi, o indiretto, attraverso la modifica degli elementi su cui tali processi si basano o dell'ambiente in cui si sviluppano. L'impatto dipende non solo da quanto e come cambia il clima e dall'esposizione di tali sistemi al cambiamento, ma anche dalla loro vulnerabilità, cioè dalla propensione a essere negativamente influenzati dal cambiamento climatico, e dalla loro resilienza, cioè dalla capacità di rispondere, di adattarsi alle nuove condizioni, di mettere in campo tutte le capacità e le abilità, le risorse culturali, sociali ed economiche per adottare nuovi comportamenti. Gli impatti sono dunque gli effetti della forzante climatica sui sistemi naturali e non, che sono esposti a tale forzante, mediati dalla loro vulnerabilità e resilienza. La combinazione di questi elementi: esposizione, vulnerabilità e resilienza determina la gravità dell'impatto del cambiamento climatico. La relazione tra un evento estremo da un punto di vista fisico, come ad esempio una maggior frequenza degli eventi meteorologici estremi, non ha dunque una relazione 1:1 con un impatto estremo.

Gli impatti del cambiamento climatico si avvertono sempre di più in ogni comparto naturale, socio-economico e produttivo su cui si basa l'organizzazione della nostra società. Gli impatti potranno essere diretti ma anche indiretti, attraverso quella che si dice "catena degli impatti", dovuta alla profonda interconnessione che esiste tra i diversi

settori e che spesso è stata trascurata, come bene ha messo in evidenza la pandemia da SARS-CoV-2. Questa connessione è più stringente nelle economie avanzate, che in qualche modo risultano più esposte agli effetti indiretti del cambiamento climatico. Pensiamo, ad esempio, all'incremento della frequenza e durata dei periodi di siccità, che determina situazioni di forte criticità per l'agricoltura, fino a causare vere e proprie carestie nelle zone del mondo dove la disponibilità di acqua è scarsa e dipendente dalle poche precipitazioni stagionali, e come questa situazione potrà gravare sulle popolazioni più povere fino a causare vere e proprie "migrazioni climatiche" che incideranno sulle dinamiche geopolitiche, ma anche sulle economie più sviluppate, dove aumenterà la competizione per l'utilizzo della risorsa, fino a generare dei veri conflitti. Oltre agli impatti indiretti, non bisogna dimenticare che la variazione di una medesima forzante climatica è in grado di determinare molteplici impatti: la mancanza di piogge, ad esempio, per lunghi periodi determina danni agli ecosistemi da cui esse dipendono, al patrimonio forestale e alla biodiversità vegetale e animale, diminuisce la quantità d'acqua dei fiumi e ne peggiora la qualità. Ma la siccità prolungata porta anche all'aumento degli incendi boschivi che, oltre a produrre impatti negativi sul patrimonio forestale ed emettere in atmosfera grandi quantità di gas climalteranti, quando avvengono in territori prossimi alle città, ne peggiorano la qualità dell'aria con episodi di inquinamento acuto che perdurano anche per diversi giorni. Un altro esempio di impatti molteplici dovuti a una sola forzante climatica e di impatti a catena consequenti, è quello dovuto all'aumento della frequenza, all'intensità e alla

durata delle ondate di caldo estivo, sul quale vi è una elevata confidenza scientifica. Nelle aree urbane le ondate di caldo determinano impatti importanti sulla salute e sulla mortalità delle persone più fragili, ma anche scarsità della risorsa idropotabile, diminuzione della portata e della qualità dei corsi d'acqua che attraversano le città, degradazione del verde pubblico, alterazione dei cicli produttivi, maggiore domanda di energia per il raffrescamento con possibili interruzioni e ritardi nell'erogazione dei servizi. Senza dimenticare le condizioni di disagio diffuse nella conduzione della vita ordinaria, la diminuzione della produttività, gli effetti negativi sul turismo, il minor utilizzo degli spazi pubblici e dei sistemi di trasporto collettivo. Un cambiamento di un unico parametro climatico può quindi generare diversi impatti e ognuno di questi ne può generare molti altri, a catena.

In parte per il diverso manifestarsi delle modificazioni del clima, ma soprattutto perché mediati da vulnerabilità, esposizione e resilienza, gli impatti di una medesima forzante climatica possono essere molto diversi da luogo a luogo. Si possono definire a **scala globale** quegli impatti che dipendono da grandi cambiamenti nella circolazione atmosferica e oceanica planetaria e coinvolgono l'intera criosfera, globale in questo caso è la forzante climatica, o quelli che hanno una probabilità di verificarsi in maniera più diffusa, in questo senso per globale si intende l'estensione del territorio coinvolto o, ancora, quelli che maggiormente influenzano la possibilità di raggiungere gli obiettivi dell'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite: in questo senso il termine globale ha un carattere ecosistemico, trans-settoriale, integrale, si tratta cioè di "*impatti con gravi implicazioni ambientali, sociali, economiche, distributive e politiche*", come afferma Papa Francesco nell'enciclica Laudato Si'.

Il V Rapporto di Valutazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change del 2014, sintetizza gli impatti globali con un'infografica (Figura 5) che rappresenta la distribuzione degli impatti del

cambiamento climatico sul sistema fisico, biologico e sulle attività umane.

Il Rapporto evidenzia gli impatti sul ciclo idrologico e sulla quantità e qualità delle acque dovuti ai cambiamenti nel regime delle precipitazioni e della fusione dei ghiacci e della neve, alla siccità e alle alluvioni, all'erosione costiera a causa dell'innalzamento del livello del mare, sugli ecosistemi terrestri e marini, sugli incendi boschivi, sulla produzione di cibo, salute, economia e benessere delle persone.

La severità di tali impatti è stimata essere più elevata in funzione dell'incremento della temperatura media globale, considerando impatti limitati o comunque gestibili con un riscaldamento a fine secolo limitato a 2°C. Con il superamento di questa soglia il Rapporto stima l'irreversibilità di molti impatti, un'estensiva perdita di biodiversità ed ecosistemi meno adattabili alle diverse condizioni, con un incremento della severità non lineare rispetto alla temperatura.

Il Rapporto Speciale dell'IPCC più recente "Global Warming of 1.5°C", oltre a confermare inequivocabilmente che stiamo già assistendo agli impatti negativi dei cambiamenti climatici, evidenzia alcune variazioni delle condizioni climatiche che stanno accelerando negli ultimi anni quali, ad esempio, temperature più elevate soprattutto sulle zone terrestri, un riscaldamento più che raddoppiato nell'Artico, un innalzamento del livello del mare e un aumento di eventi estremi - ondate di calore, precipitazioni intense e periodi di siccità - importanti in alcune zone del pianeta e analizza come questo potrà determinare un incremento della severità degli impatti che, il Rapporto afferma, dipenderanno dal tasso, dal picco e dalla durata del riscaldamento (Figura 6). Il documento approfondisce le differenze negli impatti che potranno verificarsi se il riscaldamento medio globale supererà, anche temporaneamente, i 2°C rispetto a 1,5°C.

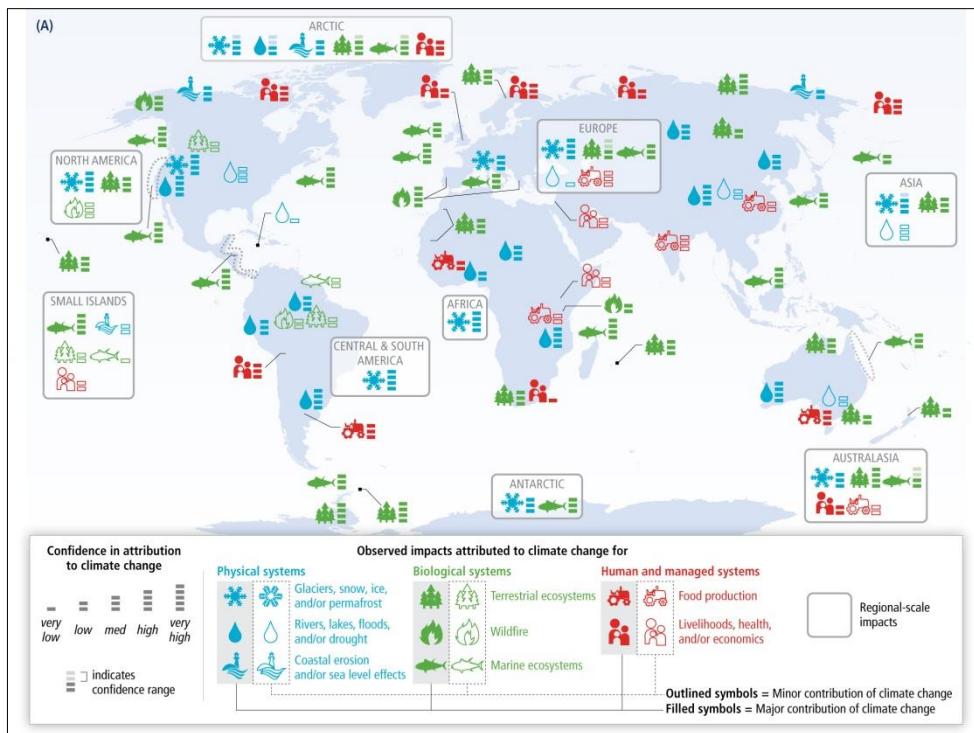


Figura 5 – Impatti diffusi in un mondo che cambia. Impatti globali degli ultimi decenni attribuiti ai cambiamenti climatici, basati su studi scientifici più recenti. I simboli indicano le categorie di impatti e sia lo spessore del simbolo, sia la scala a fianco il contributo attribuito al cambiamento climatico su una scala a 5 livelli, da molto basso a molto alto. Fonte: IPCC, 2014.

In particolare, gli impatti che dipendono fortemente da questa “piccola” variazione di temperatura a livello globale, ma con importanti variazioni regionali, sono:

- ondate di caldo e temperature estreme (alle medie latitudinali i giorni di caldo estremo avranno una temperatura di circa 3°C superiore a quella attuale con un riscaldamento globale di 1,5°C e di circa 4°C con un riscaldamento globale di 2°C);
- precipitazioni intense e conseguenti fenomeni alluvionali e/o precipitazioni scarse e siccità;

- innalzamento globale del livello del mare di 0,1 m in meno al 2100 limitando il riscaldamento a 1,5°C, che ridurrebbe l'esposizione di circa 10 milioni di persone ad impatti come l'intrusione di acqua salina, inondazioni e danni alle infrastrutture costiere, danni ai sistemi ecologici delle piccole isole e ai delta dei fiumi;
- perdita di biodiversità ed ecosistemi e conseguente aumento del numero di specie estinte (circa il 6,5% delle terre emerse sarà oggetto di una trasformazione degli ecosistemi con 1,5°C di riscaldamento globale, rispetto al 13% con 2°C, con una differenza nell'estensione

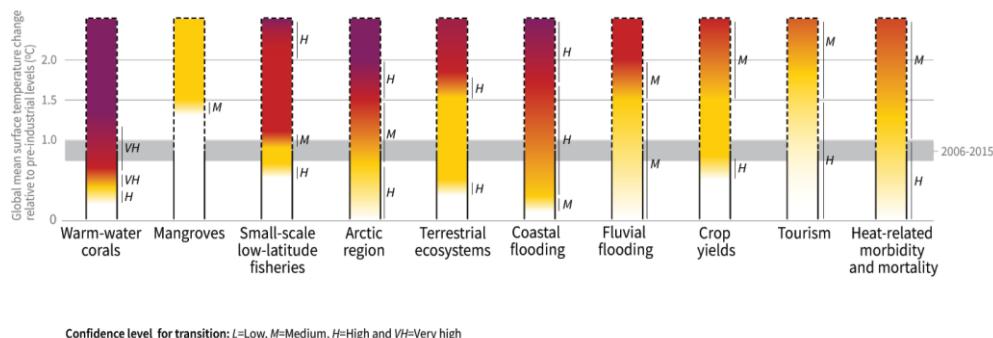
dell'impatto del 50%, inoltre delle 105000 specie considerate, il 9,6% degli insetti, l'8% delle piante e il 4% dei vertebrati perderanno metà del loro habitat per un riscaldamento globale di 1,5°C, comparate rispettivamente con il 18%, 16% e 8% per un riscaldamento di 2°C);

- incendi boschivi e diffusione delle specie invasive il cui incremento sarà più basso con un riscaldamento limitato a 1,5°C;
- l'acidificazione degli oceani e la diminuzione dei livelli di ossigeno, che determinano la perdita irreversibile di specie marine, con conseguenze per la pesca e l'acquacoltura sono ridotte con un riscaldamento limitato a 1,5°C (le barriere coralline diminuirebbero di un ulteriore 70-90%

con 1,5°C di riscaldamento e con perdite di oltre il 99% con 2°C);

- povertà e rischi per le popolazioni più vulnerabili, in particolar modo per le popolazioni indigene e le comunità dipendenti da agricoltura e pesca per la propria sussistenza; limitare il riscaldamento globale a 1,5 °C, rispetto a 2 °C, potrebbe ridurre il numero di persone esposte a rischi climatici e alla povertà fino a diverse centinaia milioni entro il 2050;
- mortalità e morbilità, soprattutto connesse alle ondate di calore, alla concentrazione di ozono e alla trasmissione di malattie da vettore;
- sicurezza alimentare, legata alla riduzione delle rese agricole, alla disponibilità idrica e alla produttività degli allevamenti.

#### Impacts and risks for selected natural, managed and human systems



Confidence level for transition: L=Low, M=Medium, H=High and VH=Very high

Figura 6 – Impatti e rischi per i sistemi naturali e antropici in funzione dell'incremento della temperatura media globale atteso a fine secolo (sulle ordinate). Il viola indica un livello di rischio molto alto con carattere di persistenza e presenza di irreversibilità significativa, il rosso indica impatti e rischi gravi e diffusi, il giallo indica che gli impatti e i rischi sono rilevabili e attribuibili al clima e il bianco indica che non ci sono impatti rilevabili attribuibili al clima. Gli impatti indicati sono esemplificativi e non esaustivi. Le sigle nel grafico (VH: Very High, H: High, M: Medium) indicano il grado di confidenza della transizione tra diversi livelli di impatto. Fonte: IPCC, 2018.

Interessante è leggere gli impatti del cambiamento climatico dal punto di vista della capacità di raggiungere i 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (*Sustainable Development Goals, SDG*) (Figura 7), declinati nei 169 target, da conseguire al 2030. Un recente lavoro di revisione e valutazione strutturata di

esperti evidenzia come il cambiamento climatico possa impedire il raggiungimento di ben 72 target attraverso i 16 SDG (il 42% dei target), mentre la lotta al cambiamento climatico può contribuire a rafforzare tutti e 17 gli SDG.

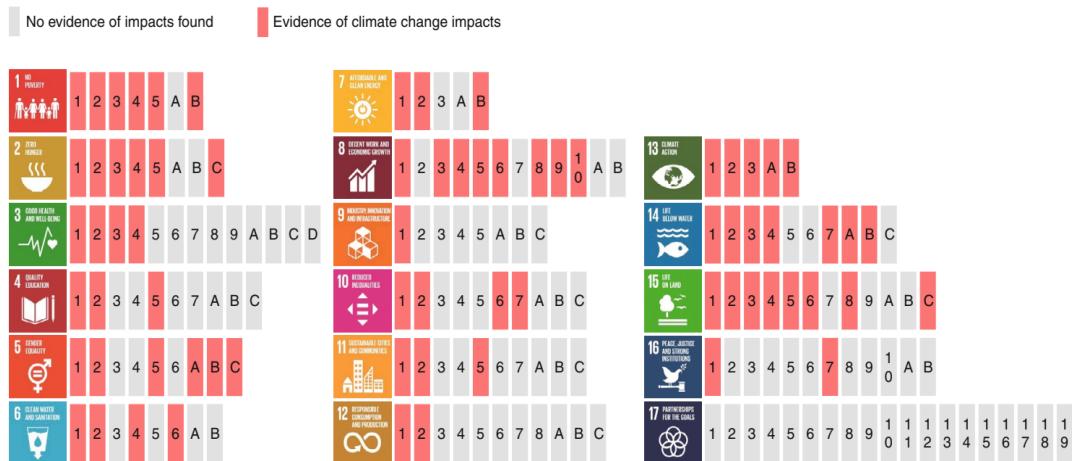


Figura 7 - Indicazione dell'evidenza dell'impatto del cambiamento climatico sui target degli SDG come risultato di una valutazione esperta.

Fonte: Fuso Nerini et al, 2019.

In particolare, lo studio evidenzia come gli impatti del cambiamento climatico influenzeranno il raggiungimento degli obiettivi relativi al benessere materiale e fisico, come la prosperità e il welfare, l'eliminazione della povertà e l'occupazione, il cibo, l'energia, la disponibilità di acqua e la salute. Fra gli impatti più rilevanti quelli relativi alla salute dovuti all'incremento delle malattie da vettori e ai rischi associati agli eventi naturali, ma anche alla minore disponibilità di acqua che potrà avere ricadute importanti sulla salute a causa della scarsità idropotabile e delle condizioni igieniche. Malnutrizione e perdita di mezzi di sussistenza e

prosperità sono amplificati dagli impatti del cambiamento climatico sulla produttività dei terreni agricoli. Ma le conseguenze del cambiamento climatico indeboliscono anche gli sforzi per ottenere giustizia e uguaglianza in tutto il mondo. Ci sono evidenze che il cambiamento climatico agisca sui più poveri e i più vulnerabili, sia all'interno dei paesi sia in modo trasversale, esacerbando le diseguaglianze e creando un ostacolo alla riduzione della povertà.

Gli impatti indotti dal cambiamento climatico sulle risorse naturali, come ad esempio quelli sulla riserva idrica, sulle coltivazioni agricole o su altre risorse biotiche, possono amplificare la competizione e i conflitti, minacciando la pace e l'inclusività delle società, nonché la giustizia sociale o diventare elementi che guidano gli spostamenti delle persone e le migrazioni di massa. Il cambiamento climatico rischia di amplificare le disuguaglianze di genere, soprattutto per quanto riguarda le opportunità di istruzione o di lavoro femminile, e determinare l'incremento della vulnerabilità rispetto alla violenza domestica a causa dell'alterazione dei rapporti di potere all'interno della famiglia. In generale, la disparità di accesso alle risorse economiche aumenta la vulnerabilità delle donne agli impatti del cambiamento climatico. Un altro aspetto importante riguarda gli ecosistemi e i relativi servizi ecosistemici: quelli marini risultano fortemente minacciati dall'incremento della temperatura e dall'acidificazione degli oceani, mentre quelli terrestri subiscono la modifica degli ambienti montani, la desertificazione, la perdita di habitat, l'invasione di specie aliene e altre tipologie di stress climatico. Le differenze degli impatti del cambiamento climatico in aree diverse, a livello nazionale o sub-nazionale, alterano inoltre le relazioni geopolitiche, peggiorando le potenzialità di sviluppo cooperativo.

## 5.2. LIVELLO NAZIONALE

A livello nazionale gli impatti del cambiamento climatico rischiano di essere amplificati in termini sia di pericolosità sia di vulnerabilità. L'area mediterranea e quella alpina rappresentano infatti due *hot-spot* dei cambiamenti climatici, soggetti alle variazioni più intense e veloci, soprattutto nei regimi termo-pluviometrici. Gli elementi peculiari di vulnerabilità del nostro paese sono per esempio: la fragilità del territorio rispetto al rischio idrogeologico; l'elevata densità abitativa; la struttura demografica della popolazione, la cui età media si è innalzata di 2 anni negli ultimi 10 e l'indice di vecchiaia (dato dal

rapporto tra la popolazione di 65 anni e più e quella con meno di 15 anni) è notevolmente aumentato (dal 148,7% nel 2001 a quasi il 180% del 2019); la vetustà delle infrastrutture che negli ultimi venti anni non sono state oggetto di investimenti e manutenzioni adeguate; la presenza di zone ad elevato inquinamento atmosferico, come nel caso della Pianura Padana le cui caratteristiche meteo-climatiche favoriscono l'accumulo degli inquinanti; la diffusa abitudine alla mobilità individuale e al trasporto su gomma.

Sulle Alpi gli impatti del cambiamento climatico sono amplificati dal contesto geografico ed economico, dove il territorio è caratterizzato dalla stretta prossimità di rilievi e vallate in cui si concentrano le attività umane. L'elevata variabilità climatica in ambiente alpino determina impatti molto locali e diversificati. Per questa ragione, oltre alle evidenti implicazioni gestionali legate all'adattamento ai cambiamenti climatici, le Alpi rappresentano un laboratorio unico per la conoscenza dei futuri impatti di tali cambiamenti a livello globale. I cambiamenti climatici modificano le caratteristiche della montagna e dell'ambiente naturale, con conseguenti impatti anche sulle attività umane. Diversi impatti sono già osservabili a partire dagli ultimi 20-30 anni con un'accelerazione significativa nell'ultimo decennio. Gli effetti dei cambiamenti climatici più evidenti, sia osservati che futuri, nelle Alpi riguardano la criosfera, in termini di ritiro dei ghiacciai, riduzione della durata della copertura nevosa al suolo, degradazione del permafrost con conseguente destabilizzazione delle pareti rocciose; la biosfera con la riduzione della biodiversità, lo spostamento di flora e fauna verso quote maggiori, la scomparsa di specie alpine, l'impatto sulla capacità degli ecosistemi di assorbire carbonio, l'aumento della vulnerabilità agli incendi boschivi, l'impatto sull'ecologia degli ecosistemi adattati a climi freddi, le attività socio-economiche (aumento delle portate dei torrenti in inverno e primavera e riduzione del bilancio idrico estivo, impatti negativi sulla produttività delle colture,

aumento dei giorni tropicali, impatti sul turismo invernale). Gli impatti dei cambiamenti climatici in montagna sono inoltre esacerbati dal contesto geografico ed economico caratterizzato per le sue valli dinamiche e abitate e dalle quote elevate. Poiché le montagne sono così ripide, le comunità locali non sono solo economicamente e socialmente legate all'alta montagna, ma ne sono anche geograficamente a stretto contatto. Il risultato è che i cambiamenti negli ambienti naturali di alta montagna comportano anche dei rischi diretti per le attività umane.

Più in generale, flora e fauna degli ecosistemi terrestri italiani sono già soggette a variazioni, a causa dell'aumento della temperatura media e della variazione del ciclo idrologico: alterazione della fisiologia e del comportamento, del ciclo vitale e del calendario fenologico di animali e piante, delle date di migrazioni di uccelli e delle interazioni delle specie nelle comunità ecologiche, sono già osservabili. Nel lungo periodo il rischio è probabilmente destinato ad aumentare, portando a un possibile declino delle popolazioni, a modifiche sostanziali negli areali di distribuzione, fino alla perdita di habitat e delle specie in essi attualmente ospitate.

In particolare, anche le funzionalità (es. produttiva) e i servizi ecosistemici (tutela delle infrastrutture e degli insediamenti, tutela idrogeologica, mitigazione, conservazione del paesaggio e della biodiversità) offerti dal grande patrimonio forestale italiano sono a rischio per gli effetti diretti e indiretti dei cambiamenti del clima. Oltre alle modifiche, sia altitudinali che latitudinali, nella distribuzione delle specie verso zone più fredde, sono documentabili l'alterazione dei livelli di crescita e di produttività, e di particolare preoccupazione sono gli effetti degli incendi boschivi, delle tempeste di vento e dei patogeni. Si stima che il rischio da incendi boschivi sia destinato ad aumentare con il riscaldamento globale, sia per l'aumento delle temperature e la scarsità di precipitazioni in alcuni periodi dell'anno, che favoriscono il disseccamento del sottobosco e

l'alterazione dell'umidità della lettiera e dei suoli, sia per l'incremento della ventosità che ne favorisce la propagazione. Concause derivate dalla mancata gestione del bosco e dallo spopolamento delle aree rurali montane favoriscono il loro sviluppo, così come i comportamenti individuali che devono essere adeguati al clima che cambia.

Gli insediamenti urbani italiani sono da considerarsi zone particolarmente a rischio, non solo per il numero di persone residenti, potenzialmente esposte a eventuali avversità climatiche, ma anche per l'elevato patrimonio culturale che li contraddistingue e per i servizi che rendono a territori molto più ampi. L'elevata esposizione della popolazione a rischi di natura idraulica e idrogeologica è aumentata a seguito di scelte di pianificazione urbana che hanno aumentato la vulnerabilità del territorio, tramite per esempio la tombatura dei corsi d'acqua, e l'aumento degli eventi meteorici estremi. L'impatto del riscaldamento e della maggiore frequenza di eventi di caldo intenso sulla salute sono già misurabili, in particolare proprio in ambiente urbano, dove l'effetto "isola di calore" incrementa ulteriormente l'esposizione. L'incremento della frequenza, durata e intensità delle ondate di caldo estive nel nuovo millennio determina un aumento della mortalità e della morbilità delle persone più fragili, con minore protezione sociale o risorse economiche e, di conseguenza, un incremento degli interventi del sistema sanitario. L'Agenzia Europea per l'Ambiente stima che delle vittime per eventi climatici o meteorologici più del 65% sia dovuto alle ondate di caldo. Altri aspetti connessi alla salute riguardano l'incremento dell'incidenza delle allergopatie, a causa dell'allungamento della stagione pollinica e dei picchi anticipati e fuori stagione, così come l'aumento delle malattie da vettore e la loro diffusione anche in zone non interessate fino a oggi (malaria, febbre gialla, dengue, chikungunya, Zika), il cui ciclo di vita e la capacità riproduttiva sono influenzate positivamente dal cambiamento climatico. La risposta del sistema sanitario potrebbe non essere pronta ed efficace,

soprattutto se si verificassero gli scenari più estremi di riscaldamento, che potrebbero favorire cambiamenti repentini e irreversibili del clima.

Il riscaldamento medio del nostro paese nelle stagioni estive e invernali sta portando come conseguenza generale nel settore energetico rispettivamente a una lieve diminuzione dei fabbisogni di riscaldamento invernale e a un più marcato aumento dei fabbisogni di raffrescamento estivo. La richiesta netta di energia elettrica è in aumento, anche per la progressiva sostituzione degli impianti termici con pompe di calore. Un aspetto che sarà da valutare, anche per le politiche di mitigazione, è l'impatto della variabilità climatica delle precipitazioni sulla produzione idroelettrica. Uno dei settori cruciali che subisce già impatti significativi in Italia è infatti quello delle risorse idriche, in termini sia di qualità sia di quantità. L'acqua sarà sempre meno disponibile, in particolare nelle aree mediterranee, e dovranno essere individuati politiche per garantire la risorsa idrica ai vari settori concorrenti e agli ecosistemi, limitando i conflitti socio-economici e politici, e dovranno adottarsi tecnologie per il risparmio idrico. Le variazioni osservate di temperatura, evapotraspirazione e precipitazioni, soprattutto nel periodo estivo, stanno già avendo conseguenze sul ciclo idrologico, con riduzione della risorsa idrica superficiale e sotterranea, con numerosi episodi di siccità meteorologica, idrologica, agricola e ingenti danni economici. Tali variazioni, unite alle caratteristiche geografiche del nostro paese, conducono a una sempre più disomogenea disponibilità idrica. I bassi livelli di efficienza gestionale che si riscontrano in alcune aree determinano un'elevata vulnerabilità del settore, aumentando il rischio. Anche la qualità delle acque risentirà nel futuro di un deterioramento, a causa per esempio di fenomeni di eutrofizzazione o della variazione del contenuto di ossigeno, con conseguenze sui sistemi naturali e antropici. L'aumento degli eventi estremi di precipitazione e della loro intensità, favorendo il regime torrentizio dei

fiumi, sarà un fattore determinante anche per il rischio idrogeologico che per il nostro paese rappresenta un elemento di criticità molto rilevante. I fenomeni di dissesto saranno favoriti dal progressivo riscaldamento degli ambienti montani e dalla degradazione del permafrost, della copertura nevosa e dei ghiacciai. Anche in questo caso, la vulnerabilità del nostro territorio a questi fenomeni, aumentata nel corso dei passati decenni a seguito dell'intensa attività di urbanizzazione e di scelte di gestione non adeguate, contribuisce ad aumentare il rischio e sarà necessario impegnare ingenti risorse per diminuire l'impatto previsto.

Uno dei settori economici che maggiormente sta risentendo delle modifiche del clima e della variabilità climatica è l'agricoltura. Sebbene la valutazione degli impatti, in particolare la loro evoluzione futura, abbia un certo margine d'incertezza per la difficoltà di discriminare gli aspetti sociali, socio-produttivi, tecnologici, economici e finanziari, si può affermare con relativa certezza che la risorsa idrica, anche in agricoltura, sia in diminuzione, con conseguente impatto economico per la maggiore richiesta irrigua. Sono sempre più frequenti gli episodi di siccità agricola in diverse regioni del paese, con gravi perdite produttive e danni economici. La progressiva riduzione dell'acqua nel suolo potrà portare in futuro a un incremento del rischio di degrado del suolo stesso, fino ed eventuale desertificazione. I danni da fenomeni estremi di caldo (es. scottature), di forte vento, di grandine, e quelli da eventi alluvionali saranno probabilmente sempre più rilevanti e richiederanno un sempre maggiore adattamento al nuovo clima, in termini di tecniche agronomiche e coperture assicurative. Anche il rischio da gelate tardive, nonostante il riscaldamento, sembra stabile, se non in aumento, a causa degli inverni sempre più miti che portano a un risveglio vegetativo più precoce, come accaduto negli ultimi anni in ambito padano, dove la produzione frutticola è stata sovente compromessa. Anche se alcuni effetti netti non sono ancora chiari (es. effetto della concentrazione di CO<sub>2</sub>

sulla trascrizione), le future produzioni per alcune colture potranno essere destinate a subire un decremento in termini quantitativi e qualitativi. Ne risentiranno diverse filiere agro-alimentari e subiranno conseguenze i prodotti di qualità tipici del nostro Paese (prodotti DOP, IGP, IGT). Per quanto riguarda la zootecnia, temperature più elevate stanno avendo e avranno in futuro un impatto negativo sul benessere e la produttività animale.

Particolarmente a rischio sono altresì le aree semi-aride della zona mediterranea del nostro paese, per le quali la scarsità idrica e in alcuni casi la sua non adeguata gestione, porta a situazioni di particolare fragilità. In tali aree permane alto, anzi si intensificherà, il rischio di desertificazione e di degrado del suolo, a causa dell'alternarsi di periodi di intensa siccità e di eventi meteorici estremi. Sicilia, Sardegna, Puglia, Molise, Basilicata, Marche ed Emilia-Romagna sono le zone che presentano una percentuale di territorio superiore alla media per quanto riguarda la sensibilità alla desertificazione. L'alternarsi di eventi intensi e di siccità contribuiranno al progressivo deterioramento dello strato più fertile del suolo, rendendo più intensa l'azione dei processi erosivi, di salinizzazione e di perdita di sostanza organica. Nel lungo periodo si potrà assistere a una riduzione delle produzioni agrarie, della produzione di biomassa dei pascoli e delle foreste, e ad un aumento dell'abbandono delle terre.

Data la conformazione del nostro territorio, i settori antropici e naturali legati al mare sono di particolare rilevanza. L'incremento previsto del livello medio marino, causato dalla fusione del ghiaccio terrestre, dall'espansione termica delle masse oceaniche e dalla subsidenza, fenomeno particolarmente intenso in alcune zone del nostro paese, e l'aumentata esposizione alle inondazioni delle zone costiere potranno avere conseguenze sugli insediamenti, sulle infrastrutture e sugli habitat. L'intrusione progressiva di acqua salina nell'entroterra avrà conseguenze negative sulla produzione agricola. Già numerose sono le specie aliene tropicali che hanno trovato nuove condizioni favorevoli nei nostri mari, con conseguenze sulla struttura degli ecosistemi marini. Temperatura e acidità dei nostri mari, come di tutto il Mediterraneo, sono in aumento, mentre è in diminuzione il contenuto di ossigeno, con implicazioni sulla circolazione oceanica, sui cicli biogeochimici e sulla biodiversità marina. Tali effetti saranno in futuro particolarmente evidenti in un bacino semi-chiuso come il Mediterraneo, con ricadute in termini economici e produttivi su settori come la pesca, l'acquacoltura e il turismo.

# 6. INDICATORI NAZIONALI E CASI PILOTA REGIONALI SVILUPPATI IN AMBITO SNPA

## 6.1. INTRODUZIONE

I capitoli che seguono illustrano le “schede impatto-indicatore” realizzate nell’ambito dell’attività del Sottogruppo Operativo SNPA V/03-02 “Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici” nel biennio 2019-2020 per ciascun settore di impatto dei cambiamenti climatici già individuato da SNAC per il quale sia attualmente disponibile almeno un indicatore nazionale o sia stato sviluppato un caso pilota regionale all’interno del Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente (Castellari et al, 2014a; Castellari et al, 2014b; MATTM, 2018).

Ad ogni settore di impatto sono stati attribuiti un colore e un sigla, come mostrato in Tabella 1.

Tabella 1 – Settori d’impatto, colorazioni e sigle

SETTORI	SIGLA
Risorse idriche	Ri
Suolo e territorio	St
Ecosistemi terrestri	Et
Ecosistemi marini	Em
Ambiente alpino e appenninico	Aa
Zone costiere	Zc
Salute	Sa
Foreste	Fo
Agricoltura e produzione alimentare	Ag
Pesca	Pe
Energia	En
Insiemi urbani	Iu
Patrimonio culturale	Pc

La Tabella 2 riporta l’elenco degli indicatori sviluppati a livello nazionale: nella colonna “Settori” sono illustrati i settori di prioritario riferimento per ciascun impatto (casella colorata e sigla in bianco) e i settori ulteriormente interessati dall’impatto (casella bianca e sigla colorata), nella colonna “Impatti” sono

enumerati gli impatti selezionati da SNAC e/o PNACC e, infine, nella colonna “Indicatori” sono elencati gli indicatori utilizzati in ambito SNPA per il monitoraggio di fenomeni determinati e/o potenzialmente accelerati/modificati dal cambiamento del clima.

Il sistema di indicatori qui presentato, costituito in totale da 50 tra indicatori nazionali (20) e casi pilota regionali (30), copre parzialmente gli impatti individuati in ambito SNAC e PNACC, non essendo attualmente disponibili in ambito SNPA indicatori su tutti i settori di impatto descritti nei documenti citati: esso non va pertanto considerato come un set esaustivo ai fini della definizione di un quadro completo sugli impatti dei cambiamenti climatici a livello nazionale (Castellari et al, 2014a; Castellari et al, 2014b; MATTM, 2018).

È importante evidenziare, inoltre, come gli indicatori illustrati non presentino caratteristiche di omogeneità fra di loro né in termini di copertura spaziale o temporale, né di aggiornamento rispetto all’anno di pubblicazione di questo Rapporto: si tratta quindi di indicatori caratterizzati, in taluni casi, da alcune limitazioni segnalate nella scheda impatto-indicatore alla voce “*Limitazioni e possibili azioni*” che vanno attentamente tenute in considerazione per una corretta interpretazione del fenomeno e auspicabilmente superate attraverso le azioni indicate.

Tabella 2 – Indicatori di impatto dei cambiamenti climatici a livello nazionale

SETTORI	POTENZIALE IMPATTO	INDICATORI
Ri St Ag Sa	Modifica del ciclo idrologico	Indice di Runoff
Ri St Sa	Modifica della disponibilità delle risorse idriche rinnovabili	Internal Flow
Ri Aa St Ag	Variazione della disponibilità di risorsa idrica sotterranea	Livello delle falde acquifere
St Ag	Variazione dell'erosione idrica del suolo	Erosione idrica del suolo
St lu Sa	Modifica di frequenza e distribuzione spaziale degli eventi franosi	Eventi franosi principali
Et	Peggioramento dello stato di conservazione degli uccelli migratori	Indice di variazione della data di migrazione primaverile
Et	Peggioramento delle condizioni fisiche degli uccelli durante la migrazione primaverile	Indice di consistenza degli accumuli di grasso durante la migrazione primaverile
Em Zc Pe	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici	Temperatura superficiale del mare
Aa Ri lu Et St	Variazione della massa glaciale	Bilancio di massa dei ghiacciai
Zc Ri St lu Sa	Variazione della frequenza di condizioni di mare agitato	Frequenza di condizioni di mare agitato
Zc Ri St lu Et Pc	Variazione del livello medio del mare	Livello medio del mare
Zc Em lu	Cambiamenti geomorfologici delle zone costiere	Variazioni geomorfologiche della costa
Zc Em lu Sa	Inquinamenti di breve durata nelle acque di balneazione	Numero di eventi di inquinamento di breve durata

SETTORI	POTENZIALE IMPATTO	INDICATORI
Zc Em lu Sa	Fioriture microalgali in acque marino-costiere	Concentrazione di Ostreopsis ovata
Fo St Et lu Sa	Variazione di frequenza, intensità e potenziale degli incendi boschivi	Incendi boschivi
Pe Em	Cambiamento di areale di distribuzione di specie target della pesca	Temperatura media delle catture commerciali
En lu	Variazione della produzione di energia idroelettrica	Produzione lorda di energia idroelettrica
En lu	Modifica dei consumi energetici	Gradiente del consumo per riscaldamento di gas naturale
lu Ri St Sa Pc	Fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana	Numero di eventi alluvionali e di allagamento
Pc lu	Degrado dei materiali lapidei	Recessione superficiale

Alcuni indicatori nazionali, in particolare, come l'*"Erosione idrica del suolo"*, lo *"Stato dell'habitat coralligeno"*, il *"Numero di eventi di inquinamento di breve durata"* o la *"Recessione superficiale"* pur presentando una copertura temporale (1-5 anni) certamente non sufficiente ai fini di una valutazione di lungo termine, sono stati comunque considerati prioritari e inseriti nel sistema di indicatori: essi vanno quindi interpretati nella consapevolezza di questo limite, ma pur sempre considerati rappresentativi di fenomeni che potrebbero essere modificati e/o accelerati dal cambiamento climatico e che quindi richiederanno un monitoraggio nel tempo. Sono presenti, infine, alcuni indicatori cosiddetti *proxy*, come ad esempio, l'*"Indice meteorologico di pericolo di incendio"*, *"Gradi giorni di raffrescamento"* o *"Gradi giorno di riscaldamento"*, esclusivamente basati su variabili climatiche ma inclusi nel Rapporto per la loro significatività rispetto agli impatti dei cambiamenti climatici cui afferiscono.

La Tabella 3 riporta l'elenco dei casi pilota regionali realizzati da ISPRA (caso di Venezia) e dalle ARPA.

Tabella 3 – Casi pilota regionali

SETTORI	POTENZIALE IMPATTO	INDICATORI
Ri St Ag Sa Ri St Ag Sa	Modifica del idrologico	Numero annuo di portate sopra soglia (Liguria)
Ri St Ag Sa		Curva di durata delle portate (Liguria)
Ri St Ag		Variazione di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche (Sardegna)
St Ag Ri		Variazione della capacità erosiva delle precipitazioni (Veneto)
St Ag Et		Variazione spazio-temporale del contenuto idrico del suolo (Calabria)
Et Aa St Fo Ag		Modifica del ciclo vitale
Et Fo		Aumento del rischio di siccità negli ambienti naturali (Friuli Venezia Giulia)
Em Zc Pe		Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (scambi di calore) (Calabria, Friuli Venezia Giulia, Liguria)
Em Zc Pe		Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto di acque dolci) (Calabria, Friuli Venezia Giulia, Liguria)
Em Zc Pe		Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine (Friuli Venezia Giulia)
Aa Ri Iu Et St Aa	Variazione della massa glaciale	Bilancio di massa dei ghiacciai (Valle d'Aosta, Lombardia)
Aa		Degradazione del Stato termico del

SETTORI	POTENZIALE IMPATTO	INDICATORI
Ri St Zc Ri St Ag Sa	Variazione del livello medio del mare	permafrost (Valle d'Aosta, Piemonte)
Ri St Iu Et Pc		Livello medio del mare a Venezia (ISPRA)
Zc Em Sa Iu Sa		Perdita di biodiversità dell'habitat coralligeno
Iu Sa		Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Aedes albopictus</i> )
Sa Iu Sa		Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Culex Pipiens</i> ) (Emilia-Romagna)
Iu Sa	Variazione di frequenza, intensità e potenziale degli incendi boschivi	Media regionale mensile delle zanzare <i>Culex Pipiens</i> (Emilia-Romagna)
Iu Sa		Mortalità estiva per ondate di caldo
Fo St Et Iu Sa Fo St Et Iu Sa Ag Ri St En Iu En Iu En Iu En Iu		Incendi boschivi (Lombardia)
Ag Ri St En Iu En Iu En Iu En Iu		Indice meteorologico di pericolo d'incendio (Proxy) - (Piemonte)
Ag Ri St En Iu En Iu En Iu En Iu		Aumento del rischio di siccità agricola
En Iu En Iu En Iu En Iu		Deficit traspirativo (Emilia-Romagna)
En Iu En Iu En Iu En Iu		Gradi giorno di raffrescamento (Proxy) (Piemonte)
En Iu En Iu En Iu En Iu		Gradi giorno di riscaldamento (Proxy) (Piemonte)
En Iu En Iu En Iu En Iu		Consumi di energia elettrica nel mese di Luglio (Lombardia)
En Iu En Iu En Iu En Iu		Consumi di gas naturale nel settore residenziale (Lombardia)

Per quanto riguarda la relazione causa-effetto tra le variabili climatiche e il singolo impatto chiave, va considerato che essa viene definita "elevata" quando

i fenomeni analizzati siano significativamente correlati a fattori climatici come nel caso, ad esempio, della variazione della massa glaciale, dell'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici del mare, ecc. Viene attribuita, invece, una relazione causa-effetto "media" quando gli eventi risultino dalla combinazione sia di fattori climatici sia di altro tipo quali, ad esempio, uso del territorio, urbanizzazione, sovrasfruttamento delle risorse, come nel caso dei fenomeni alluvionali e di allagamento o della modifica della frequenza e distribuzione spaziale degli eventi franosi, ecc. Oltre a perseguire l'osservazione continua dei primi, necessaria a comporre un quadro conoscitivo sempre più solido sulle conseguenze dei cambiamenti climatici sul nostro territorio, è altresì indispensabile rafforzare la comprensione dei secondi al fine di confermare o meno il potenziale ruolo del cambiamento climatico nel causarne l'origine o esacerbarne l'evoluzione. Solo dall'osservazione e dalla conoscenza dei fenomeni in atto sarà possibile, infatti, sviluppare la capacità previsionale necessaria all'implementazione di adeguate misure di adattamento ai cambiamenti climatici.

Se gli indicatori nazionali sono il risultato di elaborazioni metodologiche perlopiù già standardizzate a questa scala, i casi pilota regionali vanno intesi come applicazioni a titolo esemplificativo su specifiche realtà territoriali, con l'auspicio che essi possano essere estesi nel futuro al livello nazionale ma anche replicati su altri territori regionali.

Nei casi in cui siano presenti sia indicatori nazionali che casi pilota regionali, come accade ad esempio per "Temperatura superficiale del mare" (indicatore nazionale e casi pilota su Calabria, Friuli Venezia Giulia e Liguria), "Salinità superficiale del mare (casi pilota su Calabria, Friuli Venezia Giulia e Liguria)", "Bilancio di massa dei ghiacciai" (indicatore nazionale e casi pilota su Valle d'Aosta e Lombardia), "Livello medio del mare" (indicatore nazionale e indicatore su Venezia) e "Incendi boschivi" (indicatore nazionale, casi pilota su Lombardia e Piemonte), sono stati

proposti gli approcci metodologici con cui essi vengono attualmente elaborati nelle differenti realtà, rendendo conto della molteplicità dei metodi di elaborazione dei dati ma anche della necessità di convergere - laddove possibile - su un unico percorso metodologico condiviso per consentire la comparabilità dei risultati.

Quanto illustrato nel Rapporto rappresenta quindi solo un primo passo verso la definizione del necessario sistema di indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, tanto auspicato anche dalla SNAC e dal PNACC, quali strumenti indispensabili per una migliore conoscenza delle conseguenze dei cambiamenti climatici in atto sui sistemi naturali e sui settori socio-economici del nostro Paese.

## 6.2. LA SCHEDA IMPATTO-INDICATORE

Ai fini della rappresentazione delle informazioni caratterizzanti i potenziali impatti dei cambiamenti climatici e i relativi indicatori nazionali o casi pilota regionali, è stato realizzato un apposito formato denominato "scheda impatto-indicatore", articolato su due differenti sezioni: la prima è relativa alla descrizione del potenziale impatto dei cambiamenti climatici (Figura 8) mentre la seconda afferisce all'indicatore nazionale o al caso pilota regionale (Figura 9 e Figura 10).

La sezione "Impatto" rappresenta il primo livello informativo e viene caratterizzata da una colorazione più intensa. Essa ha lo scopo di fornire le informazioni utili a contestualizzare l'impatto in funzione del settore cui appartiene, caratterizzare i fattori climatici (*fattori climatici*) e non (*altri fattori*) che contribuiscono a determinarlo, connotare l'impatto in termini di danno o perdita arreccata (*impatto negativo*) o di eventuali opportunità fornite (*impatto positivo*) e, ancora, descrivere se esso deriva dall'esposizione diretta ai fattori climatici (*impatto diretto*) o se è mediato da fattori non-climatici a loro volta conseguenza di fattori climatici (*impatto indiretto*).

Per completare gli elementi funzionali alla caratterizzazione dell'impatto dei cambiamenti climatici, viene descritta la relazione causa-effetto tra le variabili climatiche e l'impatto stesso in funzione di quanto quest'ultimo sia considerato effettiva conseguenza di uno o più fattori di tipo climatico (*relazione elevata*) o di una combinazione di fattori sia climatici che non (*relazione moderata*).

DENOMINAZIONE DELL'IMPATTO	
Fattori climatici Descrizione dei fattori climatici che contribuiscono a/determinano l'impatto	
Altri fattori Descrizione degli eventuali fattori non climatici che contribuiscono a/determinano l'impatto	
Caratterizzazione impatto Caratterizzazione dell'impatto a seconda che sia:	
Diretto (deriva dall'esposizione diretta ai fattori climatici) 	
Indiretto (l'impatto è mediato da fattori non-climatici a loro volta conseguenza di fattori climatici) 	
Positivo (opportunità) 	
Negativo (possibile danno, perdita di risorsa, perdita di vita umana, ecc.) 	
Relazione causa-effetto Descrizione della relazione causa-effetto tra variabili climatiche e l'impatto, basata su letteratura o documentazione scientifica.	<ul style="list-style-type: none"> <li> Negativo</li> <li> Positivo</li> <li> Stabile</li> <li> Non definibile</li> </ul>
PRINCIPALE SETTORE DI RIFERIMENTO	
Altri settori interessati:  Soglia e colorazione del settore	

Figura 8 – Sezione “Impatto” della scheda impatto-indicatore

In questa prima parte della scheda vengono infine illustrati, a partire dalla letteratura scientifica disponibile, uno o più possibili scenari futuri (*scenario futuro*) che delineano come potrebbe evolvere l'impatto nei prossimi decenni, senza tenere in considerazione l'azione svolta dall'eventuale adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici.

Nella fascia colorata in basso a sinistra viene indicato il “principale settore di riferimento” cui afferisce l'impatto, mentre a destra in corrispondenza di “altri settori interessati” vengono rappresentati, attraverso le relative colorazioni e sigle, gli ulteriori settori potenzialmente interessati dall'impatto.

In Tabella 4 viene riportata la simbologia utilizzata in questa sezione della scheda.

Tabella 4 – Simbologia utilizzata nella sezione “Impatto” all'interno della scheda impatto-indicatore per la caratterizzazione del potenziale impatto e dello scenario futuro

	<b>Impatto diretto:</b> impatto che deriva dall'esposizione diretta di un sistema ai fattori climatici
	<b>Impatto indiretto:</b> impatto mediato da fattori climatici a loro volta conseguenza dell'esposizione a fattori climatici
	<b>Impatto positivo:</b> impatto associato ad un'opportunità favorevole
	<b>Impatto negativo:</b> impatto associato ad un possibile danno, perdita di risorsa, alterazione di un ecosistema, peggioramento delle condizioni di salute, ecc.
	<b>Relazione causa-effetto elevata:</b> l'impatto è considerato effettiva conseguenza di uno o più fattori climatici
	<b>Relazione causa-effetto media:</b> l'impatto è considerato la conseguenza di vari fattori sia di tipo climatico che di tipo non climatico
	<b>Scenario positivo:</b> si prevede un miglioramento dell'impatto
	<b>Scenario negativo:</b> si prevede un peggioramento dell'impatto
	<b>Scenario stabile:</b> non si prevede un cambiamento dell'impatto
	<b>Scenario non definibile:</b> non è possibile attualmente prevedere l'evoluzione dell'impatto

La sezione “Indicatore” della scheda impatto-indicatore (Figura 9 e Figura 10) riporta la denominazione dell'indicatore nella parte a sinistra della fascia colorata, mentre a destra viene

rappresentata la tipologia di indicatore, attraverso un'apposita icona: Italia interamente colorata per l'indicatore nazionale o icona con la regione colorata per il caso pilota regionale (Tabella 5).

Indicatore	DENOMINAZIONE DELL'INDICATORE	Icona nazionale o regionale																								
Numeri e messaggi chiave <i>Descrizione dei principali numeri e messaggi considerati chiave per l'interpretazione dell'indicatore.</i>																										
Indicazione dei criteri utilizzati per la selezione																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Criteri di selezione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Rilevanza - utilità</td> </tr> <tr> <td>Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale</td> </tr> <tr> <td>Descrivere il trend in atto</td> </tr> <tr> <td>e i revolvers della situazione ambientale</td> </tr> <tr> <td>Semplice e facile da interpretare</td> </tr> <tr> <td>Senibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collettivo normativo e strategico</td> </tr> <tr> <td>Rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposta della società, collettivi normali e strutturali</td> </tr> <tr> <td>Fornisce una base per confronti a livello internazionale</td> </tr> <tr> <td>Ha una soglia o un valore di riferimento: con il quale poter confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività</td> </tr> <tr> <td>Misurabilità</td> </tr> <tr> <td>Documentato e di qualità nota (accessibilità)</td> </tr> <tr> <td>Aggiornato secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)</td> </tr> <tr> <td>Disponibile su un rapporto costituente</td> </tr> <tr> <td>Buona copertura spaziale</td> </tr> <tr> <td>Copertura temporale &gt; 10 anni</td> </tr> <tr> <td>Solidità scientifica</td> </tr> <tr> <td>Basato su standard nazionali/internazionali</td> </tr> <tr> <td>Ben fondato in termini teorici e scientifici</td> </tr> <tr> <td>Correlato a modelli economici, Previsioni e sistemi di informazione</td> </tr> <tr> <td>Attendibile e affidabile</td> </tr> <tr> <td>Per metodi di misura e raccolta dati</td> </tr> <tr> <td>Comparabile nel tempo</td> </tr> <tr> <td>Comparabile nello spazio</td> </tr> </tbody> </table>			Criteri di selezione	Rilevanza - utilità	Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale	Descrivere il trend in atto	e i revolvers della situazione ambientale	Semplice e facile da interpretare	Senibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collettivo normativo e strategico	Rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposta della società, collettivi normali e strutturali	Fornisce una base per confronti a livello internazionale	Ha una soglia o un valore di riferimento: con il quale poter confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività	Misurabilità	Documentato e di qualità nota (accessibilità)	Aggiornato secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)	Disponibile su un rapporto costituente	Buona copertura spaziale	Copertura temporale > 10 anni	Solidità scientifica	Basato su standard nazionali/internazionali	Ben fondato in termini teorici e scientifici	Correlato a modelli economici, Previsioni e sistemi di informazione	Attendibile e affidabile	Per metodi di misura e raccolta dati	Comparabile nel tempo	Comparabile nello spazio
Criteri di selezione																										
Rilevanza - utilità																										
Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale																										
Descrivere il trend in atto																										
e i revolvers della situazione ambientale																										
Semplice e facile da interpretare																										
Senibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collettivo normativo e strategico																										
Rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposta della società, collettivi normali e strutturali																										
Fornisce una base per confronti a livello internazionale																										
Ha una soglia o un valore di riferimento: con il quale poter confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività																										
Misurabilità																										
Documentato e di qualità nota (accessibilità)																										
Aggiornato secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)																										
Disponibile su un rapporto costituente																										
Buona copertura spaziale																										
Copertura temporale > 10 anni																										
Solidità scientifica																										
Basato su standard nazionali/internazionali																										
Ben fondato in termini teorici e scientifici																										
Correlato a modelli economici, Previsioni e sistemi di informazione																										
Attendibile e affidabile																										
Per metodi di misura e raccolta dati																										
Comparabile nel tempo																										
Comparabile nello spazio																										
PRINCIPALE SETTORE DI RIFERIMENTO																										
<input type="checkbox"/> Altri settori interessati: <input type="checkbox"/> Sigla e colorazione del settore																										

Figura 9 – Pagina 1 della Sezione “Indicatore” della scheda impatto-indicatore

La sezione offre innanzitutto un quadro di sintesi basato sui numeri e i messaggi chiave derivanti dall'analisi dell'indicatore considerato.

Seguono poi una descrizione dell'indicatore e la definizione della finalità a cui è preposto (*scopo*), nonché tutte le informazioni necessarie a caratterizzarlo, anche ai fini di una sua replicabilità: la frequenza di rilevazione dei dati, l'unità di misura, la periodicità di aggiornamento dei dati, l'estensione temporale della serie storica su cui si basa (*copertura temporale*) nonché quella geografica (*copertura*

*spaziale*). Laddove disponibili, all'indicatore vengono associati i riferimenti o gli obiettivi stabiliti dalla normativa, in modo da consentire l'eventuale confronto rispetto ad essi.

Indicatore	DENOMINAZIONE DELL'INDICATORE	Icona nazionale o regionale														
Fonte e accessibilità <i>Descrizione delle fonti e dell'accessibilità dei dati di base</i>																
Qualità dell'informazione <i>Descrizione della qualità dell'informazione</i>																
Limitazioni e possibili azioni <i>Descrizione dei limiti associati all'indicatore e delle possibili azioni per migliorarne l'efficacia</i>																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Riferimenti bibliografici</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Indicazione dei riferimenti bibliografici citati</td> </tr> </tbody> </table>			Riferimenti bibliografici	Indicazione dei riferimenti bibliografici citati												
Riferimenti bibliografici																
Indicazione dei riferimenti bibliografici citati																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Grafico/Mappa/Tabella</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Grafico/Mappa/Tabella													
Grafico/Mappa/Tabella																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Commento ai trend/alla mappa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Descrizione del trend dell'indicatore o alla mappa con possibile interpretazione dei fenomeni</i></td> </tr> <tr> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in aumento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table> </td> </tr> <tr> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in diminuzione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table> </td> </tr> <tr> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend stabile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table> </td> </tr> <tr> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend non definibile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table> </td> </tr> </tbody> </table>			Commento ai trend/alla mappa	<i>Descrizione del trend dell'indicatore o alla mappa con possibile interpretazione dei fenomeni</i>	<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in aumento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend in aumento		<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in diminuzione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend in diminuzione		<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend stabile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend stabile		<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend non definibile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend non definibile	
Commento ai trend/alla mappa																
<i>Descrizione del trend dell'indicatore o alla mappa con possibile interpretazione dei fenomeni</i>																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in aumento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend in aumento															
Trend in aumento																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend in diminuzione</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend in diminuzione															
Trend in diminuzione																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend stabile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend stabile															
Trend stabile																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Trend non definibile</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody></table>	Trend non definibile															
Trend non definibile																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Grafico/Mappa/Tabella</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Grafico/Mappa/Tabella													
Grafico/Mappa/Tabella																
<table border="1"> <thead> <tr> <th style="background-color: #4f81bd; color: white;">Riferimenti: Nome Cognome – Affiliazione E-mail</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> </tr> </tbody> </table>			Riferimenti: Nome Cognome – Affiliazione E-mail													
Riferimenti: Nome Cognome – Affiliazione E-mail																
PRINCIPALE SETTORE DI RIFERIMENTO																
<input type="checkbox"/> Altri settori interessati: <input type="checkbox"/> Sigla e colorazione del settore																

Figura 10 – Pagina 2 della Sezione “Indicatore” della scheda impatto-indicatore

La sezione offre, inoltre, una breve descrizione della metodologia di elaborazione dell'indicatore, con l'obiettivo di consentirne l'esportazione e l'applicazione in differenti contesti.

Vengono inoltre elencati i criteri di selezione dell'indicatore definiti in termini di: i) rilevanza-utilità (es. è semplice e facile da interpretare, è sensibile ai cambiamenti dell'ambiente, ecc.); ii) misurabilità (es. è documentato e di qualità nota, è aggiornato secondo fonti e procedure affidabili, ecc.) e iii) solidità scientifica (es. è basato su standard

nazionali/internazionali, è ben fondato in termini tecnico-scientifici, ecc.).

Tabella 5 – Simbologia utilizzata nella sezione “Indicatore” all’interno della scheda impatto-indicatore per la caratterizzazione dell’indicatore nazionale e dei casi pilota regionali

	Indicatore nazionale
	Caso pilota Valle d'Aosta
	Caso pilota Lombardia
	Caso pilota Veneto
	Caso pilota Piemonte
	Caso pilota Laguna veneta
	Caso pilota Emilia Romagna
	Caso pilota Friuli Venezia Giulia
	Caso pilota Liguria
	Caso pilota Sardegna
	Caso pilota Calabria
	Caso pilota Sicilia

La qualità dell’informazione sintetizza alcuni elementi che caratterizzano l’indicatore e rende conto della bontà di ciò che esso rappresenta. Limiti e possibili azioni che possano consentire di superare eventuali criticità vengono descritti al fine di porre le basi per uno sviluppo futuro. L’indicatore viene quindi

rappresentato attraverso grafici e/o mappe e/o tabelle ed i risultati vengono commentati nell’apposito spazio (*commento al trend o alla mappa o alla tabella*).

Laddove necessario è stata inserita una terza pagina per ulteriore rappresentazione di grafici e/o tabelle.

La Tabella 6 riporta la simbologia utilizzata in questa sezione della scheda.

Tabella 6 – Simbologia utilizzata nella sezione “Indicatore” all’interno della scheda impatto-indicatore per la caratterizzazione dei trend osservati

	<b>Trend in aumento:</b> si osserva una tendenza del fenomeno in aumento
	<b>Trend in diminuzione:</b> si osserva una tendenza del fenomeno in diminuzione
	<b>Trend stabile:</b> si osserva una tendenza del fenomeno alla stabilità
	<b>Trend non definito:</b> la tendenza del fenomeno attualmente non è definibile

## 6.3 RISORSE IDRICHE



# MODIFICHE DEL CICLO IDROLOGICO

## Fattori climatici

Precipitazione, temperatura, vento, copertura nuvolosa, radiazione solare, umidità relativa, evaporazione.

## Altri fattori

Modifiche dell'uso del suolo dovute, ad es., a processi di urbanizzazione, deforestazione, colture; opere idrauliche, prelievi idrici e restituzioni, altri interventi antropici.

## Caratterizzazione impatto



L'impatto dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico può essere diretto: ha effetto sulle precipitazioni, che determinano il volume e la portata nei corsi d'acqua e l'umidità nel suolo; su temperatura, vento, radiazione solare e umidità relativa con modifiche sull'evaporazione da specchi liquidi e da terreno e sull'evapotraspirazione dalla vegetazione.



L'impatto può essere anche indiretto: la modifica dell'uso del suolo in conseguenza ai cambiamenti climatici impatta sulla trasformazione delle precipitazioni in deflusso superficiale; anche altri interventi antropici quali opere idrauliche, sistemazioni fluviali, prelievi di risorsa e restituzioni possono modificare il regime delle portate.



Tali impatti portano un aumento delle portate massime e pertanto un incremento della pericolosità e del rischio di inondazione, un aumento dell'erosione del suolo e una riduzione dell'infiltrazione e della disponibilità della risorsa idrica.

## Relazione causa-effetto



Sebbene la relazione causa-effetto sia molto complessa, la variazione dell'uso del suolo gioca un ruolo importante nella variazione del ruscellamento; in particolare in piccoli bacini e aree molto urbanizzate e antropizzate, le modifiche del ciclo idrologico sono influenzate dalla combinazione di fattori climatici e di fattori antropici.

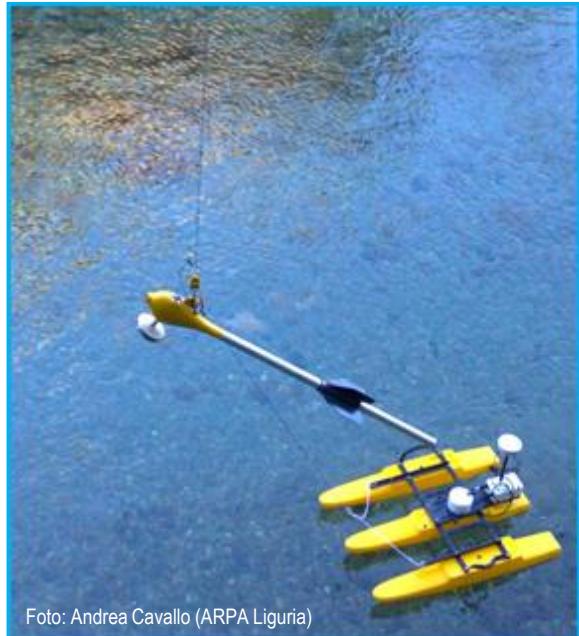


Foto: Andrea Cavallo (ARPA Liguria)

## Scenario futuro



Gli scenari futuri delineano per l'Italia una complessiva riduzione del volume delle precipitazioni annue, che dovrebbe quindi riflettersi in una complessiva riduzione del volume di ruscellamento.

Al contempo, tali scenari delineano un aumento dell'intensità delle precipitazioni, che dovrebbe riflettersi in un incremento dell'aliquota delle precipitazioni che si trasforma in ruscellamento e in una riduzione della frazione dell'afflusso che si infiltra. Quest'ultimo effetto, molto più sentito nei piccoli bacini, potrebbe essere dovuto anche a un aumento del consumo di suolo, per una parziale o totale impermeabilizzazione.

L'impatto complessivo dovrebbe manifestarsi in una riduzione della ricarica degli acquiferi e pertanto della disponibilità della risorsa idrica sotterranea, un aumento delle portate nei corsi d'acqua e dell'erosione del suolo, con conseguente aumento del rischio idraulico (alluvioni) e geologico (frane).

Si prevede per l'Italia un possibile peggioramento delle già esistenti condizioni di forte pressione sulle risorse idriche, con conseguente diminuzione della disponibilità di acqua soprattutto in estate.



## Numeri e messaggi chiave

La media dell'*indice di runoff* nel periodo 1991 – 2019 è di poco maggiore rispetto alla media del periodo 1961 – 1990 (circa 1,1%). Tale incremento a scala nazionale non è statisticamente significativo. Tuttavia, ciò non può escludere che possano esserci variazioni significative a livello locale dovute ai cambiamenti climatici e/o all'artificializzazione del suolo.

### Descrizione

L'indicatore valuta il rapporto tra il volume annuo del ruscellamento superficiale, ossia l'aliquota delle precipitazioni che si trasforma direttamente in deflusso, e il volume annuo di precipitazione, ragguagliato al territorio nazionale.

### Scopo

L'indicatore ha lo scopo di fornire una valutazione della quantità di acqua che si trasforma in deflusso superficiale rispetto al totale delle precipitazioni e di valutare il suo trend in relazione ai cambiamenti climatici.

### Frequenza rilevazione dati

Mensile

### Unità di misura

mm

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1951 – 2019

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

La stima dell'indicatore è effettuata mediante il modello di bilancio idrologico a scala mensile sviluppato da ISPRA, denominato BIGBANG – Bilancio Idrologico Gis BAsed a scala Nazionale su Griglia regolare, che valuta il ruscellamento come termine del bilancio idrologico del suolo con il metodo di *Thornthwaite e Mather* e la precipitazione come interpolazione di dati puntuali. L'indicatore è calcolato a partire dalla valutazione mensile del *runoff* e della precipitazione su una griglia regolare di risoluzione 1 km che ricopre l'intero territorio nazionale e aggregazione alla scala annuale.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

Elaborazioni ISPRA su dati pluviometrici e di temperatura raccolti dagli uffici regionali e delle province autonome responsabili del monitoraggio idro-meteorologico.

### Qualità dell'informazione

I dati utilizzati per l'indicatore sono affidabili, in quanto provenienti dagli Enti responsabili per legge del monitoraggio idro-meteorologico, e presentano una copertura omogenea a scala nazionale.

### Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore, costruito alla scala mensile e successivamente aggregato alla scala annuale, non tiene conto dell'effetto dell'intensità di precipitazione che influenza l'infiltrazione. Una elaborazione dell'indicatore con dati a scala giornaliera permetterebbe di cogliere una migliore rappresentazione dell'impatto dei cambiamenti climatici.

### Riferimenti bibliografici

- Braca G., Bussettini M., Ducci D., Lastoria B. e Mariani, S., 2019. Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 30(1): 109 – 123.
- Bras R., 1990. Hydrology. Addison Wesley, New York.
- Mariani S., Braca G., Romano E., Lastoria B. e Bussettini M., 2018. Linee Guida sugli indicatori di siccità e scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici. Pubblicazione CRelAMO PA, 66 pp.
- Thornthwaite C.W. e Mather J.R., 1955. The water balance. Laboratory of Climatology, 8, Centerton NJ.

### Commento al trend



La serie storica dell'indicatore presenta un leggero trend crescente (Fig. 1), ma non statisticamente significativo sulla base del test di *Mann-Kendall*, effettuato con il tool ANÁBAS/ sviluppato da ISPRA.

Pertanto, allo stato attuale, non si può attribuire a scala nazionale una evidente influenza del cambiamento climatico sull'*indice di runoff*. Ciò non esclude che possano esserci variazioni significative a livello locale dovute ai cambiamenti climatici e/o all'artificializzazione del suolo.

INDICE DI RUNOFF - ITALIA 1951-2019  
(fonte dati: ISPRA - BIGBANG 4.0)

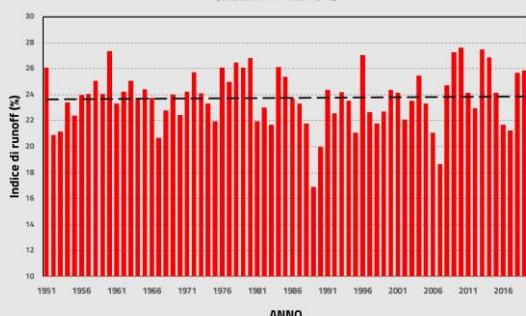


Figura 1 – Indice di runoff su scala nazionale, dal 1951 al 2019.



Mella a Pralboino, novembre 2010.  
Foto: Matteo Cislighi (ARPA Lombardia)

Referente:  
Giovanni Braca – ISPRA  
[giovanni.braca@isprambiente.it](mailto:giovanni.braca@isprambiente.it)



# NUMERO ANNUO DI PORTATE SOPRA SOGLIA

## Numeri e messaggi chiave

L'indicatore è stato valutato in base alle serie storiche delle portate medie giornaliere di alcune stazioni idrometriche considerate maggiormente significative. Tuttavia, malgrado siano state selezionate le serie storiche più popolate e significative, si può osservare come, a partire dagli anni '70, non è stato possibile definire l'indicatore a causa della mancanza o scarsità dei dati, per numerosi anni. Allo stato attuale non sono rilevabili evidenze di trend relative all'andamento dell'indicatore.

### Descrizione

L'indicatore è costituito dal numero annuo di eventi di piena indipendenti al di sopra di una soglia prefissata.

### Scopo

Scopo dell'indicatore è quello di evidenziare variazioni della frequenza degli eventi di piena.

### Frequenza rilevazione dati

Non sono dati rilevati direttamente; si basano sulle portate medie giornaliere.

### Unità di misura

Adimensionale

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

Maggiore di 10 anni

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

Conteggiate annualmente i valori statisticamente indipendenti dalle serie delle portate medie giornaliere eccedenti una soglia – sito-specifica – così determinata: ricerca dei “massimi relativi” della serie; definizione di soglia di primo tentativo; ricerca dei “massimi relativi” eccedenti tale soglia; definizione di un Delta T (multiplo del passo temporale della serie) al di sotto del quale eventuali massimi non sono statisticamente indipendenti ed eliminarli; conteggio dei valori così ottenuti, indicazione del valore percentuale rispetto ai dati validi della serie storica; eventuale reiterazione del procedimento, partendo da una nuova soglia.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

Comparabile nello spazio



# NUMERO ANNUO DI PORTATE SOPRA SOGLIA

## Fonte e accessibilità

ARPA e Uffici Idrografici regionali e delle province autonome.

## Qualità dell'informazione

Le fonti utilizzate sono affidabili e le soglie sono validate statisticamente.

## Limitazioni e possibili azioni

Scarsa continuità e completezza delle serie storiche.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. Bras R., 1990. Hydrology, Addison Wesley, New York.
4. Braca, G., Bussetti, M., Ducci, D., Lastoria, B. and Mariani, S., 2019: Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 30(1), 109–123. DOI:10.1007/s12210-018-00757-6.

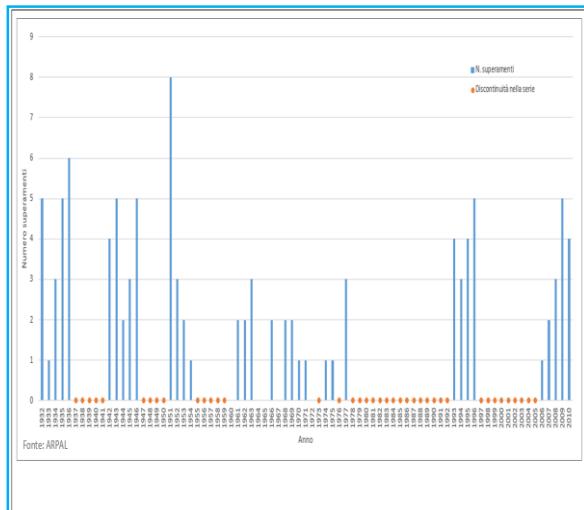


Figura 1 – Graveglia a Caminata: numero dei massimi relativi annui indipendenti sopra soglia  $Q=11 \text{ m}^3/\text{s}$ .

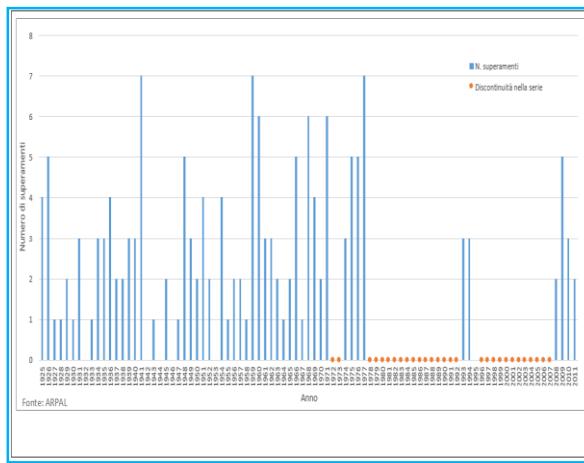


Figura 2 – Argentina a Merelli: numero dei massimi relativi annui indipendenti sopra soglia  $Q=45 \text{ m}^3/\text{s}$ .



# NUMERO ANNUO DI PORTATE SOPRA SOGLIA

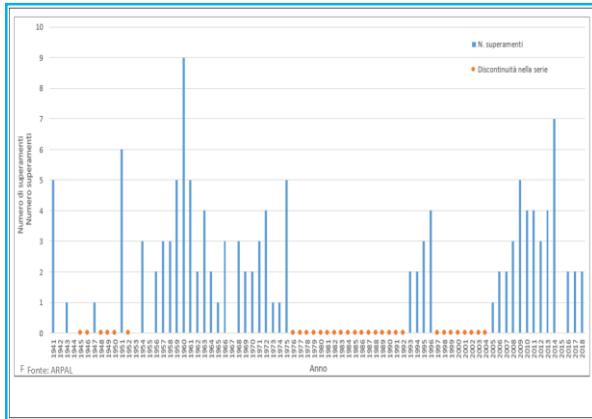


Figura 3 – Vara a Nasceto: numero dei massimi relativi annui indipendenti sopra soglia  $Q=65 \text{ m}^3/\text{s}$

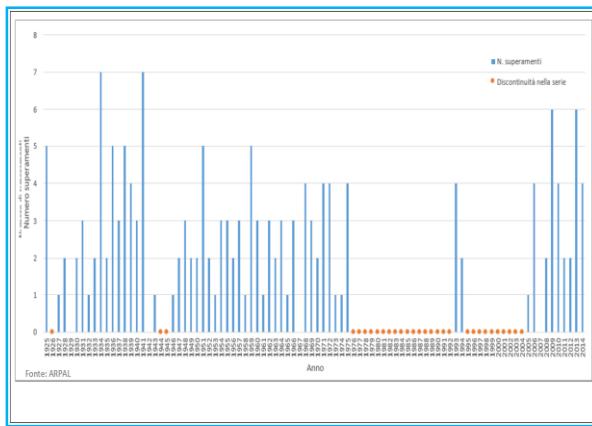


Figura 4 – Arroscia a Pogli d'Ortovero: numero dei massimi relativi annui indipendenti sopra soglia  $Q=30 \text{ m}^3/\text{s}$



## Commento al trend



La scelta dell'utilizzo delle serie storiche delle portate medie giornaliere nasce dalla scarsa affidabilità dei risultati ottenibili con le serie sub-orarie, a causa della limitata lunghezza, continuità e completezza di alcune serie storiche.

Tuttavia, malgrado tale accortezza, allo stato attuale non sono rilevabili evidenze di trend relative all'andamento dell'indicatore, come si può osservare nei grafici riportati nelle Figure dalla 1 alla 5.

Lo studio dell'indicatore relativo al numero annuo di eventi di piena indipendenti che superano una soglia prefissata – sito specifica – fornisce quindi, ad oggi, un trend non definito.

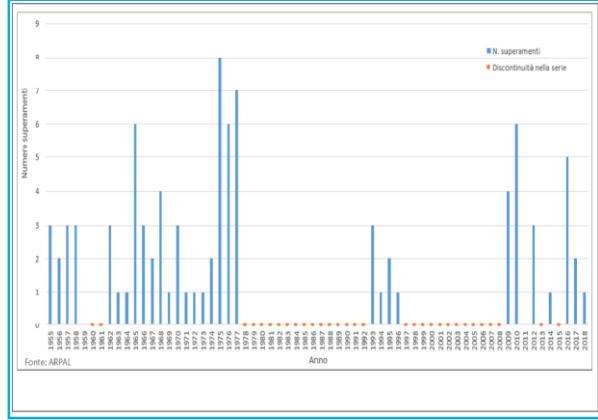


Figura 5 – Aulella a Soliera: numero dei massimi relativi annui indipendenti sopra soglia  $Q=50 \text{ m}^3/\text{s}$

## Referente:

Andrea Cavallo – ARPAL  
andrea.cavallo@arpal.liguria.it



# CURVA DI DURATA DELLE PORTATE

## Numeri e messaggi chiave

Per il calcolo dell'indicatore sono state scelte serie storiche delle portate medie giornaliere di alcune stazioni idrometriche considerate maggiormente significative che, tuttavia, hanno numerosi anni mancanti o scarsamente popolati a partire dagli anni '70. Negli ultimi anni si riscontra una diminuzione abbastanza generalizzata dei valori dell'indicatore nelle diverse sezioni selezionate e pertanto un aumento della frequenza delle siccità idrologiche, ma non si rileva un trend definito.

## Descrizione

L'indicatore rappresenta il valore caratteristico Q274, ovvero la portata superata per 274 giorni all'anno rappresentativa dei regimi di magra stagionale, della curva di durata delle portate in sezioni poco influenzate da regolazioni antropiche.

## Scopo

Lo scopo dell'indicatore è evidenziare variazioni del regime di frequenza delle magre stagionali in sezioni rappresentative del deflusso naturale.

## Frequenza rilevazione dati

Non sono dati rilevati direttamente; si basano sulle portate medie giornaliere.

## Unità di misura

$\text{m}^3/\text{s}$

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

Maggiore di 10 anni

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

Per la costruzione delle curve di durata si parte dal diagramma cronologico delle portate medie giornaliere  $Q$  disponendone i valori in ordine decrescente. La posizione  $n$  di ogni elemento  $Q$  del vettore così ottenuto rappresenta il numero dei giorni dell'anno nei quali la  $Q$  è stata egualata o superata ( $n=\text{durata}$ ). Nel caso in esame  $n=274$ .

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

Comparabile nello spazio

# CURVA DI DURATA DELLE PORTATE



## Fonte e accessibilità

ARPA e Uffici Idrografici regionali e delle province autonome.

## Qualità dell'informazione

Le fonti utilizzate sono affidabili e la metodologia utilizzata è ben consolidata.

## Limitazioni e possibili azioni

I limiti sono rappresentati dalla disponibilità di serie di portate sufficientemente estese nel tempo e con trascurabili regolazioni e prelievi dissipativi nel bacino idrografico di monte.

## Riferimenti bibliografici

Essendo un nuovo indicatore non si identificano riferimenti bibliografici correlati.

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. Bras R., 1990, Hydrology, Addison Wesley, New York
4. Braca, G., Bussetti, M., Ducci, D., Lastoria, B. and Mariani, S., 2019: Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 30(1), 109–123. DOI:10.1007/s12210-018-00757-6).



Foto: Eva Zattera (ARPA Liguria)

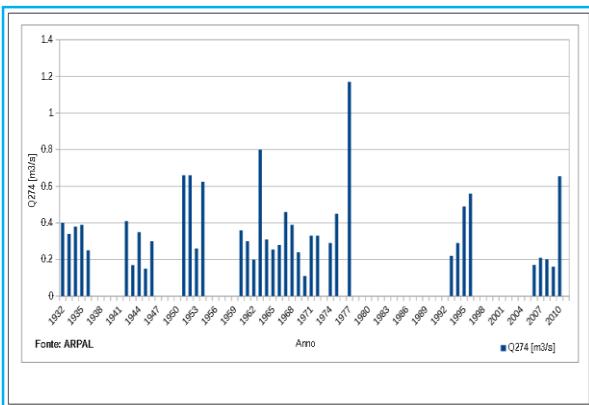


Figura 1 – Grafico della Q274 del Graveglia nella sezione di Caminata

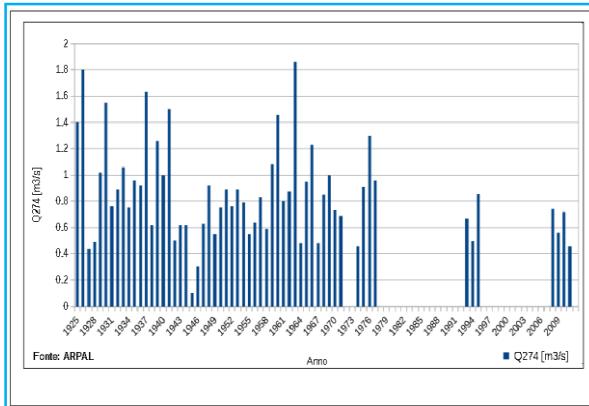


Figura 2 – Grafico della Q274 dell'Argentina a Merelli



# CURVA DI DURATA DELLE PORTATE

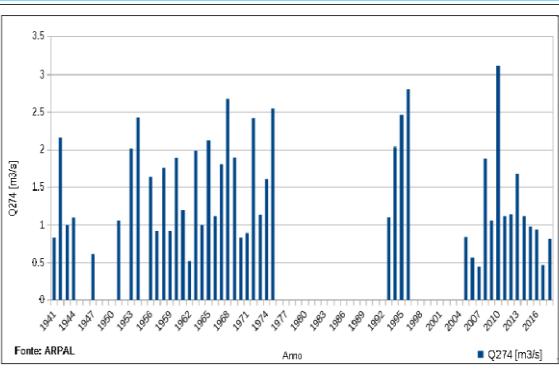


Figura 3 – Grafico della Q274 del Vara a Nasceto



Foto: Eva Zattera (ARPA Liguria)

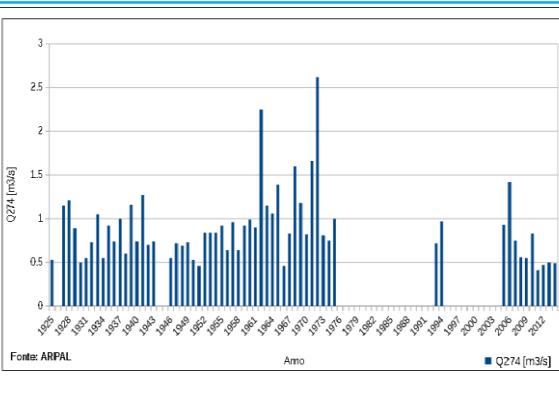


Figura 4 – Grafico della Q274 dell'Arroscia a Pogli di Ortovero

## Commento al trend



Dall'andamento dell'indicatore si rileva un aumento della frequenza delle siccità idrologiche dovuto a: aumento dei periodi di scarsità di pioggia, aumento dell'evapotraspirazione e riduzione del contributo nivale. Allo stato attuale non sono rilevabili evidenze di trend in relazione ai regimi di magra stagionale, anche per motivi legati alla scarsa continuità e completezza delle serie storiche disponibili. Il trend del presente indicatore risulta quindi non definito.

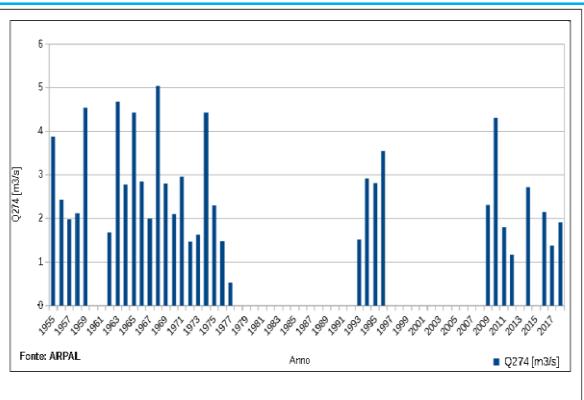


Figura 5 – Grafico della Q274 dell'Aulella a Soliera

Referente:  
Andrea Cavallo – ARPAL  
[andrea.cavallo@arpal.liguria.it](mailto:andrea.cavallo@arpal.liguria.it)

# MODIFICA DELLA DISPONIBILITÀ DELLE RISORSE IDRICHE RINNOVABILI

## Fattori climatici

Precipitazione, temperatura, vento, copertura nuvolosa, radiazione solare, umidità relativa, evaporazione.

## Altri fattori

Modifiche dell'uso del suolo dovute ad es. a processi di urbanizzazione, deforestazione, colture; opere idrauliche, prelievi idrici e restituzioni, altri interventi antropici.

## Caratterizzazione impatto



L'impatto dei cambiamenti climatici sul ciclo idrologico può essere diretto in quanto ha effetto sulle precipitazioni, che determinano il volume e la portata nei corsi d'acqua e l'umidità nel suolo, sulla temperatura, sul vento, sulla radiazione solare e sull'umidità relativa, che determinano una modifica dell'evaporazione dagli specchi liquidi e dal terreno e l'evapotraspirazione dalla vegetazione.



L'impatto può essere anche indiretto: la modifica dell'uso del suolo come conseguenza dei cambiamenti climatici ha impatto sulla trasformazione delle precipitazioni in deflusso superficiale; anche opere idrauliche, sistemazioni fluviali, prelievi di risorsa e restituzioni possono determinare una modifica del regime delle portate.



La diminuzione del volume delle precipitazioni e l'aumento della temperatura media, che produce un aumento dell'evaporazione e dell'evapotraspirazione, comportano una complessiva diminuzione della disponibilità della risorsa idrica rinnovabile.

## Relazione causa-effetto



La risorsa idrica rinnovabile potenzialmente utilizzabile è la differenza tra le precipitazioni (afflusso) e l'evaporazione dagli specchi liquidi e dal terreno e l'evapotraspirazione dalla vegetazione. Una diminuzione della precipitazione e un aumento della temperatura che produce un incremento nell'evapotraspirazione, influenzato quest'ultimo anche dalla variazione dell'uso del suolo, potrebbero pertanto causare una minore disponibilità di risorsa idrica.

Fiumara Bonamico, ottobre 2018.

Foto: Stefano Mariani (ISPRA)



## Scenari futuro



Gli scenari futuri delineano per l'Italia una complessiva riduzione del volume delle precipitazioni annue e un aumento della temperatura media, che dovrebbero riflettersi in una complessiva riduzione del volume associato all'*internal flow* annuo, ossia in una riduzione della differenza media annua tra l'afflusso liquido al suolo (costituito dall'aliquota delle precipitazioni che avvengono in forma liquida a cui si aggiunge lo scioglimento nivale) e l'evapotraspirazione reale. In particolare, recenti valutazioni mostrano una possibile significativa riduzione della disponibilità della risorsa idrica naturale rinnovabile sull'intero territorio nazionale: da un minimo di riduzione dell'ordine del 10% nella proiezione a breve termine (al 2030), con un approccio di mitigazione aggressivo, a un massimo dell'ordine 40% (con punte anche maggiori del 90% per alcune aree del sud Italia) nella proiezione a lungo termine (al 2100), qualora si mantenesse invariata l'attuale situazione di emissioni di gas serra.



## Numeri e messaggi chiave

La media dell'*internal flow* relativa al periodo 1991 – 2019 è inferiore rispetto alla media del trentennio 1961 – 1990 (circa 2,9%). Tale riduzione a scala nazionale non è statisticamente significativa. Tuttavia, ciò non può escludere che possano esserci variazioni significative a livello locale dovute anche ai cambiamenti climatici.

### Descrizione

L'indicatore *internal flow* costituisce, secondo la definizione di OCSE/Eurostat, il volume totale del deflusso superficiale e sotterraneo generato, in condizioni naturali e in un determinato territorio, esclusivamente dalla precipitazione.

### Scopo

L'indicatore ha lo scopo di fornire una valutazione della quantità di risorsa idrica rinnovabile che naturalmente si produce in un determinato territorio.

### Frequenza rilevazione dati

Mensile

### Unità di misura

%

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1951 – 2019

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

La stima dell'indicatore è effettuata mediante il modello di bilancio idrologico a scala mensile sviluppato da ISPRA, denominato BIGBANG – “Bilancio Idrologico Gis BASe a scala Nazionale su Griglia regolare”, che lo valuta come differenza tra gli afflussi, derivati dall'interpolazione di dati puntuali, e l'evapotraspirazione reale, ottenuta dal bilancio idrologico del suolo con il metodo di *Thomthwaite e Mather*. L'indicatore è calcolato a partire dalle valutazioni mensili su una griglia regolare di risoluzione 1 km che ricopre l'intero territorio nazionale e aggregazione alla scala annuale.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# INTERNAL FLOW

## Fonte e accessibilità

Elaborazioni ISPRA su dati pluviometrici e di temperatura raccolti dagli uffici regionali e delle province autonome responsabili del monitoraggio idro-meteorologico.

## Qualità dell'informazione

I dati utilizzati per l'indicatore sono affidabili, in quanto provenienti dagli Enti responsabili per legge del monitoraggio idro-meteorologico, e presentano una copertura omogenea a scala nazionale.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore è costruito alla scala mensile e successivamente aggregato alla scala annuale.

Miglioramento nel modello BIGBANG dello schema utilizzato per la valutazione dell'evapotraspirazione.

## Riferimenti bibliografici

- Braca G., Bussettini M., Ducci D., Lastoria B. e Mariani, S., 2019. Evaluation of national and regional groundwater resources under climate change scenarios using a GIS-based water budget procedure. *Rend. Fis. Acc. Lincei*, 30(1): 109 – 123.
- Bras R., 1990. Hydrology. Addison Wesley, New York.
- Mariani S., Braca G., Romano E., Lastoria B. e Bussettini M., 2018. Linee Guida sugli indicatori di siccità e scarsità idrica da utilizzare nelle attività degli Osservatori permanenti per gli utilizzi idrici. Pubblicazione CReLAMO PA, 66 pp.
- Thornthwaite C.W. e Mather J.R., 1955. The water balance. Laboratory of Climatology, 8, Centerton NJ.

## Commento al trend



La serie storica dell'indicatore presenta un trend decrescente (Fig. 1), che non risulta statisticamente significativo sulla base del test di *Mann-Kendall*, effettuato con il tool ANÁBASI sviluppato da ISPRA. Pertanto, allo stato attuale non si può attribuire, a scala nazionale una evidente influenza del cambiamento climatico sull'*internal flow*. Ciò non esclude che possano esserci variazioni significative a livello locale dovute anche ai cambiamenti climatici.

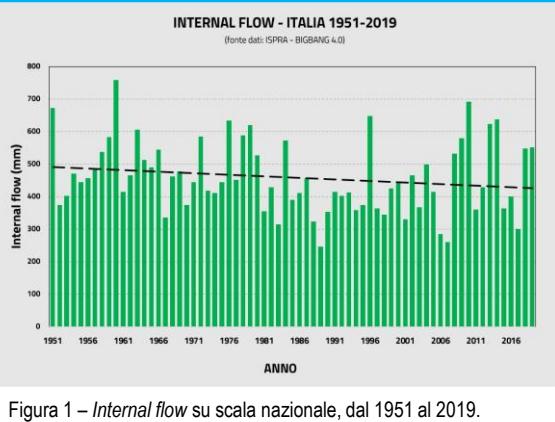


Figura 1 – Internal flow su scala nazionale, dal 1951 al 2019.



Referente:  
Giovanni Braca – ISPRA  
[giovanni.braca@isprambiente.it](mailto:giovanni.braca@isprambiente.it)

# VARIAZIONE DELLA DISPONIBILITÀ DI RISORSA IDRICA SOTTERRANEA

## Fattori climatici

Precipitazioni, temperatura, regime pluviometrico.

## Altri fattori

Sovra-sfruttamento delle risorse idriche per scopi irrigui, civili ed industriali, riduzione della ricarica anche per via di processi di *soil sealing* (*naturale o antropico*).

## Caratterizzazione impatto



La riduzione e il cambiamento di regime delle precipitazioni può determinare una diminuzione dell'infiltrazione delle acque nel sottosuolo, con conseguente riduzione della ricarica delle falde; inoltre può indurre un aumento del loro sfruttamento per diversi usi, in particolare quello irriguo. Anche i processi antropici che ne riducono la permeabilità, influiscono sulla capacità dei terreni di assorbire acqua e quindi di ricaricare le falde.



La variazione della ricarica può modificare i rapporti falda-fiume provocando riduzione di alimentazione in alveo o spostamento degli spartiacque sotterranei. La riduzione della ricarica assieme al sovrasfruttamento degli acquiferi può portare ad intaccare le riserve idriche che sono risorse non rinnovabili. Questo può compromettere la qualità e la disponibilità di acqua per le generazioni future.

## Relazione causa-effetto



Le precipitazioni e la temperatura sono i principali fattori che governano il ciclo idrologico, le cui variazioni hanno effetti sulle sue componenti, tra cui la ricarica delle falde; la sua riduzione è una diretta conseguenza della riduzione delle precipitazioni o della modifica del loro regime.

Foto: Francesco La Vigna (ISPRA)



## Scenario futuro



I dati di livello non sono stati modellati per una previsione di scenari futuri. Qualora i regimi pluviometrici dovessero variare la ricarica degli acquiferi, è possibile supporre un decremento dei livelli, che potrà essere letto come un decremento di risorsa. Le precipitazioni stanno diminuendo in Europa Meridionale. È attesa una forte pressione sulle risorse idriche, con conseguente riduzione della qualità e disponibilità di acqua, soprattutto in estate, nelle regioni meridionali e nelle piccole isole. La Strategia Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (SNACC) [1] individua fra le situazioni più critiche quelle relative alle risorse idriche. Queste non presentano gravi criticità in termini di disponibilità di acqua su base annua, quanto piuttosto in termini di disomogenea disponibilità nel tempo e nello spazio e di efficienza gestionale. Il Piano Nazionale Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC) [2] individua tra le azioni specifiche per fronteggiare la riduzione della disponibilità d'acqua, il miglioramento dell'efficacia del monitoraggio, della programmazione e dell'efficienza dell'uso della risorsa.



# LIVELLO DELLE FALDE ACQUIFERE

## Numeri e messaggi chiave

L'andamento dei livelli di falda acquifera è in grado di restituire una fotografia dello stato quantitativo delle risorse idriche sotterranee. Attualmente, sebbene si sia cercato di selezionare un gruppo di stazioni rappresentative per ogni Macroregione Climatica omogenea del PNACC [2], le stazioni selezionate tra quelle disponibili non hanno ancora una copertura del tutto omogenea sul territorio nazionale. Tenendo conto di questo limite, le elaborazioni eseguite mostrano come le risorse idriche sotterranee non manifestino particolari segnali di crisi, mostrando generalmente trend stabili o positivi negli ultimi anni rispetto alla media del periodo selezionato, che va dai 10 ai 20 anni a seconda delle serie storiche disponibili. Anche alcuni report regionali [3, 4] recenti riferiscono di situazioni di equilibrio.

## Descrizione

Il livello delle falde acquifere, si definisce statico quando viene misurato senza perturbazioni indotte e rappresenta la quota della falda che corrisponde ad una superficie fisica per una falda libera e ad una potenziale per le falde confinate.

## Scopo

Scopo dell'indicatore è quello di fornire informazioni sull'evoluzione dei livelli delle falde acquifere su scala nazionale in relazione alle diverse zone climatiche. Il livello di falda misurato in condizioni non influenzate da altri fattori antropici è riconosciuto come descrittore dello stato quantitativo delle falde acquifere [5] (Direttiva 2000/60/CE).

## Frequenza rilevazione dati

Mensile o semestrale

## Unità di misura

Metri di scostamento rispetto alla media

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

fra i 10 e i 20 anni, dal 2000 al 2020

## Copertura spaziale

Nazionale (a regime)

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materi di acque
- D.Lgs 152/2006 - D.Lgs 30/2009 - D.M. n.260/2010

## Metodologia di elaborazione

Il dato è relativo a stazioni disponibili rappresentative delle diverse "Macroregioni climatiche" definite nell'ambito del PNACC [2] in base a modelli climatici. Si valuta l'oscillazione del livello di falda medio semestrale, normalizzato, ed il suo scostamento rispetto sia al minimo livello registrato della serie storica, sia rispetto al 25° e 75° percentile. I dati delle singole stazioni sono raggruppati e mediati rispetto alle differenti regioni climatiche. Viene anche valutato il trend dei dati medi annui degli ultimi anni per fornire una preliminare lettura della tendenza.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# LIVELLO DELLE FALDE ACQUIFERE



## Fonte e accessibilità

Le ARPA/APPA e le Regioni sono depositari dei dati dei livelli statici e di frequente i dati sono fruibili ed accessibili tramite report periodici ovvero su siti internet dedicati.

## Qualità dell'informazione

I dati dei livelli statici sono dati ufficiali relativi alle reti di monitoraggio regionali/provinciali delle acque sotterranee.

## Limitazioni e possibili azioni

Pressioni antropiche e vicinanza di corpi idrici superficiali alterano la rilevazione del dato. Le stazioni scelte sono rappresentative di vari ambiti geoclimatici-ambientali e meno soggette ad interferenze.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
3. ARPAE – Struttura IdroMeteoClima, 2019. Rapporto IdroMeteoClima Emilia-Romagna Dati 2019, pagg. 66-69.
4. Provincia Autonoma di Bolzano-Alto Adige, novembre 2019. Piano di tutela delle acque. Qualità dei corpi idrici. Monitoraggio, qualità e obiettivi ambientali. Volume D, pagg.78-88.
5. Barthel R., 2011 An indicator approach to assessing and predicting the quantitative state of groundwater bodies on the regional scale with a special focus on the impacts of climate change. Hydrogeology Journal 19:525-546 DOI: 10.1007/s10040-010-0693-y.

## Commento al trend



Si valuta il 2020 rispetto al periodo. Per le Macroregioni 1, 2, 3, 4, 5, il 2020 è sopra la media, per la 6 è quasi coincidente. Le serie temporali sono soggette ad ampie oscillazioni negative, anche sotto il 25° percentile, in corrispondenza di periodi particolarmente siccitosi (2007-2008, 2012, 2017) ed oltre il 75° in periodi più umidi. Le Macroregioni 1, 2, 3, 5 mostrano maggiore variabilità rispetto alle macroregioni 4, 6, tuttavia tale fenomeno potrebbe essere dovuto alla possibile ridotta rappresentatività del campione in questa prima fase sperimentale. La tendenza di quasi tutte le Macroregioni a partire dagli ultimi 3-5 anni è a salire, riflettendo in alcuni settori una periodicità, mentre in altri (1, 4) raggiunge o supera il 75° percentile. Probabilmente all'aumentare del numero di stazioni si delineerà con più dettaglio l'andamento dei livelli piezometrici negli anni.

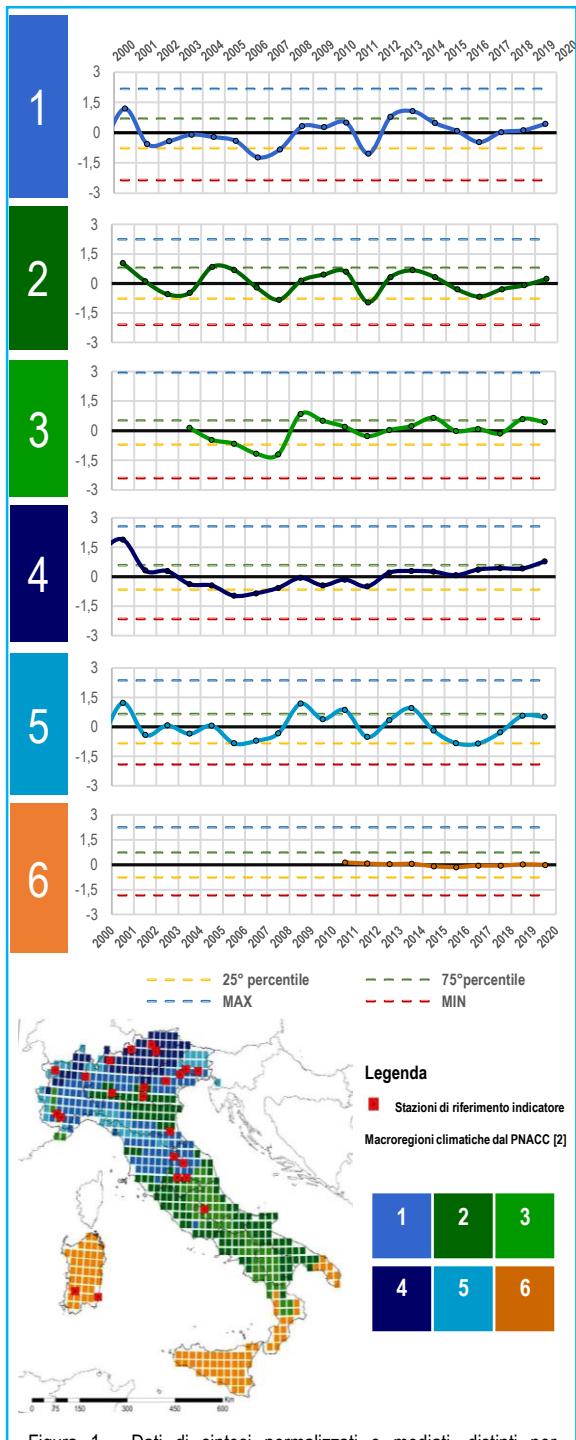


Figura 1 - Dati di sintesi normalizzati e mediati, distinti per Macroregione Climatica omogenea e ubicazione delle stazioni di riferimento.

# LIVELLO DELLE FALDE ACQUIFERE

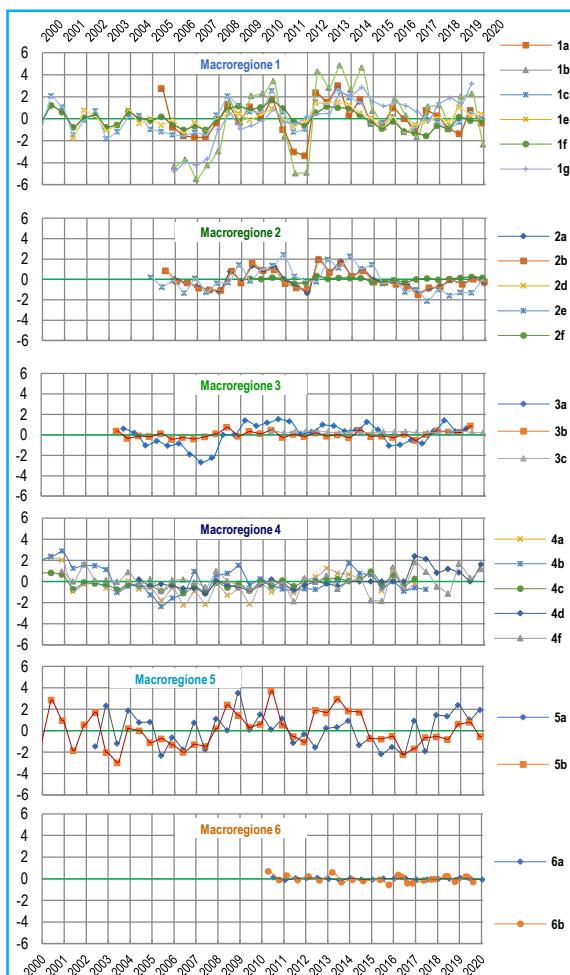


Figura 2 - Dati medi mensili (in metri di scostamento dalla media) delle singole stazioni di riferimento selezionate per l'indicatore, distinte per Macroregioni Climatiche omogenee.

## Commento al trend

In questa scheda sono riportati, aggregati per singola Macroregione Climatica omogenea, i dati medi semestrali delle singole stazioni selezionate per la costruzione dell'indicatore, espressi come metri di scostamento dalla media.

Come è possibile notare non vi è, in questa preliminare elaborazione dell'indicatore, una copertura del tutto omogenea, sia dal punto di vista territoriale che dal punto di vista del periodo di osservazione. E' previsto per i prossimi anni un incremento di dati in tal senso con la selezione di ulteriori stazioni.

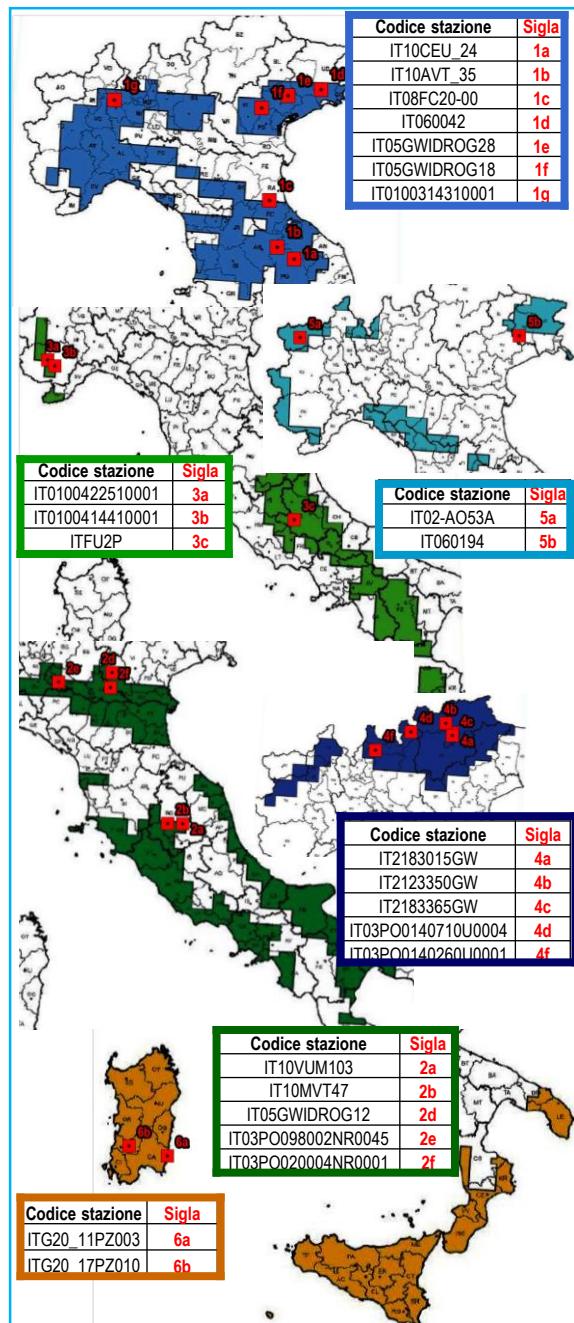


Figura 3 - Dettaglio delle Macroregioni Climatiche omogenee dal PNACC [2] e dell'ubicazione delle stazioni di monitoraggio selezionate.

Referenti: Rossella Maria Gafà<sup>1</sup>, Francesco La Vigna<sup>1</sup>, Marco Marcaccio<sup>2</sup> - <sup>1</sup>ISPRA, <sup>2</sup>ARPAE

E-mail: [rossella.gafa@isprambiente.it](mailto:rossella.gafa@isprambiente.it)  
[francesco.lavigna@isprambiente.it](mailto:francesco.lavigna@isprambiente.it)  
[mmarcaccio@arpae.it](mailto:mmarcaccio@arpae.it)

# VARIAZIONE DI TERRITORIO SOTTOPOSTO A INUSUALI CONDIZIONI UMIDE O SECCHIE

## Fattori climatici

Le condizioni di siccità o di eccesso idrico sono determinate da uno squilibrio tra apporti piovosi e perdite evapotraspirative, pertanto i fattori climatici chiave che determinano tali condizioni sono prevalentemente le precipitazioni e le temperature, che influenzano l'evapotraspirazione.

## Altri fattori

Incidono sulla disponibilità della risorsa idrica i prelievi eccessivi esercitati dalle diverse attività umane, nonché le condizioni qualitative delle risorse idriche che possono limitarne la possibilità di impiego.

## Caratterizzazione impatto



I fattori climatici contribuiscono in maniera diretta causando, a seconda della persistenza, una ridotta umidità nei suoli, un decremento dei deflussi nei corsi d'acqua e un più esteso periodo di secca in quelli a carattere temporaneo, una ridotta ricarica delle falde acquifere e uno scarso deflusso nei laghi e negli invasi di raccolta.



La siccità di solito comporta scarsità di vegetazione, suolo nudo, maggiore erodibilità del terreno ed è quindi tra i fattori predisponenti i processi di desertificazione.

Se la siccità è prolungata, l'impatto negativo si manifesta sotto forma di danni diretti derivanti dalla perdita di disponibilità di acqua per l'uomo sia per usi civili, agricoli e industriali. Inoltre, si può avere perdita di biodiversità, minori rese delle colture agrarie e degli allevamenti zootecnici, perdita di equilibrio degli ecosistemi naturali.

## Relazione causa-effetto



Una maggior frequenza di condizioni di deficit pluviometrici, associate ad un aumento delle temperature, determinano uno squilibrio nel bilancio idrologico che, in funzione dell'entità delle anomalie e della persistenza, causano un depauperamento delle diverse risorse idriche.

Foto: Michele Fiori (ARPA Sardegna)



## Scenario futuro



Per l'area del Mediterraneo è previsto un aumento delle temperature e una riduzione delle precipitazioni dalla maggior parte dei modelli Global Climate Models (GCM) e Regional Climate Models (RCM) come anche confermato recentemente dall'*Intergovernmental Panel on Climate Change* delle Nazioni Unite [1]. A scala nazionale, cambiamenti di precipitazione associati a quelli di temperatura ed evaporazione porteranno a un significativo aumento degli eventi siccitosi, su gran parte della Penisola [2].



## Numeri e messaggi chiave

Nel 2017 i valori di SPI relativo a 12 mesi hanno raggiunto la classe “estremamente siccioso” ( $\leq -2$ ) su circa il 60% del territorio regionale sardo; in questo periodo si è registrato un forte deficit nei corsi d’acqua e negli invasi della Sardegna, soprattutto del settore occidentale, che ha causato limitazioni nella disponibilità di acque per l’uso irriguo e restrizioni per gli usi civili. Per lo SPI relativo a 3 mesi si è avuta un’estensione del 90% e si è registrata una sensibile riduzione dell’umidità dei suoli e condizioni sfavorevoli alle coltivazioni. Nel 2018 si sono registrate condizioni opposte, con diffusi ristagni idrici nei campi e livello degli invasi prossimi ai valori massimi, con SPI su 3 mesi e SPI su 12 mesi nella classe “estremamente umido” sul 90% del territorio.

## Descrizione

L’indicatore è basato sullo *Standardized Precipitation Index* (SPI) e valuta sia le percentuali di territorio soggetto a eventi di siccità moderata o severa ( $-2 < \text{SPI} < -1$ ) o di siccità estrema ( $\text{SPI} \leq -2$ ) sia le percentuali di territorio con condizioni di umidità moderata o severa ( $1 < \text{SPI} < 2$ ) o di umidità estrema ( $\text{SPI} \geq 2$ ). L’applicazione dello SPI su diverse scale temporali riflette le modalità con cui la siccità impatta sulla disponibilità delle risorse idriche: calcolato su periodi brevi (3 mesi) fornisce indicazioni sulla umidità dei suoli, mentre su periodi medi o lunghi (12 mesi) fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.

## Scopo

L’indice climatico a diverse scale temporali è correlato con le condizioni di siccità di diverse risorse idriche di un territorio, permettendo perciò di valutarne la frequenza, l’estensione e la severità ed evidenziare eventuali trend.

## Frequenza rilevazione dati

Mensile

## Unità di misura

Numero puro

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

2011-2020

## Copertura spaziale

Regionale

## Metodologia di elaborazione

L’indice SPI calcolato sui punti stazione per i periodi di aggregazione di 3 e 12 mesi, viene interpolato per la produzione di mappe, sulle quali si determina la percentuale del territorio che ricade oltre i valori soglia ( $-2, -1, 1$  e  $2$ ) e vengono aggiornati i relativi grafici pluriennali. La serie climatologica di riferimento per il calcolo dello SPI copre il periodo 1971-2000.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l’evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell’ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull’ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale  $> 10$  anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# PERCENTUALE DI TERRITORIO SOTTOPOSTO A INUSUALI CONDIZIONI UMIDE O SECCHIE



## Fonte e accessibilità

Per la Sardegna si possono consultare nei report mensili e annuali prodotti dal Dipartimento Meteoclimatico

)

## Qualità dell'informazione

L'indicatore si basa sullo SPI, metodo maggiormente utilizzato a livello internazionale per descrivere gli eventi siccitosi, basato su serie storiche di dati di precipitazione.

## Limitazioni e possibili azioni

Come misura dell'anomalia degli apporti pluviometrici, l'SPI non tiene conto dell'evapotraspirazione e questo limita la sua capacità di catturare l'effetto dell'aumento delle temperature (associato ai cambiamenti climatici) sulla disponibilità idrica.

## Riferimenti bibliografici

- IPCC, 2019. Cap. Land-Climate interactions, Special report Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici
- Svoboda M., Hayes M. and Wood D., 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. World Meteorological Organization (WMO-No. 1090), Geneva, Switzerland.
- McKee, T. B., Doesken N. J., and Kleist J., 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan15-20, 1995, Dallas TX, pp.233-236.
- McKee, T. B., Doesken N. J., and Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.

## Commento al trend



Per entrambe le elaborazioni (Fig. 1 e 2) non si evidenzia per il decennio un chiaro trend univoco, se non per periodi più brevi. Per lo SPI a 12 mesi dopo una fase in calo quasi costante nel quinquennio 2013-17, per la progressiva riduzione delle precipitazioni, nel 2018 si è registrato un brusco incremento a causa delle abbondanti precipitazioni che hanno caratterizzato diversi mesi; attualmente in fase di riduzione.

Per lo SPI a 3 mesi l'andamento è più articolato con un trend che rispecchia parzialmente quello a 12 mesi.

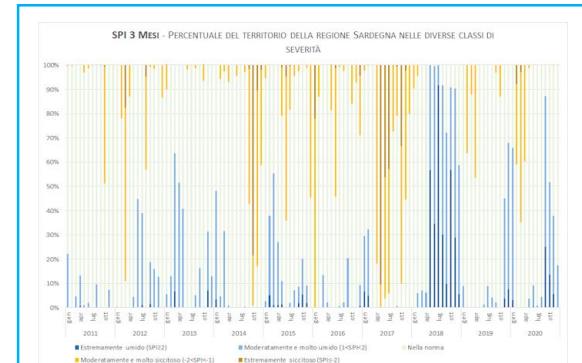


Figura 1 – Standardized Precipitation Index su 3 mesi

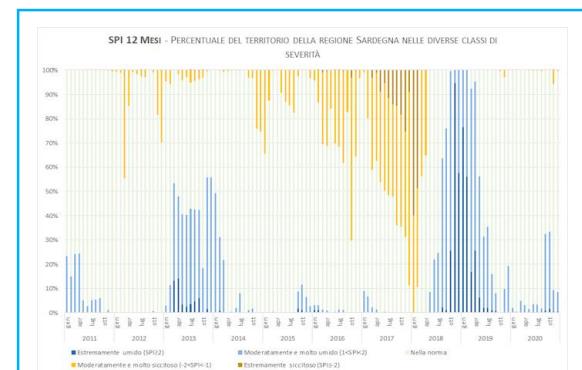


Figura 2 – Standardized Precipitation Index su 12 mesi



Foto: Michele Fiori (ARPA Sardegna)

## Referenti:

Michele Fiori – ARPA SARDEGNA  
[mfiori@arpa.sardegna.it](mailto:mfiori@arpa.sardegna.it)

Andrea Motroni – ARPA SARDEGNA  
[amotroni@arpa.sardegna.it](mailto:amotroni@arpa.sardegna.it)

## 6.4 SUOLO E TERRITORIO



# VARIAZIONE DELL'EROSIONE IDRICA DEL SUOLO

## Fattori climatici

Precipitazioni

## Altri fattori

Caratteristiche geologiche, pedologiche, idrologiche, morfologiche e vegetazionali, attività umane.

## Caratterizzazione impatto



Il fattore climatico contribuisce in maniera diretta perché l'intensità delle precipitazioni concentrate in brevi intervalli di tempo influisce direttamente sulla perdita di suolo.



L'impatto può essere attutito o accentuato dagli altri fattori come le caratteristiche geologiche, pedologiche, idrologiche, morfologiche e vegetazionali di un territorio ma può essere accelerato dalle attività umane, in particolare da quelle agro-silvo-pastorali (tipi culturali, sistemi di lavorazione e coltivazione, gestione forestale, pascolamento).

L'impatto negativo si manifesta sotto forma di danni diretti derivanti dalla perdita di suolo e danni che possono avvenire lontano dalle aree di distacco come ad esempio l'aumento del trasporto solido dei corsi d'acqua, danni alle infrastrutture e l'inquinamento delle acque superficiali (danni off-site)

## Relazione causa-effetto



Essendo la variabile climatica solo uno dei parametri che concorrono al fenomeno erosivo, si ritiene moderata la relazione causa-effetto. Tuttavia la maggiore concentrazione di precipitazioni dopo prolungati periodi di siccità aumenta il rischio di fenomeni erosivi.



Foto: Domenico Ligato

## Scenario futuro



È stata tentata un'ipotesi di scenario al 2050, considerando per l'erosività delle piogge un incremento medio del 10-15% (scenario HadGEM2 RCP 4.5).

L'erosione del suolo viene valutata prendendo in considerazione l'indice climatico R20 che rappresenta il numero di giorni con precipitazione giornaliera superiore ai 20 mm. Le aree maggiormente suscettibili all'erosione sono state identificate selezionando le classi con una perdita di suolo  $>5$  ( $t \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) secondo la classificazione di suscettibilità all'erosione proposta da ESDAC (*European Soil Data Centre* del JRC). Tali aree sono state integrate successivamente con la percentuale di suolo impermeabilizzato e l'indice climatico R20.



## Numeri e messaggi chiave

L'Italia presenta i valori maggiori con una media di 8.77 tonnellate/ettaro\*anno, rispetto a valori medi di perdita di suolo negli Stati Membri di 2.46 tonnellate/ettaro\*anno, pari a 970 milioni di tonnellate persi annualmente. Gli usi del suolo più penalizzanti risultano essere le aree agricole e quelle caratterizzate da una bassa copertura vegetale.

## Descrizione

L'indicatore fornisce una stima della perdita di suolo per erosione idrica sulla base delle cartografie elaborate a livello europeo tramite il modello RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*).

## Scopo

Valutare il rischio di erosione del suolo dovuto all'azione delle acque meteoriche e di scorrimento superficiale. Tale stima risulta particolarmente utile come strumento decisionale per la pianificazione degli interventi di conservazione del suolo.

## Frequenza rilevazione dati

Non c'è una frequenza di rilevazione dei dati.

## Unità di misura

Tonnellate/ettaro\*anno

## Periodicità di aggiornamento

Non definibile

## Copertura temporale

Gli aspetti climatici presenti nell'equazione coprono l'intervallo 2002-2011.

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

La metodologia utilizzata è l'Equazione Universale di Perdita di Suolo, modello empirico testato su parcelle sperimentali di dimensione standard, in grado di fornire risultati quantitativi sulla perdita di suolo effettiva/potenziale. Il risultato fornisce una stima dell'erosione espressa in termini di tonnellate/ettaro\*anno. I parametri presi in considerazione dall'equazione sono di tipo climatico, pedologico, morfologico, vegetazionale e di uso del suolo.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempistività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# EROSIONE IDRICA DEL SUOLO



## Fonte e accessibilità

### Qualità dell'informazione

I dati derivano da un approccio modellistico che necessita di attente validazioni con verifiche puntuali a terra.

### Limitazioni e possibili azioni

Le valutazioni risentono della scarsa accuratezza dei dati di input utilizzati. L'incremento dei dati pluviometrici, una maggiore continuità nelle serie storiche e un loro aggiornamento con dati più recenti, rappresentano possibili azioni migliorative.

### Riferimenti bibliografici

1. Panagos *et alii* (2015) - The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy - Volume 54, December 2015, Pages 438-447
2. Renard, K.G., Foster, G.R., Weessies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (eds) (1997) - Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703.

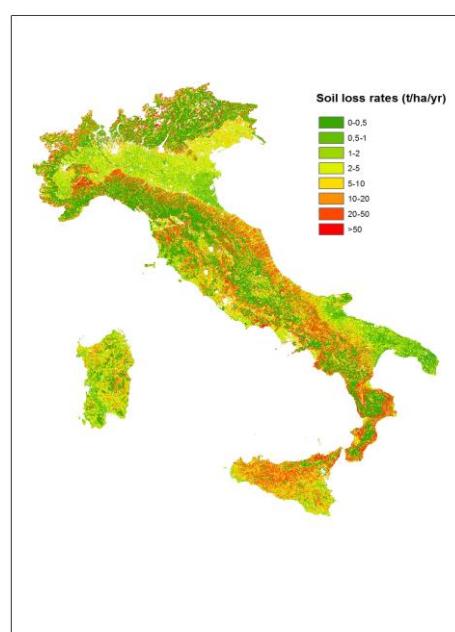


Figura 1 – Perdita di suolo per erosione idrica espressa in ton/ettaro/anno

### Commento al trend



Al momento attuale l'applicazione della formula è avvenuta prendendo in considerazione dati disponibili a livello nazionale che non permettono di delineare un trend. I dati utilizzati nell'equazione fanno riferimento a parametri pressoché fissi (erodibilità del suolo, pendenza e lunghezza del versante) o variabili nel tempo (uso del suolo, erodibilità delle piogge). Una comparazione potrebbe avvenire in futuro prendendo sempre gli stessi dati sui suoli, lo stesso DEM, le stesse stazioni pluviometriche (con intervalli temporali differenti) e un uso del suolo rilevato alla stessa scala di riferimento ma in anni successivi.



Foto: Milos Adobe Stock.com

### Referente:

Marco Di Legnino – ISPRA  
[marco.dileginio@isprambiente.it](mailto:marco.dileginio@isprambiente.it)

# MODIFICA DI FREQUENZA E DISTRIBUZIONE SPAZIALE DEGLI EVENTI FRANOSI

## Fattori climatici

Aumento della frequenza e dell'intensità degli eventi pluviometrici brevi e intensi/estremi, aumento della temperatura, fusione nivale.

## Altri fattori

Morfologia (acclività del versante), litologia (formazioni con scadenti caratteristiche meccaniche), fattori antropici (tagli stradali, scavi, sovraccarichi, mancato presidio e manutenzione, espansione urbana).

## Caratterizzazione impatto



L'impatto dei cambiamenti climatici sui fenomeni franosì è prevalentemente di tipo diretto. L'aumento della frequenza e intensità delle piogge di breve durata ed elevata intensità determina un aumento della frequenza di frane superficiali e colate detritiche. In alta quota l'aumento di temperatura ha effetti sulla degradazione del permafrost, con perdita di coesione dell'ammasso roccioso e quindi della stabilità.



I cambiamenti climatici influenzano in modo indiretto la franosità superficiale attraverso i cambiamenti di uso e copertura del suolo che essi inducono. L'innalzamento della temperatura, associato a periodi prolungati di siccità, può determinare un incremento della frequenza degli incendi, che rendono il suolo vulnerabile a frane superficiali.



L'incremento della frequenza e intensità delle piogge brevi e intense determina un aumento delle colate rapide di fango e detrito con un aggravio del rischio per persone, edifici e infrastrutture. Al contempo la riduzione dei valori cumulati di precipitazione stagionale e l'incremento dell'evapotraspirazione, legato all'aumento della temperatura, potrebbero comportare una diminuzione delle attivazioni delle frane con maggiore profondità della superficie di scivolamento o che coinvolgono terreni a grana fine [1, 2].

## Relazione causa-effetto



L'impatto dei cambiamenti climatici sull'innescio di frane si verifica con modalità differenti nelle sei macroregioni climatiche omogenee individuate sul territorio nazionale [1] ed è inoltre influenzato dalle condizioni naturali e antropiche locali, quali l'uso e copertura del suolo, e in particolare la percentuale di superficie impermeabilizzata.



Colata detritica di Malborghetto-Valbruna (UD). Foto: Inventario dei Fenomeni Franosì in Italia - Regione Friuli Venezia Giulia.

## Scenario futuro



Nelle Macroregioni 1 - Prealpi e Appennino settentrionale, 2 - Pianura Padana, alto versante adriatico e aree costiere centro-meridionali e 3 - Appennino centro-meridionale si attende un incremento della frequenza dei fenomeni franosì superficiali e delle colate detritiche, legati ad eventi pluviometrici brevi e intensi e una potenziale diminuzione delle attivazioni dei fenomeni franosì profondi e di grandi dimensioni, particolarmente in terreni a grana fine, per effetto delle variazioni del bilancio idrologico (maggiori perdite evapotraspirative per incremento di temperatura e riduzione dei valori cumulati di precipitazione stagionale). Nelle Macroregioni 4 - Area alpina, 5 - Italia settentrionale e 6 - Aree insulari e estremo sud dell'Italia si attende un incremento dei fenomeni associati alla fusione nivale, dei fenomeni di instabilità dei complessi rocciosi legati alla degradazione del permafrost e delle colate detritiche (Macroregioni 4 e 5) e dei fenomeni franosì in terreni a grana grossa o in suoli e coperture di spessore ridotto nella Macroregione 6 [2, 1].

# EVENTI FRANOSI PRINCIPALI



## Numeri e messaggi chiave

Sono qualche centinaio (172 nel 2017, 157 nel 2018, 220 nel 2019) i principali eventi di frana sul territorio nazionale che annualmente causano danni a persone, edifici, beni culturali, infrastrutture di comunicazione primarie (autostrade, strade statali, regionali e provinciali, linee ferroviarie) e infrastrutture/reti di servizi. I danni riguardano prevalentemente la rete stradale. Le vittime sono per lo più automobilisti investiti da crolli o colate rapide di fango e detrito lungo la strada o escursionisti colpiti da crolli in montagna.

## Descrizione

L'indicatore fornisce informazioni sui principali eventi franosi che hanno causato morti/dispersi, feriti, evacuati, danni a edifici, beni culturali, infrastrutture di comunicazione primarie o reti di servizi.

## Scopo

L'indicatore fornisce un quadro dei principali eventi franosi verificatisi annualmente sul territorio nazionale a seguito di eventi meteo-pluviometrici, sismici o per cause antropiche. Prendendo in considerazione tutti i fattori di innesco delle frane, non è un indicatore specifico per misurare gli impatti dei cambiamenti climatici ma può essere considerato un indicatore proxy.

## Frequenza rilevazione dati

Giornaliera

## Unità di misura

n. di eventi franosi principali, n. di morti/dispersi e n. di feriti.

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

2010-2019

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- L. 132/2016 "Istituzione del Sistema nazionale a rete per la protezione dell'ambiente e disciplina dell'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale", art. 6 comma 1 lettera g (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia);

- D. Lgs. 152/2006 "Norme in materia ambientale" (raccolta, elaborazione, archiviazione e diffusione dei dati in materia di difesa del suolo e di dissesto idrogeologico riferita all'intero territorio nazionale, artt. 55 e 60).

## Metodologia di elaborazione

Gli eventi franosi principali verificatisi sul territorio nazionale vengono censiti e georiferiti; viene inoltre calcolata la somma annuale del numero dei morti/dispersi e dei feriti e sono individuate le tipologie di danni prodotti dagli eventi.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# EVENTI FRANOSI PRINCIPALI



## Fonte e accessibilità

- Rapporti d'evento disponibili su siti web di Regioni e Province Autonome, ARPA, Protezione Civile, Centri Funzionali, CNR, Enti locali;
- Comunicati stampa su siti web degli Enti gestori delle infrastrutture: Autostrade, ANAS e FS;
- Fonti di cronaca online.

## Qualità dell'informazione

La comparabilità nel tempo e nello spazio sono limitate dalla parziale disomogeneità dei dati e dei metodi di acquisizione.

## Limitazioni e possibili azioni

Gli eventi franosi verificatisi in zone scarsamente abitate o di alta montagna che non hanno causato danni a persone o cose e gli eventi che hanno causato danni ad infrastrutture di comunicazione secondarie non vengono censiti nell'indicatore.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
2. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
3. Iadanza C., Trigila A., Starace P., Dragoni A., Biondo T., Roccisano M., 2021. IdroGEO: A Collaborative Web Mapping Application Based on REST API Services and Open Data on Landslides and Floods in Italy. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2021, 10, 89.
4. ISPRA, 2020. Annuario dei Dati Ambientali Ed. 2019.
5. Trigila A., Iadanza C., Bussettin M., Lastoria B. (2018) Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio Edizione 2018. ISPRA, Rapporti 287/2018.

## Commento al trend



Considerata la limitatezza della serie storica disponibile, non è valutabile un trend dell'indicatore. I danni causati dai principali eventi di frana nel 2019 riguardano prevalentemente la rete stradale (Fig. 1).

Le oscillazioni nel numero di eventi censiti annualmente dal 2010 al 2019 sono da correlare al regime delle precipitazioni nel corso dell'anno, al verificarsi di eventi sismici importanti e alla parziale disomogeneità dei dati di base e dei metodi di acquisizione (Fig. 2).

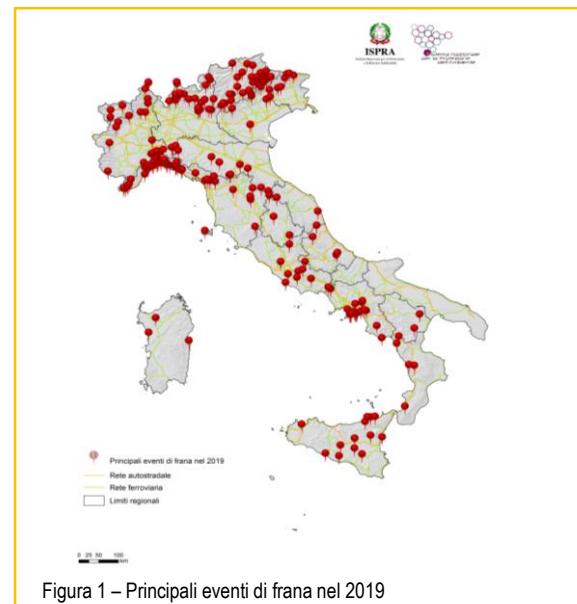


Figura 1 – Principali eventi di frana nel 2019

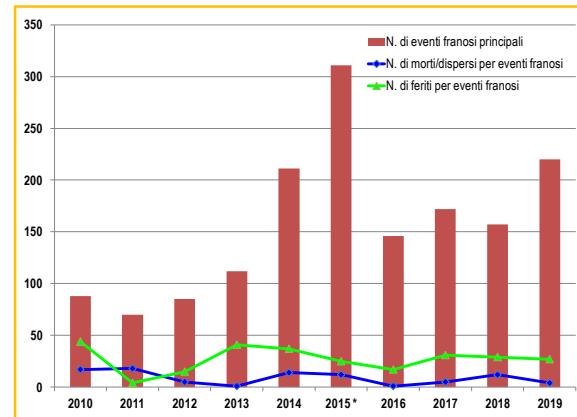


Figura 2 – N. di eventi franosi principali, n. di morti/dispersi e n. di feriti per eventi franosi dal 2010 al 2019.

\* L'elevato numero di eventi franosi nel 2015 è legato al contributo, in via sperimentale, delle Regioni/Province Autonome al popolamento dell'indicatore.

## Referenti:

Carla Iadanza – ISPRA  
[carla.iadanza@isprambiente.it](mailto:carla.iadanza@isprambiente.it)

Alessandro Trigila – ISPRA  
[alessandro.trigila@isprambiente.it](mailto:alessandro.trigila@isprambiente.it)

# VARIAZIONE DELLA CAPACITÀ EROSIVA DELLE PRECIPITAZIONI

## Fattori climatici

Precipitazioni e temperature.

## Altri fattori

Pedologia, morfologia del versante (lunghezza e pendenza del versante), pratiche agricole, uso del suolo, opere di sistemazione idraulica.

## Caratterizzazione impatto



Le precipitazioni rappresentano la forza determinante dei processi erosivi. Variazioni della climatologia delle precipitazioni hanno effetti sui fenomeni di erosione e di dissesto idrogeologico. Si può ipotizzare che l'incremento delle temperature in atto possa influenzare la frequenza e la magnitudo dei fenomeni convettivi che sono la causa delle precipitazioni intense, fenomeni, questi, maggiormente impattanti sull'erosione del suolo.

Gli effetti erosivi delle precipitazioni possono essere potenziati o ridotti dalle caratteristiche morfologiche, geopedologiche, culturali e gestionali del territorio (pedologia degli strati superficiali del terreno, copertura del suolo e pratiche agricole).



L'incremento della capacità erosiva delle precipitazioni ha effetti sulla perdita della parte superficiale del suolo, con conseguenti danni che si verificano sia nel luogo in cui l'erosione ha avuto atto (on-site), che in località lontane (off-site). Precipitazioni omogeneamente distribuite nel tempo e nello spazio e determinate da eventi poco intensi, riescono ad infiltrarsi nel terreno, garantendo la disponibilità delle risorse idriche nel suolo e nella falda.

L'erosione del suolo è comunque un fattore naturale che ha contribuito a modellare il territorio e che contribuisce al ripascimento dei litorali.

## Relazione causa-effetto



Le precipitazioni forniscono l'energia che causa i processi di erosione dei suoli. L'energia erosiva delle precipitazioni, sul territorio italiano, è un importante elemento di potenziale innesco dei fenomeni erosivi e di dissesto idrogeologico. L'entità effettiva dei fenomeni erosivi dipende però da un complesso di fattori naturali ed antropici.

Foto: Matteo Cesca (ARPA Veneto)



## Scenario futuro



Le proiezioni del clima futuro per l'Europa con scenario emissivo elevato (RCP8.5) individuano incrementi statisticamente significativi delle precipitazioni annuali nel settore centrale e settentrionale fino al 30% e decrementi sul settore meridionale fino al 40%, particolarmente concentrati nel periodo estivo con riferimento alle proiezioni future per il periodo 2071-2100 rispetto al periodo 1971-2000. Anche in presenza di scenari emissivi medi (RCP4.5) le variazioni risulterebbero dello stesso tipo anche se di entità minore.

Per quanto riguarda le variazioni di intensità delle precipitazioni nel futuro, i risultati dei modelli climatici ad alta risoluzione indicano che le intensità degli eventi estremi di durata sub-giornaliera siano destinate ad aumentare in conseguenza all'innalzamento delle temperature, con incrementi teorici stimati di circa 7% per °C.



# FATTORE R EROSVITÀ MEDIA ANNUA DELLE PRECIPITAZIONI

## Numeri e messaggi chiave

Erosività media annua delle precipitazioni o fattore R esprime il contributo energetico fornito dalle precipitazioni per attivare i processi erosivi del suolo. R valuta l'effetto combinato di durata, quantità e intensità di ciascun evento di precipitazione. In Veneto, confrontando l'andamento dell'erosività media annua nel corso degli ultimi 28 anni, sono emersi diffusi segnali di incremento del fattore R negli ultimi 14 anni rispetto ai 14 precedenti, mediamente circa del +15%.

## Descrizione

Secondo il metodo RUSLE il fattore R è il prodotto tra l'energia cinetica dell'evento piovoso (E) e la massima intensità su un intervallo di 30 minuti ( $I_{30}$ ).

## Scopo

Il fattore R sintetizza gli effetti combinati delle variazioni, nel tempo, dei quantitativi totali di precipitazione e delle intensità di questi eventi, in termini di variazione del potenziale effetto erosivo della pioggia.

## Frequenza rilevazione dati

Precipitazioni in mm rilevate ogni 5 minuti

## Unità di misura

$\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{yr}^{-1}$

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

1992-2019

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- Agenda 2030 Sviluppo Sostenibile (ob. 15.3)
- UN Convention to Combat Desertification
- Normativa UN, principio della Land Degradation Neutrality

## Metodologia di elaborazione

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{mj} (E I_{30})_k$$

R = erosività media annua delle precipitazioni

n = numero di anni considerati

mj = n. eventi erosivi presi in considerazione nell'anno j

$E I_{30}$  = indice di erosività dell'evento k ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ )

La procedura di calcolo del Fattore R della RUSLE è descritta in bibliografia.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# FATTORE R EROSVITÀ MEDIA ANNUA DELLE PRECIPITAZIONI



## Fonte e accessibilità

I dati utilizzati per il calcolo del fattore R - Erosività media annua risiedono nella banca dati dell'ARPA Veneto denominata SIRAV e possono essere richiesti sia come dati elementari di precipitazione sia come dati elaborati di erosività.

## Qualità dell'informazione

I dati di precipitazione utilizzati sono rilevati dalla rete di stazioni meteorologiche gestita da ARPAV e sono quotidianamente controllati e validati.

## Limitazioni e possibili azioni

Per il calcolo dell'energia erosiva delle precipitazioni sono disponibili in letteratura diverse formule. Sarebbe utile valutare l'esistenza di formule specifiche per la climatologia delle precipitazioni italiane. L'analisi del fattore R basata sulle osservazioni aggiornate ed eventualmente sulle proiezioni modellistiche può fornire informazioni di sintesi e aggiornate sull'andamento di un fondamentale elemento che è causa dei fenomeni di erosione del suolo.

## Riferimenti bibliografici

- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965) - Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains - guide for selection of practices for soil and water conservation. Agriculture handbook No 282, USDA, Washington.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weessies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C. (eds) (1997) - Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA, Agriculture Handbook 703.
- Brown, L.C., Foster, G.R., (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. Trans. ASAE 30, 379-386.
- Panagos, P., Ballabio, C., Borrelli, P., Meusburger, K., Klik, A., Rousseva, S., Tadic, M.P., Michaelides, S., Hrabalíková, M., Olsen, P., Aalto, J., Lakatos, M., Rymszewicz, A., Dumitrescu, A., Beguería, S., Alewell, C. (2015) Rainfall erosivity in Europe. Sci Total Environ. 511, 801-814.

## Commento al trend



In Veneto è stato considerato il periodo di 28 dal 1992 al 2019 (Fig. 1). Confrontando il periodo 2006-2019 con 1992-2005 (Fig. 2) si osserva che 95 stazioni su 111 presentano un aumento del fattore R negli ultimi 14 anni con un aumento medio del 15% rispetto ai valori del 1992-2005.

Su 29 di queste 95 stazioni applicando un test statistico (Mann-Kendall test) il trend in aumento è risultato significativo.

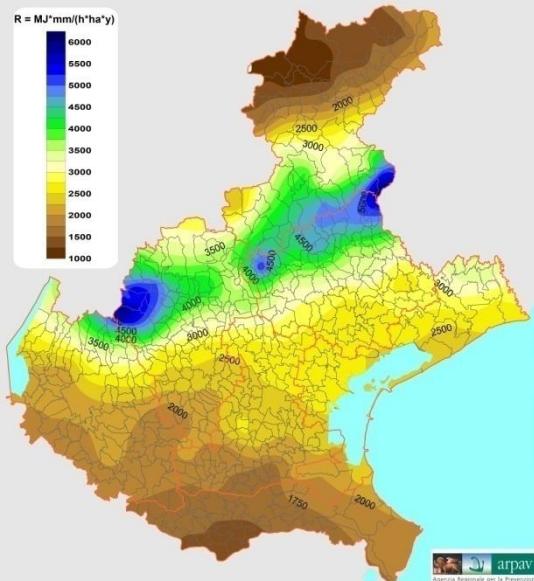


Figura 1 – Erosività media annua del periodo 1992-2019 in Veneto.

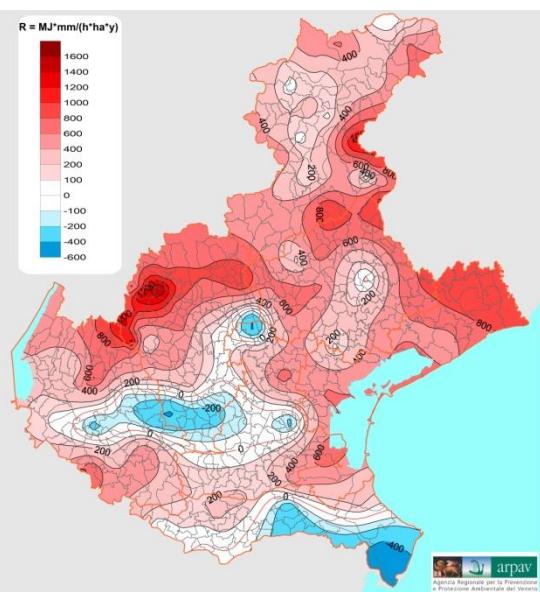


Figura 2 – Variazione dell'erosività media annua tra il periodo 2006-2019 e il periodo 1992-2005.

## Referente:

Francesco Rech – ARPAV  
[francesco.rech@arpa.veneto.it](mailto:francesco.rech@arpa.veneto.it)

# VARIAZIONE SPAZIO/TEMPORALE DEL CONTENUTO IDRICO DEL SUOLO

## Fattori climatici

Temperatura dell'aria, umidità relativa dell'aria, temperatura del suolo, precipitazione, livello di falda, vento, radiazione solare, copertura nuvolosa.

## Altri fattori

Copertura vegetale, tessitura del suolo, idrogeologia.

## Caratterizzazione impatto



L'umidità del suolo ha un impatto diretto nei processi di interazione tra suolo, vegetazione ed atmosfera. Lo stato di umidità del suolo infatti è la variabile fondamentale nei processi di bilancio idrico ed energetico che avvengono all'interfaccia suolo atmosfera. L'impatto della sua variazione spazio/temporale influenza le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche del suolo, rispondendo dinamicamente ai complessi processi eco-idrologici che si susseguono nello strato superficiale del suolo. Impatta altresì direttamente nella disponibilità idrica per le piante e determina modificazioni nel microclima ovvero umidità e temperatura all'interfaccia suolo atmosfera.



L'umidità del suolo è anche una variabile idrologica essenziale che impatta negativamente sui processi di trasformazione afflussi-deflussi ossia piogge-portate dei corsi d'acqua. L'impatto è altresì negativo poiché influenza lo stato di salute o di stress degli ecosistemi superficiali del suolo e dei sistemi di produzione agricoli.

## Relazione causa-effetto



L'umidità del suolo costituisce il legame fisico tra clima, suolo e vegetazione. Le condizioni di umidità del suolo determinano, infatti, conseguenze dirette sia sui volumi di deflusso superficiale sia nei processi di trasformazione piogge – portate generano piene fluviali o allagamenti pluviali. Elevata relazione causa-effetto è evidente inoltre tra umidità del suolo e stato della vegetazione.



Foto: Francesco Fusto (ARPACAL)

## Scenario futuro



La variazione attesa nella disponibilità e qualità della risorsa idrica è strettamente collegata alla proiezione del regime delle precipitazioni che indica una riduzione della precipitazione nella stagione estiva, mentre ci sono discordanze tra i vari cluster di anomalia per la stagione invernale, considerando lo scenario RCP 4.5.

Viene inoltre indicato un incremento della salinizzazione nelle aree costiere, una perdita di sostanza organica nelle aree agricole, un incremento dell'aridificazione o perdita umidità dei suoli e dell'erosione nelle zone agricole collinari [1].



## Numeri e messaggi chiave

In agricoltura, generalmente, suoli più umidi contribuiscono a ridurre i consumi di acqua. L'analisi dei dati disponibili per i due siti analizzati non evidenzia un trend definito per quanto riguarda il valore minimo, massimo e medio giornaliero, mensile ed annuale.

### Descrizione

Umidità del suolo

### Scopo

Consente di determinare le variazioni di contenuto idrico nel suolo a diverse profondità rispetto al piano campagna.

### Frequenza rilevazione dati

Ogni 15 – 30 minuti.

### Unità di misura

% Volume (volume acqua/volume suolo)

### Periodicità di aggiornamento

1 anno

### Copertura temporale

2001-2020

### Copertura spaziale

Locale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

La serie storica dei dati è stata analizzata attraverso degli istogrammi in cui sono stati riportati in ascissa il tempo di rilevamento ed in ordinata il valore assunto dall'indicatore.

In particolare sono stati elaborati i dati rilevati a 20 minuti, il valore massimo, minimo e medio giornaliero, mensile ed annuale.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

Describe il trend in atto

► e l'evolversi della situazione ambientale

► Semplice e facile da interpretare

► Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

► Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

► Documentato e di qualità nota

► Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

Buona copertura spaziale

► Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

► Basato su standard nazionali/internazionali

► Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

► Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

► Comparabile nel tempo

► Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

I dati sono riferiti ai sensori gestiti da Regioni od ARPA/APPACAL nonché Enti di Ricerca.

### Qualità dell'informazione

La qualità dei dati è influenzata totalmente dallo stato di funzionamento del sensore e dal successivo controllo di qualità.

### Limitazioni e possibili azioni

I limiti principali si riferiscono alla scarsa copertura spaziale dei sensori presenti.

### Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
2. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.

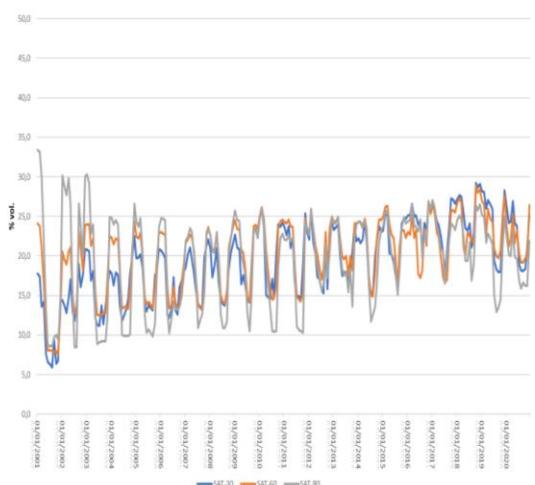


Figura 1 – Stazione Satriano Marina: medie mensili

### Commento al trend

L'analisi dei dati disponibili per i due siti analizzati (Fig. 1 e Fig. 2) non evidenzia un trend definito per quanto riguarda il valore minimo, massimo e medio giornaliero, mensile ed annuale.

Il grafico delle intensità rilevate di umidità del suolo a scala sub-oraria consente di evidenziare lo stretto legame tra contenuto idrico del suolo e precipitazione.

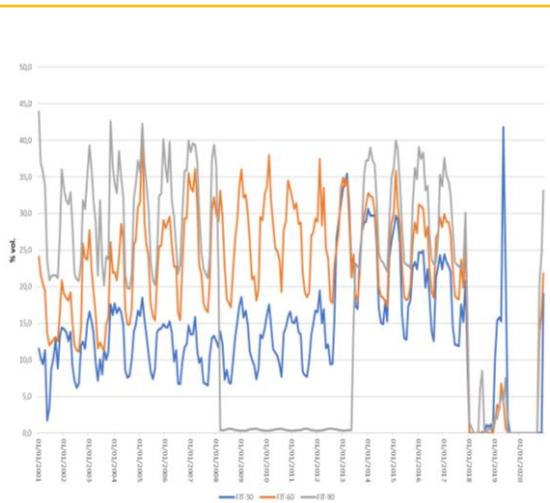


Figura 2 – Stazione Fitterizzi Marina: medie mensili

Referente:  
Francesco Fusto – Arpa Calabria  
[f.fusto@arpacal.it](mailto:f.fusto@arpacal.it)

## 6.5 ECOSISTEMI TERRESTRI



# PEGGIORAMENTO DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DEGLI UCCELLI MIGRATORI

## Fattori climatici

Temperature primaverili in Europa.

## Altri fattori

Modificazione e distruzione degli habitat, cattura e uccisioni illegali.



## Caratterizzazione impatto

Il riscaldamento globale provoca un anticipo del picco della presenza di insetti in primavera. Per gli uccelli migratori provenienti dall'Africa è fondamentale riuscire ad anticipare la migrazione, in modo da giungere nei quartieri riproduttivi prima rispetto al passato e far coincidere il periodo riproduttivo con quello di maggior abbondanza di risorse trofiche necessarie per allevare la prole. Un mancato anticipo della migrazione si traduce in una bassa resilienza delle popolazioni ai cambiamenti climatici, con effetti negativi sulla loro sopravvivenza.



È stata dimostrata la relazione tra la variazione temporale della data di migrazione e lo stato di conservazione in Europa degli uccelli migratori: le specie che non si adattano al riscaldamento globale anticipando in maniera significativa la data di migrazione versano in un cattivo stato di conservazione.

## Relazione causa-effetto



L'aumento delle temperature primaverili comporta un anticipo nella comparsa degli insetti, con cui gli uccelli nutrono la prole. Per arrivare al nido quando la disponibilità alimentare è al massimo, evitando così conseguenze negative su sopravvivenza e riproduzione, gli uccelli devono anticipare la migrazione.



Foto: Gaia Bazzi (ISPRA)

## Scenario futuro



Un lavoro pubblicato nel 2008 sulla rivista scientifica PNAS ha evidenziato che le popolazioni di uccelli che non mostravano un significativo anticipo della data di migrazione primaverile versavano in un cattivo stato di conservazione nel periodo 1990-2000, mentre quelle che avevano risposto meglio al cambiamento climatico, anticipando la fenologia di migrazione, mostravano uno stato di conservazione stabile o in miglioramento nello stesso periodo. In Europa, gli uccelli migratori continuano in generale a presentare un declino di popolazione anche nel più recente periodo, 2001-2012/15. Tali evidenze suggeriscono un continuo impatto dei cambiamenti climatici sulle specie migratrici che, nel prossimo periodo, potrebbe portare ad una drastica diminuzione delle dimensioni di popolazioni e a estinzioni locali, con conseguente contrazione degli areali di nidificazione.

# INDICE DI VARIAZIONE DELLA DATA DI MIGRAZIONE PRIMAVERILE



## Numeri e messaggi chiave

L'indice si basa sull'analisi della data di migrazione di 223.598 individui appartenenti a 6 specie di uccelli. I dati sono stati raccolti presso 26 siti in un arco temporale di 29 anni (1988-2016) nell'ambito del Progetto Piccole Isole coordinato da ISPRA. Il 66% delle specie mostra un anticipo lento o nullo della data di migrazione primaverile, non mostrando quindi resilienza ai cambiamenti climatici. La Balia nera è la specie che mostra in media l'anticipo più veloce della data di migrazione (1 giorno ogni 3,4 anni), seguita dal Codirossò comune (1 giorno ogni 4,8 anni).

## Descrizione

L'indice è basato sull'analisi della data di passaggio di migratori innalzati presso i primi siti europei di arrivo dall'Africa nell'ambito del Progetto Piccole Isole, coordinato da ISPRA.

## Scopo

Valutare la resilienza dei piccoli uccelli migratori ai cambiamenti climatici, attraverso l'analisi delle variazioni nella data di migrazione pre-riproduttiva di diverse specie di uccelli, passeriformi e specie affini. La resilienza ai cambiamenti climatici è un fattore che incide in maniera chiara sullo stato di conservazione delle specie di uccelli migratori.

## Frequenza rilevazione dati

Annuale

## Unità di misura

Giorno/anni

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

1988-2016

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- Direttiva n. 79/409/CEE relativa alla conservazione degli uccelli selvatici (Direttiva Uccelli)
- Legge 157/92 – Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio
- Convenzione di Bonn – CMS – Convenzione sulle Specie Migratrici appartenenti alla fauna selvatica

## Metodologia di elaborazione

L'indice è attualmente calcolato su 5 specie di uccelli: Beccafico, Balia nera, Codirossò comune, Usignolo, Cannaiola e Torcicollo. Per ognuna è stato costruito un modello (GLMM) della data giuliana di cattura, con fattori fissi: Anno; *Winter NAO index*, indice metereologico che influenza la vegetazione e quindi le risorse trofiche; latitudine; longitudine. Il sito di cattura è stato inserito come fattore *random* e l'anno anche come *random-slope* (rimossa se non significativa).

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# INDICE DI VARIAZIONE DELLA DATA DI MIGRAZIONE PRIMAVERILE



## Fonte e accessibilità

Banca dati inanellamento uccelli, gestita dalla Sezione Inanellamento Uccelli, Area BIO-AM di ISPRA.

## Qualità dell'informazione

Dipende dalla sovrapposizione tra il periodo di campionamento (15 aprile-15 maggio) e quello di migrazione. Nelle 6 le specie analizzate il criterio è rispettato.

## Limitazioni e possibili azioni

Al momento l'indice è basato su un numero ridotto di specie (6) ma è in previsione un incremento delle specie da includere, per fornire un quadro più rappresentativo dei migratori trans-sahariani europei.

## Riferimenti bibliografici

- Both C. e Visser M. E., 2001. Adjustment to climate change is constrained by arrival date in a long-distance migrant bird. *Nature*, 411: 296-298.
- Jonzén N., Lindén A., Ergon T., ... e Stervander M., 2006. Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. *Science*, 312: 1959-1961.
- Møller A. P., Rubolini D. e Lehikoinen E., 2008. Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105: 16195-16200.

## Commento al trend



L'analisi per specie mostra un anticipo sostanziale della data di migrazione primaverile per la Balia nera e il Codirosson comune, che quindi sembrano mostrare un certo grado di resilienza al riscaldamento globale (Fig. 1). Al contrario, Beccafico, Cannaiola, Usignolo e Torcicollo mostrano un lento o nullo anticipo della data di migrazione primaverile, non rispondendo dunque in maniera adeguata ai cambiamenti ambientali che scaturiscono dall'aumento delle temperature primaverili. Per come è composto ora l'indice, si può affermare che la maggior parte delle specie analizzate non mostra una adeguata risposta agli effetti del riscaldamento globale.

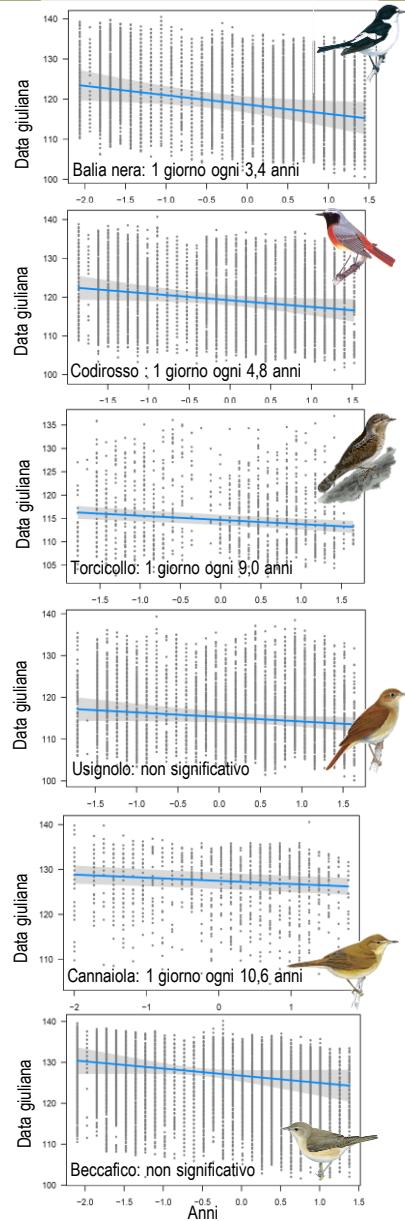


Figura 1 – Variazione della data di migrazione primaverile di 6 migratori

## Referenti:

Fernando Spina – ISPRA  
[fernando.spina@isprambiente.it](mailto:fernando.spina@isprambiente.it)

Jacopo G. Cecere – ISPRA  
[jacopo.cecere@isprambiente.it](mailto:jacopo.cecere@isprambiente.it)

# PEGGIORAMENTO DELLE CONDIZIONI FISICHE DEGLI UCCELLI DURANTE LA MIGRAZIONE PRIMAVERILE

## Fattori climatici

Precipitazioni nel Sahel, temperatura superficiale dell'Oceano Atlantico.

## Altri fattori

Desertificazione del Sahel, cambiamenti nell'uso del suolo, sovrappascolo, alterazioni dei corsi d'acqua, taglio della vegetazione, sfruttamento di ambienti pristini nel Sahel e immediatamente a sud.

## Caratterizzazione impatto



Il Sahel svolge un ruolo fondamentale per gli uccelli migratori afro-paleartici: è qui che si trovano le aree di sosta più importanti dove accumulare le riserve di energia (grasso sottocutaneo) necessarie ad attraversare Sahara e Mediterraneo in primavera. L'impatto del clima sull'ingrassamento è mediato dalla risposta degli ecosistemi del Sahel (es. desertificazione/greening) al riscaldamento climatico, di concerto con i cambiamenti di uso del suolo.



Per i migratori Europei è vitale che l'accumulo di grasso avvenga in quantità, tempi e luoghi appropriati, perché ciò ha un effetto sulla sopravvivenza a breve termine e sul successo riproduttivo. I cambiamenti climatici riducono la prevedibilità nel tempo e nello spazio delle risorse trofiche del Sahel, rendendo difficile per i migratori accumulare il grasso necessario per migrare, anche a fronte di cambiamenti delle condizioni nel Sahel e dell'arretramento verso sud delle foreste equatoriali.

## Relazione causa-effetto



I cambiamenti climatici e ambientali provocano l'alterazione nel tempo e nello spazio della disponibilità di risorse trofiche. La scomparsa o la degradazione dei siti di alimentazione nel Sahel si può ripercuotere sull'ingrassamento e quindi sulla mortalità e sul successo riproduttivo in Europa.



Foto: Gaia Bazzi (ISPRA)

## Scenario futuro



Gli uccelli possono rispondere al deterioramento dei siti di sosta modificando il comportamento migratorio e la fisiologia solo fino a un certo limite, oltre il quale la mortalità aumenta e le condizioni all'arrivo ai siti di nidificazione peggiorano, con conseguenze negative sul successo riproduttivo. Inoltre, se la disponibilità di cibo nei siti di sosta diminuisce, il tempo impiegato per la deposizione del grasso aumenta, provocando un ritardo nell'arrivo ai quartieri riproduttivi in Italia e resto d'Europa e accrescendo la probabilità di incorrere in un altro effetto negativo del cambiamento climatico, l'*ecological mismatch*. Si prevede che in futuro, se le alterazioni climatiche e ambientali nel Sahel (e in generale nell'Africa sub-Saharanica) persistranno, si osserverà un aumento della mortalità durante le migrazioni e una riduzione del successo riproduttivo in Italia e in generale in Europa, dovute alle peggiori condizioni all'arrivo al nido e all'*ecological mismatch*. È plausibile che tutto ciò porti a un peggioramento dello stato di conservazione degli uccelli migratori, già non ottimale.

# INDICE DI CONSISTENZA DEGLI ACCUMULI DI GRASSO DURANTE LA MIGRAZIONE PRIMAVERILE



## Numeri e messaggi chiave

L'indice si basa sull'analisi della data di migrazione di 221.713 individui appartenenti a 5 specie di uccelli.

I dati sono stati raccolti presso 26 siti italiani in un arco temporale di 29 anni (1988-2016) nell'ambito del Progetto Piccole Isole coordinato da ISPRA. Nessuna delle specie mostra una variazione del numero relativo di individui magri. Ciò potrebbe indicare un adattamento agli effetti dei cambiamenti climatici o l'impossibilità di distinguere effetti che agiscono in maniera opposta in aree diverse dell'Africa sub-Sahariana.

## Descrizione

L'indice è basato sull'analisi della consistenza dei depositi di grasso nei migratori inanellati presso i primi siti europei di arrivo dall'Africa nell'ambito del Progetto Piccole Isole, coordinato da ISPRA.

## Scopo

Valutare la capacità dei migratori a lungo raggio di adattarsi all'alterazione nel tempo e nello spazio delle risorse trofiche nel Sahel, utilizzate per attraversare Sahara e Mediterraneo in primavera e che incidono sullo stato di conservazione delle popolazioni italiane ed europee attraverso un meccanismo mediato da sopravvivenza e successo riproduttivo.

## Frequenza rilevazione dati

Annuale

## Unità di misura

Numero di uccelli magri sul totale/anni

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

1988-2016

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- Direttiva n. 79/409/CEE relativa alla conservazione degli uccelli selvatici (Direttiva Uccelli)
- Legge 157/92 – Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterna e per il prelievo venatorio
- Convenzione di Bonn – CMS – Convenzione sulle Specie Migratrici appartenenti alla fauna selvatica

## Metodologia di elaborazione

L'indice è attualmente calcolato su 5 specie di uccelli: Beccafico, Balia nera, Codirosson comune, Usignolo, Cannaiola. Per ognuna è stato costruito un modello (GLMM) del numero uccelli magri/totale per ogni sito di cattura, con fattori fissi: Anno; *Winter NAO index*, indice meteorologico che influenza la vegetazione e quindi le risorse trofiche; precipitazioni nel Sahel nell'inverno precedente la cattura, che influenzano la vegetazione e quindi le risorse trofiche. Il sito di cattura è stato inserito come fattore *random* e l'anno anche come *random-slope* (rimossa se non significativa).

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# INDICE DI CONSISTENZA DEGLI ACCUMULI DI GRASSO DURANTE LA MIGRAZIONE PRIMAVERILE



## Fonte e accessibilità

Banca dati inanellamento uccelli, gestita dalla Sezione Inanellamento Uccelli, Area BIO-AMV di ISPRA

## Qualità dell'informazione

Dipende principalmente dalla coincidenza dell'ultimo stop-over con siti posti nel Sahel. È stato dimostrato come questo sia vero per molte specie.

## Limitazioni e possibili azioni

Al momento l'indice è basato su un numero ridotto di specie (5) ma è in previsione un incremento delle specie da includere, per fornire un quadro più rappresentativo dei migratori.

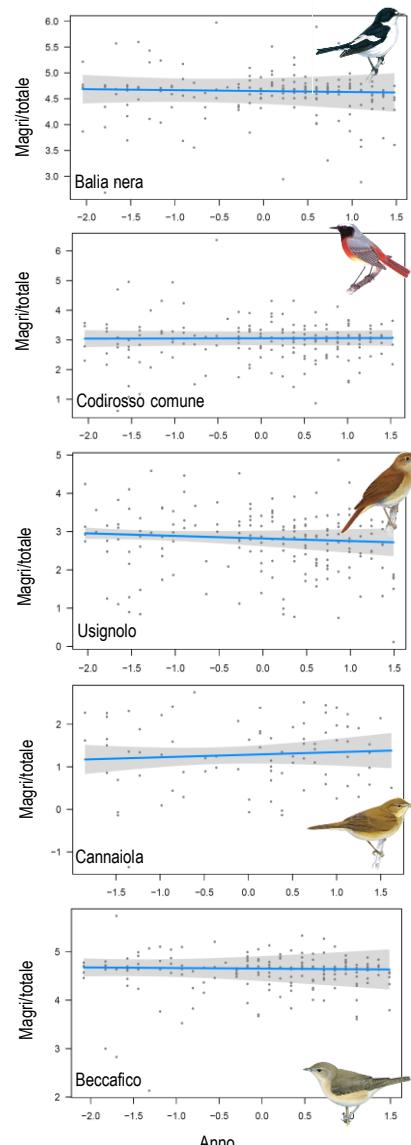
## Riferimenti bibliografici

- Adams W.M., Small R.D.S. e Vickery J.A., 2014. The impact of land use change on migrant birds in the Sahel. *Biodiversity* 15.2-3: 101-108.
- Bairlein F. e Hüppop O., 2004. Migratory fuelling and global climate change. *Advances in ecological research* 35: 33-47. Bayly N.J., Atkinson P.W. e Rumsey S., 2012. Fuelling for the - Sahara crossing: variation in site use and the onset and rate of spring mass gain by 38 Palearctic migrants in the western Sahel. *Journal of Ornithology* 153.3: 931-945.

## Commento al trend



Nessuna delle specie mostra una variazione del numero relativo di uccelli magri in passaggio sull'Italia durante la migrazione primaverile (Fig.1), che sembra essere per alcune specie principalmente in relazione con le condizioni meteo di Europa e Nord Africa (*winter NAO index*). È possibile che il pattern osservato sia dovuto ad un adattamento ai cambiamenti in atto, oppure potrebbe essere il risultato del passaggio presso i siti di campionamento di popolazioni con rotte di migrazione e siti di sosta diversi, che si trovano a fronteggiare cambiamenti ambientali dal trend opposto in aree differenti del Sahel e delle zone circostanti.



Non significativi

Figura 1 – Variazione delle condizioni fisiche durante la migrazione primaverile di 5 migratori trans-sahariani

## Referenti:

Fernando Spina – ISPRA  
[fernando.spina@isprambiente.it](mailto:fernando.spina@isprambiente.it)

Jacopo G. Cecere – ISPRA  
[jacopo.cecere@isprambiente.it](mailto:jacopo.cecere@isprambiente.it)

# MODIFICA DEL CICLO VITALE

## Fattori climatici

In prevalenza aumento della temperatura.

## Altri fattori

Interventi di manutenzione del giardino fenologico (es. potature), creazione di un microclima locale a seguito dell'infittimento del giardino.

## Caratterizzazione impatto



La temperatura è il principale fattore che regola lo sviluppo delle piante e ne determina la comparsa delle diverse fasi fenologiche. La modifica delle temperature determina in maniera diretta una variazione nel calendario fenologico delle piante. Altri fattori climatici sono il fotoperiodo e la disponibilità idrica. Diversi studi evidenziano come il riscaldamento globale abbia provocato negli ultimi anni un generale anticipo delle fasi primaverili e un ritardo di quelle autunnali (segna meno evidente), con conseguente allungamento della stagione di crescita [1].



Non è possibile stabilire se l'impatto sia negativo o positivo, poiché la risposta delle piante non è univoca. Caratterizzare l'impatto in termini positivi o negativi dipende anche dal tipo di pianta (se spontanea o di interesse agricolo) e dall'area di studio, e più in generale dall'ambito considerato (es. produttivo, ambientale, naturalistico).

## Relazione causa-effetto



Le fasi di sviluppo delle piante, soprattutto in ambiente naturale, sono determinate dai fattori climatici, in particolare dalle condizioni termiche. La dipendenza è così forte che a volte la fenologia è considerato un vero e proprio indicatore delle variazioni del clima [2]. Secondo l'IPCC le variazioni osservate nello sviluppo delle piante negli ultimi decenni è con elevata affidabilità attribuibile ai cambiamenti climatici [3].



Foto: Valeria Sacchetti (ARPAE)

## Scenario futuro



Considerata la stretta dipendenza della fenologia di molte piante terrestri dalla temperatura, e alla luce degli scenari climatici futuri, che prevedono anche nel migliore dei casi un riscaldamento, la variazione - in generale l'anticipo delle fasi - è destinata ad accentuarsi. La diversa risposta fenologica tra categorie trofiche potrebbe inoltre portare in futuro a disaccoppiamenti con gravi ripercussioni a livello ecosistemico [3].



## Numeri e messaggi chiave

Non appare dai dati a disposizione un segnale chiaro di modifica del ciclo di sviluppo, se non per alcune specie: il nocciolo (*Corylus avellana L.*) presenta un significativo posticipo della fioritura di circa una settimana per decennio; il tiglio riccio (*Tilia cordata L.*) subisce invece un allungamento della stagione vegetativa di circa 1,5 settimane per decennio.

### Descrizione

L'indicatore esprime le tendenze (anticipo o ritardo) delle principali fasi fenologiche di piante terrestri, qui selezionate in base a un numero minimo di anni di osservazioni disponibili (20 anni).

### Scopo

Lo scopo dell'indicatore è di monitorare la risposta nella fenologia delle piante terrestri al cambiamento del clima, in particolare al riscaldamento terrestre.

### Frequenza rilevazione dati

Osservazioni settimanali

### Unità di misura

Settimane/decennio

### Periodicità di aggiornamento

1 anno

### Copertura temporale

1994-2020

### Copertura spaziale

Locale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

I dati osservativi sono costituiti da date di comparsa di una fase per ogni specie vegetale presente. Tali dati sono stati suddivisi per specie e fase fenologica. Per ogni coppia specie/fase è disponibile quindi una serie di valori annuali. Per ogni serie si sono stimati i coefficienti di regressione lineare con il metodo dei minimi quadrati e il valore di significatività del test di *Mann-Kendall* per la tendenza. Sono state considerate tutte le serie con almeno 20 anni di osservazione nel periodo 1994-2020.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

I dati, di proprietà di Arpa Emilia-Romagna, non sono attualmente pubblicati.

### Qualità dell'informazione

Il riconoscimento delle fasi è a cura di un osservatore, che segue procedure standardizzate, secondo la rete IPC (International Phenological Gardens), e utilizzando apposite schede di rilevamento e chiavi fenologiche stabilite dal Gruppo di lavoro nazionale per i Giardini fenologici (scala GFI, convertibile nella scala internazionale BBCH, Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical Industry).

### Limitazioni e possibili azioni

Le serie hanno lunghezza variabile (da 20 a 27 anni) (1994-2020). Alcune specie rilevanti sul piano nazionale sono sottorappresentate (es. *Robinia pseudoacacia* L.). L'indicatore è limitato ad un singolo giardino fenologico, quindi è auspicabile estendere l'indicatore ad altri dataset osservativi. Alcuni interventi di manutenzione possono avere influito sulla risposta fisiologica della pianta ai fattori climatici. Anche l'infittimento del giardino a seguito della crescita delle piante può avere creato un microclima locale, in particolare nella parte più interna.

### Riferimenti bibliografici

- Menzel A. et al., 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Change Biol.* 12(10), 1969–1976.
- Walkovszky A., 1998. Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *Int J Biometeor.* 41(4), 155–160.
- IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

### Commento al trend



Dal grafico riassuntivo dei trend calcolati su tutto il dataset non appare un segnale univoco (Fig. 1). Nel complesso il trend prevalente sembra positivo (posticipo), soprattutto nelle prime fasi di risveglio dall'inverno (settimane da 1 a 10) e nelle fasi autunnali (settimane da 30 in avanti). La maggior parte dei trend significativi hanno segno positivo. Le fasi centrali, corrispondenti al periodo attorno alla fioritura, presentano una distribuzione più centrata verso lo 0 ad indicare una più uniforme distribuzione nei segni (anticipi e posticipi).

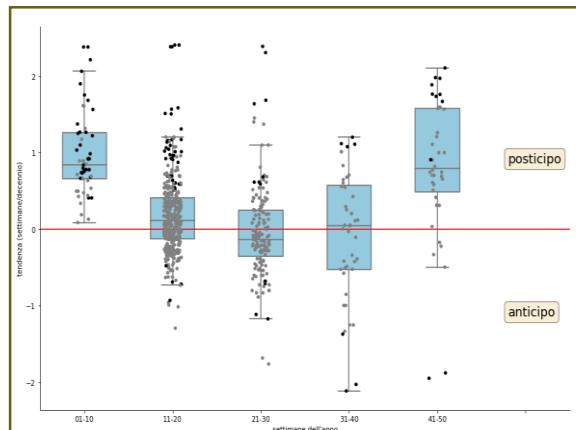
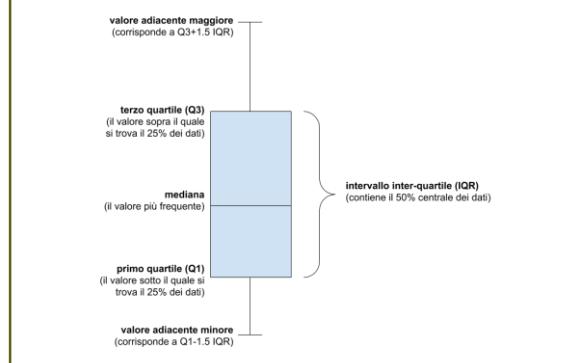


Figura 1 - Trend calcolati per tutte le serie specie/fase disponibili, espressi in funzione della settimana media di occorrenza (gruppi di 10 settimane), evidenziando le serie con trend significativo ( $p > 0.95$ ). Per la spiegazione dei box plot si veda il grafico sotto.



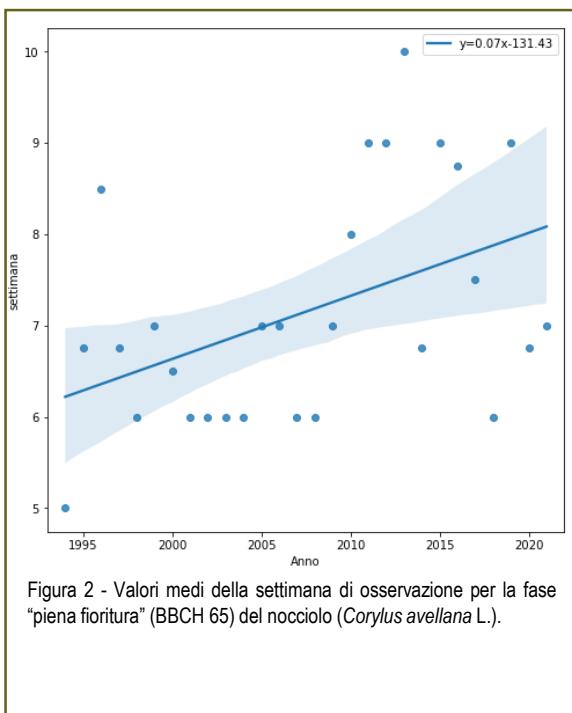


Figura 2 - Valori medi della settimana di osservazione per la fase "piena fioritura" (BBCH 65) del nocciolo (*Corylus avellana L.*).

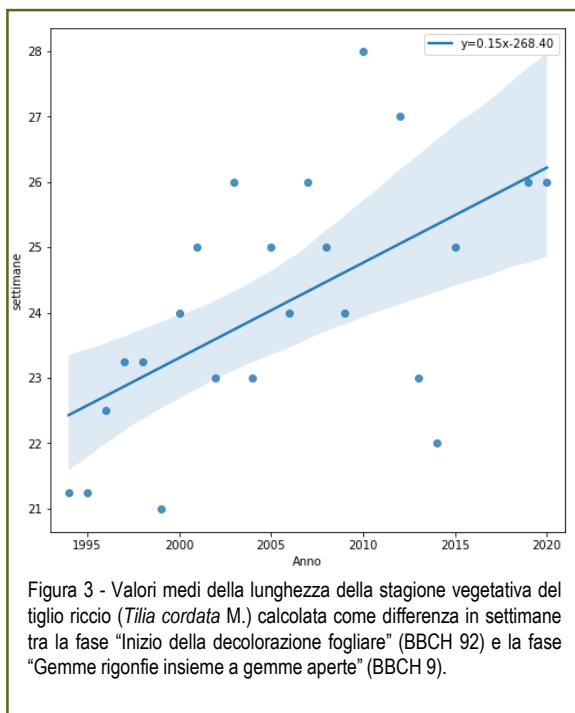


Figura 3 - Valori medi della lunghezza della stagione vegetativa del tiglio riccio (*Tilia cordata M.*) calcolata come differenza in settimane tra la fase "Inizio della decolorazione fogliare" (BBCH 92) e la fase "Gemme rigonfie insieme a gemme aperte" (BBCH 9).

### Commento al trend

I due grafici riportano a titolo di esempio le osservazioni per ogni anno di una coppia specie/fase significativa per la quale sono disponibili più esemplari della stessa specie e per la quale il trend dei valori medi degli esemplari risulta statisticamente significativo ( $p > 0.95$ ). Il nocciolo presenta un significativo ( $p > 0.95$ ) posticipo della fioritura di circa una settimana per decennio (Fig. 2).

Il tiglio riccio subisce invece un significativo ( $p > 0.99$ ) allungamento della stagione vegetativa di circa 1,5 settimane per decennio (Fig. 3).



Foto: Valeria Sacchetti (ARPAE)

Referente:  
Gabriele Antolini – ARPAE Emilia-Romagna  
[gantolini@arpae.it](mailto:gantolini@arpae.it)

# AUMENTO DEL RISCHIO DI SICCITÀ NEGLI AMBIENTI NATURALI

## Fattori climatici

Precipitazioni, temperatura.

## Altri fattori

Tipo di vegetazione, suolo (tessitura, scheletro, profondità del suolo), latitudine, altitudine.

## Caratterizzazione impatto



L'effetto combinato dei trend di temperatura e precipitazione ha determinato un progressivo incremento delle zone secche in tutto il territorio nazionale a partire dal 1961.



I cambiamenti climatici hanno un profondo effetto sulla struttura e sulle funzioni degli ecosistemi, influenzandone composizione, produttività, capacità di regolazione dei cicli biofisici e biochimici e caratteristiche radiative dei suoli. Incrementi dell'aridità e di fenomeni meteorologici estremi come siccità e precipitazioni intense, influenzano gli ecosistemi modificando i rapporti di competizione tra gli organismi con possibile perdita di biodiversità e riflettendosi sulle altre proprietà degli ecosistemi e dei servizi forniti. I cambiamenti climatici possono esacerbare i processi di degrado attraverso complessi e inediti meccanismi di retroazione del sistema suolo-vegetazione acqua.

## Relazione causa-effetto



L'aumento della temperatura può alterare la struttura e le funzioni degli ecosistemi attraverso una più elevata domanda evapotraspirativa ed una maggiore frequenza e intensità dei fenomeni siccitosi e degli stress termici, ma la disponibilità di acqua dipende anche dalle caratteristiche del suolo.



Magredi. Foto: Alberto Villani (ARPA FVG)

## Scenario futuro



Gli scenari di cambiamento climatico per il decennio 2041-2050 nella regione Mediterranea prevedono ulteriormente in aumento l'estensione delle zone secche in Italia, determinando un incremento diretto dell'evapotraspirazione potenziale e del fabbisogno idrico sia della vegetazione naturale sia delle colture agrarie.

L'effetto combinato delle variazioni delle temperature e delle precipitazioni porterà ad un incremento delle condizioni di aridità su quasi tutto il territorio nazionale.

In Friuli Venezia Giulia, i cambiamenti osservati nelle diverse componenti del ciclo dell'acqua hanno come diretta conseguenza un aumento dei giorni in cui le coltivazioni subiscono uno stress idrico e un aumento del deficit evapotraspirativo in particolare nei mesi estivi. Complessivamente, in pianura, nello scenario RCP 8.5 il periodo di stress idrico delle colture potrebbe aumentare anche di 5/6 giorni nel periodo 2071-2100. La diminuita disponibilità di acqua per la vegetazione non riguarda però la sola agricoltura, ma coinvolge anche parte del territorio montano e dunque il patrimonio boschivo.



# DEFICIT TRASPIRATIVO IN AMBIENTI NATURALI

## Numeri e messaggi chiave

L'indicatore stima lo stress idrico della vegetazione. Tutti i trend mostrano valori positivi, segno di un aumento del deficit traspirativo durante l'estate fino a +17 mm/decennio e durante l'intero anno fino a +22 mm/decennio.

L'analisi di significatività dei trend osservati dimostra che il trend dell'indicatore ha quasi sempre una significatività superiore al 95 % (in molti casi anche > al 99 %). Il segnale di questo indicatore è più evidente e meglio collegato al cambiamento climatico rispetto ad altri indicatori che possono essere ottenuti tramite l'elaborazione dei bilanci idrici.

### Descrizione

Il deficit traspirativo della vegetazione è funzione della temperatura e della precipitazione, ma anche della tipologia del terreno, del tipo vegetazionale e dello strato del terreno esplorato dalle radici.

### Scopo

Lo scopo dell'indicatore è stimare lo stato idrico degli ambienti naturali affetti dai cambiamenti climatici ed evidenziarne eventuali trend. Fornisce infatti una stima della quantità d'acqua di cui la vegetazione esaminata è carente nel periodo considerato e che determina uno stress idrico con conseguenze sul ciclo di crescita e riproduttivo ed eventuale deperimento.

### Frequenza rilevazione dati

Giornaliera

### Unità di misura

mm

### Periodicità di aggiornamento

Annuale o stagionale

### Copertura temporale

1961 - 2015

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

Il deficit evapotraspirativo si ottiene dall'elaborazione, tramite apposito software, del bilancio idrico, che stima lo stato idrico del terreno in funzione delle condizioni ambientali (variabili meteorologiche, terreno), culturali (tipo di coltura o vegetazione spontanea) ed eventualmente agronomiche, modellando la dinamica dell'acqua nel suolo. Il calcolo del bilancio idrico in 6 ambienti naturali tipici del Friuli Venezia Giulia ha permesso di quantificare il deficit evapotraspirativo ossia il volume d'acqua mancante rispetto all'evapotraspirazione culturale massima, nell'anno e in estate.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# DEFICIT TRASPIRATIVO IN AMBIENTI NATURALI

## Fonte e accessibilità

I dati sono di proprietà di ARPA FVG e in parte sono stati pubblicati. I dati non pubblicati possono essere richiesti direttamente ad ARPA FVG – S.O.C. OSMER e GRN.

## Qualità dell'informazione

Il calcolo dell'indicatore si basa su un metodo consolidato e sui trend osservati è stata eseguita un'analisi di significatività, evidenziandone la robustezza.

## Limitazioni e possibili azioni

Sono stati considerati alcuni casi "standard" rappresentativi di ambienti tipici della regione. L'indicatore può essere elaborato in altri contesti e/o in modo più articolato disponendo dei dati necessari.

## Riferimenti bibliografici

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (<http://www.fao.org/docrep>).
- Michelutti G., Barbieri S., Bianco D., Zanolla S., Casagrande G., 2006. Inquadramento Agroclimatico. In "Suoli e Paesaggi del Friuli Venezia Giulia. 2. Province di Gorizia e Trieste". ERSA FVG, 19-26.
- Rusco E., Filippi N., Marchetti M., Montanarella L. 2003. Carta Ecopedologica d'Italia scala 1:250.000 Relazione divulgativa a cura di: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. EUR 20774 IT, 45, 10 Maps and extended legend. Office of the Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Salmi T., Määttä A., Anttila P., Ruoho-Airola T., Amnell T., 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the Excel template application Makesens - Ilmanlaadun julkaisuja Publikationer om luftkvalitet Publications on air quality No. 31.
- AAVV, Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia, 2018, ARPA FVG.

## Commento al trend



Tutti i trend mostrano valori positivi, segno di un aumento del deficit traspirativo sia durante l'estate che durante l'intero anno. Inoltre, la significatività di questi trend è quasi sempre molto alta: di conseguenza, rispetto ad altri output dei bilanci idrici, il segnale di questo indicatore è più evidente e meglio collegato al cambiamento climatico. La significatività dei trend individuati da tale indice risulta bassa solo in condizioni di piovosità cumulata molto più elevata rispetto alla richiesta evapotraspirativa e dove, conseguentemente, la siccità è un'evenienza improbabile.

## somma di deficit traspirativo PRATO (MAGREDI), pianura Pasian di Prato (UD) 100 m s.l.m.

arpaFVG

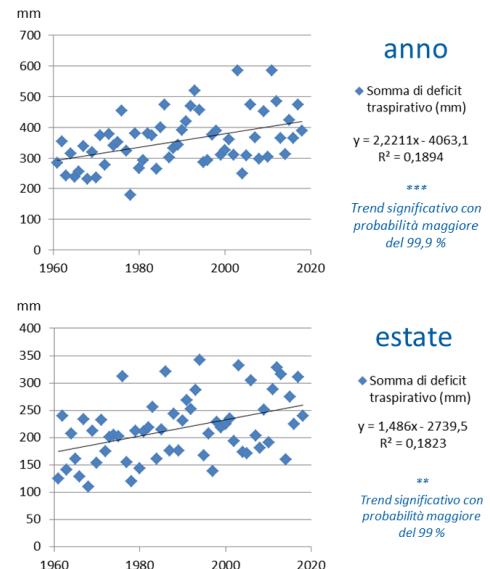


Figura 1 – Somma di deficit traspirativo: prato (magredi), pianura

## somma di deficit traspirativo QUERCO-CARPINETO, pianura Cormons (GO) 50 m s.l.m.

arpaFVG

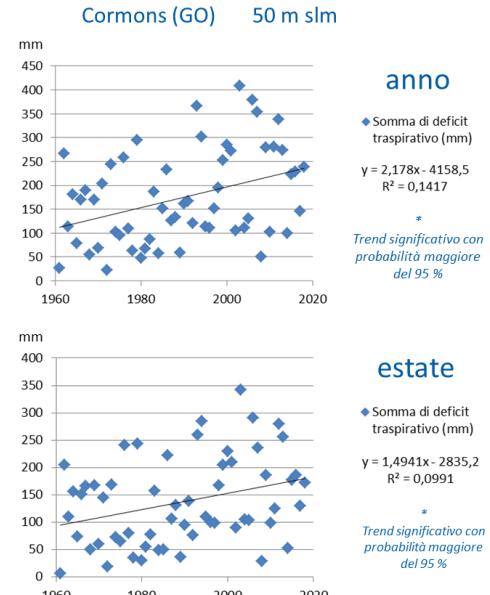


Figura 2 – Somma di deficit traspirativo: querco-carpinetto, pianura



# DEFICIT TRASPIRATIVO IN AMBIENTI NATURALI

## somma di deficit traspirativo PRATO (LANDA CARSICA), Carso

Sgonico (TS) 300 m s.l.m.

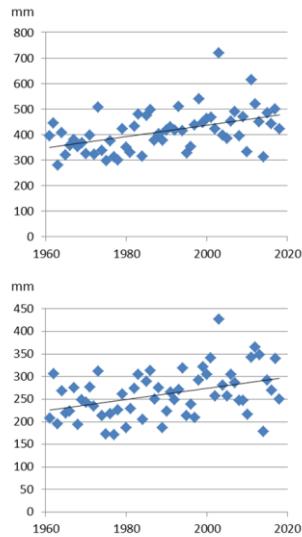


Figura 3 – Somma di deficit traspirativo: prato (landa carsica), Carso

## somma di deficit traspirativo OSTRIO-QUERCETO, Carso

Monrupino (TS) 400 m s.l.m.

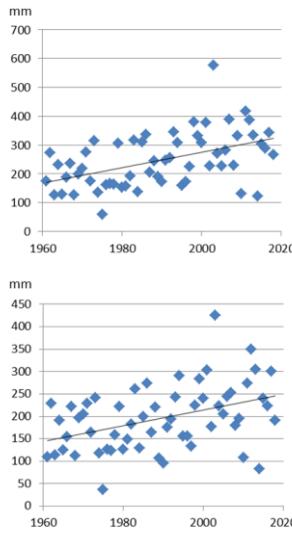


Figura 4 – Somma di deficit traspirativo: ostrio-querceto, Carso

## somma di deficit traspirativo FAGGETA, montagna

Resia (UD) 800 m s.l.m.

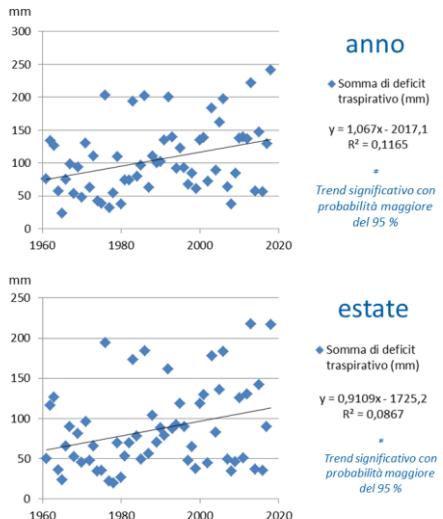


Figura 5 – Somma di deficit traspirativo: faggeta, montagna

## somma di deficit traspirativo PECCETA, montagna

Pontebba (UD) 1500 m s.l.m.

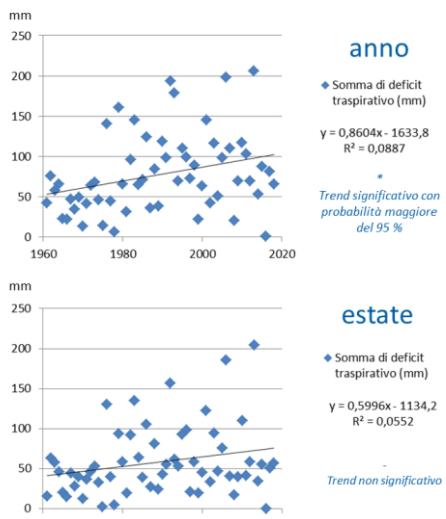


Figura 6 – Somma di deficit traspirativo: pecceta, montagna

Referente:  
Andrea Cicogna – ARPA FVG  
[andrea.cicogna@arpa.fvg.it](mailto:andrea.cicogna@arpa.fvg.it)

## 6.6 ECOSISTEMI MARINI



# ALTERAZIONE DEI PROCESSI CHIMICO-FISICI SCAMBI DI CALORE

## Fattori climatici

Variazioni della temperatura atmosferica, cambiamenti nel regime delle precipitazioni e dei conseguenti apporti fluviali, fusione dei ghiacciai, aumento del livello del mare, aumento della frequenza di eventi estremi.

## Altri fattori

Azioni antropiche che agiscono sulle zone costiere e che hanno influenza indiretta sugli ecosistemi marini.

## Caratterizzazione impatto



Nel sistema aria-acqua, la variazione della temperatura superficiale del mare è una diretta conseguenza delle variazioni climatiche.



Il cambiamento globale impatta sull'ambiente marino con aumento delle temperature superficiali e stratificazione più marcata e profonda delle masse d'acqua con mortalità massiva di organismi bentonici, possibile riduzione della connessione fra ambienti profondi e costieri e alterazione di: cicli biogeochimici associati a cambiamenti nel metabolismo microbico; distribuzione/impatti di contaminanti; fenologia di specie animali e vegetali (aumento vulnerabilità e tassi di estinzione); reti trofiche (modifiche processi di produzione/consumo); struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche. Si segnala inoltre la crescita della componente microbica con aumento dei fenomeni epidemiologici e condizioni favorevoli all'ingresso di specie non indigene.

## Relazione causa-effetto



Le alterazioni delle componenti climatiche generano variazioni dirette della temperatura superficiale del mare che in presenza di particolari condizioni possono risultare attenuate o ritardate.

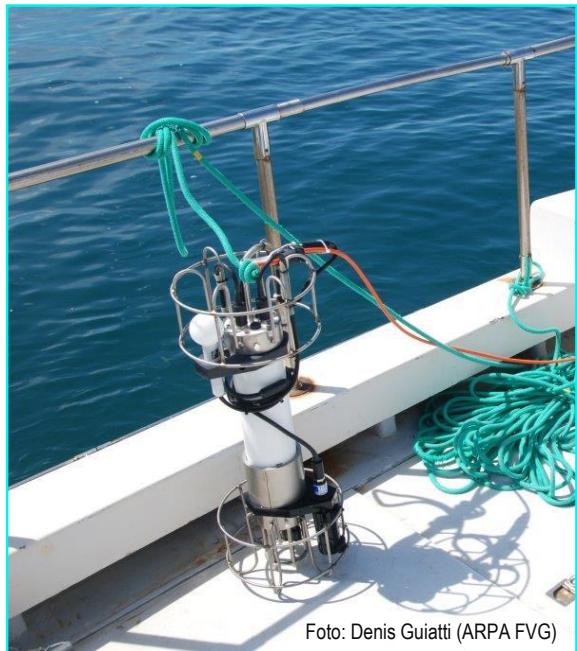


Foto: Denis Guiatti (ARPA FVG)

## Scenario futuro



Si ipotizza un innalzamento della temperatura superficiale del mare, in termini di differenza fra il trentennio 2021-2050 rispetto al valore medio del trentennio 1981-2010, compreso fra 1 e 2 °C che potrà determinare un impatto ad esempio sui "servizi ecosistemici di supporto" e sui servizi di "fornitura". L'aumento di temperatura degli strati superficiali dell'oceano determinerebbe un aumento della differenza termica rispetto agli strati maggiormente profondi e quindi una maggiore stratificazione verticale. In un contesto costiero l'aumentata stratificazione, congiuntamente ai processi eutrofici, comporterebbe una ridotta ventilazione e, di conseguenza, il possibile instaurarsi di condizioni di anossia.



## Numeri e messaggi chiave

Le osservazioni satellitari contribuiscono ad un monitoraggio continuo e diffuso della temperatura superficiale del mare. Il parametro osservato è riferito allo strato di acqua immediatamente a contatto con l'aria e risente, quindi, di ampie escursioni giornaliere. Per tale motivo, in questa analisi, viene considerato il solo dato di temperatura corrispondente ai passaggi satellitari notturni. Lo sguardo del satellite consente di individuare tutte le dinamiche relative non solo all'andamento globale delle temperature del mare, ma anche effetti locali legati all'immissione di acque dolci generalmente più fredde, effetti dovuti all'orografia delle coste - in bacini semichiusi si osservano incrementi maggiori - e dinamiche proprie tipiche del Mediterraneo. Le variazioni annue di temperatura superficiale del mare mostrano incrementi in tutti i mari italiani.

### Descrizione

L'indicatore esprime il trend di variazione annuo della temperatura superficiale del mare espresso in °C/anno.

### Scopo

Tale indicatore ha lo scopo di evidenziare le aree di mare maggiormente interessate da una variazione della temperatura superficiale del mare, sia in ambito costiero che in mare aperto, con particolare focus sul Mediterraneo centrale in modo da includere tutti i mari italiani. Le variazioni sono espresse in termini di trend valutati su un arco temporale almeno decennale.

### Frequenza rilevazione dati

Giornaliera

### Unità di misura

°C/anno

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2008-2020

### Copertura spaziale

Mari Italiani

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- 7th Environment Action Programme  
Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013;  
- DG CLIMA: Adaptation to climate change.

### Metodologia di elaborazione

I dati giornalieri ricavati dalla piattaforma *Copernicus* sono valori di temperatura superficiale del mare basati su immagini notturne di diversi sensori ad infrarosso montati su differenti piattaforme satellitari. Il dato viene estrapolato su una griglia a risoluzione spinta (<0.01° lat/lon) e copre i mari europei meridionali. Per ogni punto del grigliato viene calcolato il trend nel periodo 2008-2020.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

## Fonte e accessibilità

Copernicus (CMEMS - <https://marine.copernicus.eu/>).

Prodotto di riferimento:

SST\_MED\_SST\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_010\_004

## Qualità dell'informazione

I dati provengono da fonti affidabili e validate. Il dato osservato viene estrapolato su griglia (*ultra-high resolution 0.01°*) attraverso metodologie statistiche.

## Limitazioni e possibili azioni

Il dato osservato, corrispondente al passaggio del singolo satellite, non è continuo nello spazio e nel tempo e necessita di tecniche di estrapolazione per ottenere valori giornalieri su una griglia definita. Necessarie operazioni di validazione del dato attraverso l'utilizzo di serie storiche continue da strumentazioni in situ.

## Riferimenti bibliografici

1. Sea Surface Temperature indicator by EEA (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-surface-temperature-3>);
2. IPCC, 2013. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.;
3. IPCC, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Climate, Pörtner et al.

## Commento al trend



I valori medi di temperatura superficiale del mare (Fig. 1) sono chiaramente influenzati dalla latitudine. La particolare conformazione delle coste e gli apporti fluviali determinano condizioni locali favorevoli alla formazione di aree a temperatura più calda, come ad esempio nel Tirreno meridionale, o più fredda nel caso del nord Adriatico, influenzato dai fiumi padani.

Le variazioni annue di temperatura superficiale del mare (Fig. 2) mostrano incrementi in tutti i mari italiani, con alterazioni marcate nel Mar Ligure, Adriatico e Ionio Settentrionale e valori attenuati nel canale di Sicilia (trend non significativo lungo la costa africana). In prossimità della costa pugliese e lucana si riscontrano i valori maggiori che superano i 0.08°C/anno.

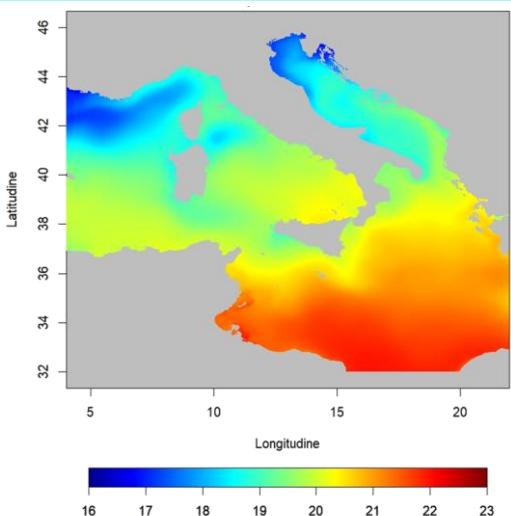


Figura 1 – Valori medi di temperatura superficiale del mare in °C (2008-2020). Fonte: ISPRA da dati CMEMS.

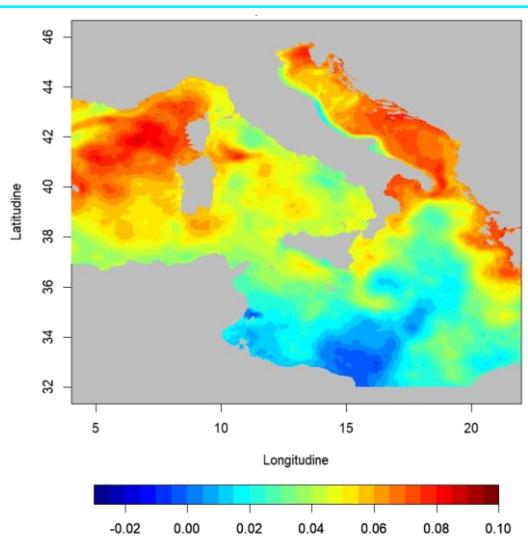


Figura 2 – Trend di temperatura superficiale del mare in °C/anno (2008-2020). Fonte: ISPRA da dati CMEMS.

## Referente:

Marco Picone – ISPRA  
[marco.picone@isprambiente.it](mailto:marco.picone@isprambiente.it)



# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

## Numeri e messaggi chiave

In base all'elaborazione effettuata, nel periodo 1999-2020 la temperatura superficiale del mare nel Golfo di Trieste evidenzia un trend positivo ma non statisticamente significativo.

### Descrizione

Temperatura superficiale dell'acqua di mare (espressa in °C). L'elaborazione effettuata evidenzia i valori medi annuali e il trend di variazione annuo dell'indicatore.

### Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici in termini di scambi calore.

### Frequenza rilevazione dati

I dati di temperatura sono stati rilevati mensilmente dal 1999 al 2015 e nel 2020. Nel periodo 2016-2019 sono a cadenza bimestrale.

### Unità di misura

°C

### Periodicità di aggiornamento

L'indicatore può essere aggiornato con cadenza mensile, trimestrale, semestrale o annuale.

### Copertura temporale

1999-2020

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

I dati di temperatura provengono dalle misure effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie sino al fondo. In questo contesto sono stati considerati i dati di temperatura superficiali raccolti in 5 siti del Golfo di Trieste dal 1999 al 2020.

I dati sono stati mediati per ogni serie di campionamento ad intera scala di bacino (comprendono tutti i siti). Il trend positivo o negativo e la sua significatività sono stati calcolati applicando il *Mann-Kendall* trend test.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE



## Fonte e accessibilità

I dati sono di proprietà di ARPA FVG e in parte sono stati pubblicati. I dati non pubblicati possono essere richiesti direttamente ad ARPA FVG – S.O.C. Stato dell'Ambiente – Qualità Acque Marine e di Transizione.

## Qualità dell'informazione

La metodologia di rilevamento e di elaborazione è ben consolidata ma è normalmente utilizzata per finalità diverse dal monitoraggio degli impatti dei cambiamenti climatici.

## Limitazioni e possibili azioni

Possibile guasto al sensore temperatura della sonda multiparametrica che non permetta la corretta acquisizione del dato in campo. La frequenza di campionamento, una volta al mese, può rappresentare un limite nell'evidenziare la variabilità temporale del sistema.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. Sea Surface Temperature indicator by EEA (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-surface-temperature-3>);
4. IPCC, 2013. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
5. IPCC, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Climate, Pörtner et al.
6. 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, 115, 1-13.
7. Raicich, F., Colucci, R. 2019. A near-surface sea temperature time series from Trieste, northern Adriatic Sea (1899–2015). Earth System Science Data, 11, 761–768.



Foto: Denis Guiatti (ARPA FVG)

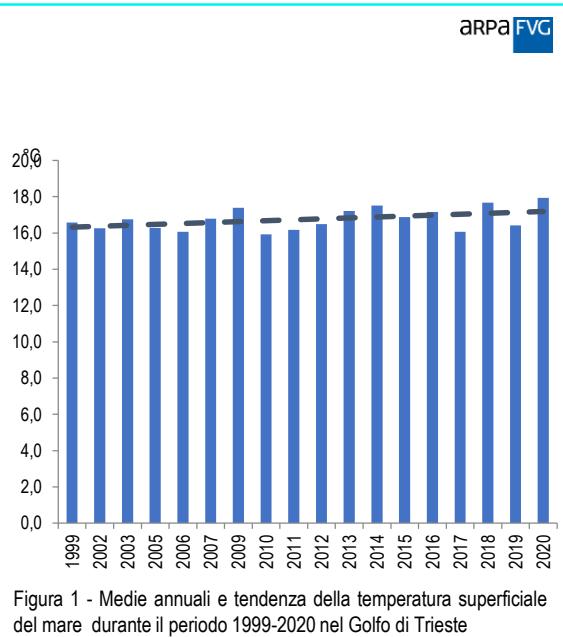


Figura 1 - Medie annuali e tendenza della temperatura superficiale del mare durante il periodo 1999-2020 nel Golfo di Trieste

## Commento al trend



Le medie annue della temperatura superficiale del mare ottenute dalla misurazione mensile mediante sonda multiparametrica in tutti i corpi idrici della Regione Friuli Venezia Giulia evidenziano un incremento del parametro (Fig. 1). Tuttavia, in base all'analisi effettuata mediante l'applicazione del Mann-Kendall test ( $s=46$ ,  $p=0,087$ ) il trend non risulta significativo.

I risultati confermano il fenomeno di un riscaldamento complessivo dell'acqua già evidenziato nella lunga serie storica (1899-2015) relativa al Golfo di Trieste [7] dove è stato stimato un aumento di temperatura pari a  $1,1 \pm 0,3$  °C per secolo ( $1,3 \pm 0,5$  dal 1945 al 2015), e in quanto riportato in [6].

## Referenze:

Alessandro Acquavita – ARPA FVG  
[alessandro.acquavita@arpa.fvg.it](mailto:alessandro.acquavita@arpa.fvg.it)



# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE

## Numeri e messaggi chiave

I valori di temperatura registrati nei diversi periodi sono sempre compresi tra 14° e 27° in tutti gli anni della serie storica considerata. Per valutare il trend, attualmente non definibile, si ritiene necessario acquisire ulteriori dati.

### Descrizione

L'indicatore esprime il trend di variazione della temperatura superficiale dell'acqua del mare espresso in °C.

### Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici in termini di scambi calore.

### Frequenza rilevazione dati

Frequenza bimestrale dal 2007 ad oggi; trimestrale dal 2002 al 2006 con intensificazione di due volte al mese in alcune stazioni di interesse ministeriale.

### Unità di misura

°C

### Periodicità di aggiornamento

L'indicatore può essere aggiornato con cadenza minima bimestrale.

### Copertura temporale

2002-2018

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

I dati di temperatura provengono dalle misure effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie sino al fondo, in 76 stazioni poste lungo la costa ligure dal 2002 al 2018. I dati sono estrapolati dal software sonda ed elaborati per ottenere un valore di temperatura ogni metro di colonna d'acqua. Il trattamento dei dati è stato effettuato tramite strumenti pivot di Excel. Sono stati mediati i valori di temperatura superficiale rilevati nei vari punti di campionamento nei diversi mesi di ciascun anno, ottenendo un valore medio per anno, per mese.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE



## Fonte e accessibilità

Dati disponibili sul Sistema Informativo Regionale Ambiente Ligure  
[https://servizi.regioneliguria.it/page/welcome/QUALITA\\_A\\_CQUE\\_MARINE](https://servizi.regioneliguria.it/page/welcome/QUALITA_A_CQUE_MARINE)

## Qualità dell'informazione

I dati sono registrati da sonde ad alta prestazione, comunemente utilizzate nel sistema agenziale.

## Limitazioni e possibili azioni

Possibile guasto al sensore temperatura della sonda multiparametrica che non permette la corretta acquisizione dei valori in tempo reale.

Frequenza delle misurazioni di temperatura superficiale e popolamento della relativa serie storica.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. Sea Surface Temperature indicator by EEA (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-surface-temperature-3>).

## Commento al trend



Il trend risulta attualmente non definito. A partire dal 2002, per tutti gli anni, si nota infatti il medesimo andamento stagionale dei valori di temperatura, con i valori minimi intorno a febbraio e i massimi tra luglio e agosto.

La linea rossa che si discosta leggermente dalle altre misurazioni effettuate nel mese di agosto (Fig. 1), corrisponde all'anno 2003, anno nel quale i valori di temperatura dell'aria della stagione estiva sono risultati ben al di sopra della media climatologica. e indica il valore massimo estivo dal 2002 al 2018.

La frequenza delle misurazioni bimestrale risulta essere funzionale a descrivere il trend e l'evolversi della situazione ambientale.

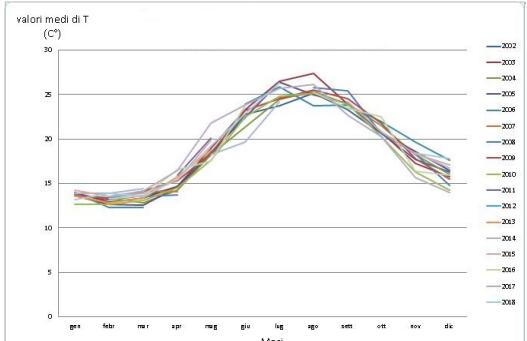


Figura 1 – Valori medi di temperatura superficiale dell'acqua di mare

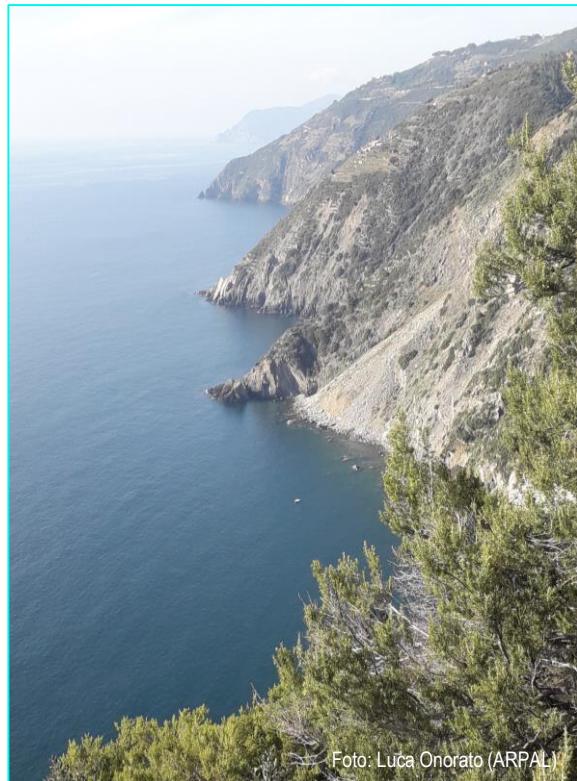


Foto: Luca Onorato (ARPAL)

## Referente:

Veronica Parodi – ARPAL  
[veronica.parodi@arpal.liguria.it](mailto:veronica.parodi@arpal.liguria.it)  
[mare.metropolitano@arpal.liguria.it](mailto:mare.metropolitano@arpal.liguria.it)



## Numeri e messaggi chiave

I dati elaborati tra il 2015 e il 2019 non sono tali da stabilire una risposta certa. Nelle 6 stazioni di riferimento regionali i monitoraggi eseguiti con cadenza bimestrale evidenziano un incremento delle temperature nelle acque marine antistanti la Calabria.

### Descrizione

L'indicatore esprime il trend di variazione mensile della temperatura superficiale dell'acqua del mare espresso in °C/mese.

### Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici in termini di scambi calore.

### Frequenza rilevazione dati

Cadenza bimestrale e semestrale.

### Unità di misura

°C

### Periodicità di aggiornamento

Cadenza bimestrale e semestrale

### Copertura temporale

2015 – 2019

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Decreto direttoriale n. 86 del 16 giugno 2015. Regolamento (UE) n. 1293/2013 del Parlamento europeo e del Consiglio dell'11 dicembre 2013 sull'istituzione di un programma per l'ambiente e l'azione per il clima (LIFE) e che abroga il Regolamento (CE) n. 614/2007(G.U.E.) L347/185 del 20.12.2013, pp.185W208.

### Metodologia di elaborazione

I dati di temperatura provengono dalle misure effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie sino al fondo in 40 stazioni, distribuite in maniera omogenea tra il Mar Ionio e il Mar Tirreno, dal 2015 al 2019 con cadenza bimestrale e semestrale. Sono stati estrapolati i dati relativi a 0,5m per tutte le stazioni ed elaborati tramite excel per ottenere medie mensili e annuali.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL MARE



## Fonte e accessibilità

Dati disponibili sul Sistema Informativo Centralizzato Dati di Monitoraggio Direttiva UE Strategia Marina.

## Qualità dell'informazione

La qualità dei dati è relativa alla finalità della Direttiva UE Strategia Marina, non per la valutazione dei cambiamenti climatici.

## Limitazioni e possibili azioni

Mancanza di dati dovuti a campionamenti non effettuati per motivi logistici o strumentali. La frequenza dei campionamenti bimestrale può rappresentare un'importante fonte di limitazione.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, All.1 (Versione di Giugno).
2. Lazzari P, Teruzzi A, Salon S, et al (2010) Pre-operational short-term forecasts for Mediterranean Sea biogeochemistry. Ocean Sci 6:25–39. doi: 10.5194/os-6-25-2010.
3. Unesco (1985). The International System of Units (SI) in Oceanography. Tech. Pap. Mar. Sci., 45: 124 pp.



Figura 1 – Temperatura annuale

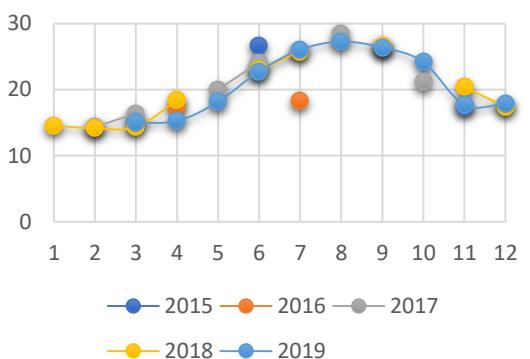


Figura 2 – Temperature Mar Ionio (2015-2019)

## Commento al trend



Nel primo grafico (Fig.1) si mette a confronto a livello annuale la temperatura media dei due mari che bagnano le coste calabresi. Nel secondo (Fig.2) e terzo (Fig.3) sono riportate le medie mensili rispettivamente del mar Ionio e del mar Tirreno, sempre relativo alle coste calabresi.

Considerando la minore quantità di dati relativi ai primi due anni, possiamo dedurre un minimo incremento della temperatura soprattutto nel Mar Tirreno. E' possibile che sia dovuto al fenomeno ben noto di stratificazione delle acque che avviene lungo le coste calabre. Il fenomeno, già noto, di per sè non dovrebbe, in situazione di equilibrio globale, portare a variazioni annuali che invece riscontriamo. Si auspica di poter elaborare gli anni mancanti e i successivi per avere una visione migliore del fenomeno.

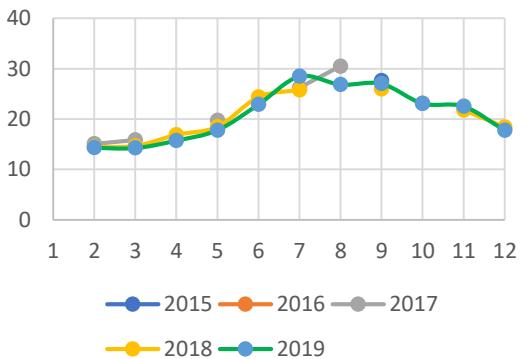


Figura 3 – Temperature Mar Tirreno (2015-2019)

## Referente:

Rossella Stocco – ARPACAL  
E-mail [r.stocco@arpacal.it](mailto:r.stocco@arpacal.it)

## Fattori climatici

Variazioni di temperatura dell'acqua di mare, variazione del livello del mare, acidificazione dell'acqua di mare, variazioni delle precipitazioni e degli apporti fluviali.

## Altri fattori

Azioni antropiche sulle zone costiere che hanno influenza indiretta sugli ecosistemi marini. Azioni antropiche che modificano gli ecosistemi fluviali e possono incidere indirettamente sugli apporti marini.

## Caratterizzazione impatto



Le variazioni di precipitazioni e apporti di acqua dolce impattano direttamente sulla salinità del mare; da verificare a lungo termine gli effetti dell'aumento di temperatura su aree a scarso battente.



Il cambiamento globale impatta sull'ambiente marino con aumento delle temperature superficiali e stratificazione più marcata e profonda delle masse d'acqua con mortalità massiva di organismi bentonici, minor connessione fra ambienti profondi e costieri e con alterazione di: cicli biogeochimici (cambiamenti nel metabolismo microbico); distribuzione/impatti dei contaminanti; fenologia di specie animali e vegetali (aumento vulnerabilità e tassi di estinzione); reti trofiche (processi di produzione/consumo); struttura e distribuzione di comunità planctoniche e bentoniche. Porta crescita della componente microbica (aumento fenomeni epidemiologici) e possibile ingresso di specie non indigene.

## Relazione causa-effetto



Le alterazioni delle componenti climatiche possono generare modifiche delle precipitazioni e dei deflussi fluviali con conseguenti variazioni della salinità superficiale dei mari, incidendo sull'ubicazione dell'habitat di diverse specie.



Foto: Denis Guiatti (ARPA FVG)

## Scenario futuro



I cambiamenti indotti dal riscaldamento globale in atto possono avere importanti conseguenze dirette/indirette sugli ecosistemi marini e sulla vita umana. Allo stato attuale è evidente che diversi ecosistemi si stanno degradando e stanno perdendo la loro capacità di produzione sia di beni che di servizi. Poiché il 61% dei servizi ecosistemici deriva dagli ecosistemi costieri (gli ecosistemi profondi, nonostante la loro estensione, sono ancora esclusi dalla stima complessiva di beni e servizi forniti dagli ecosistemi marini), è necessaria un'azione immediata per preservare il loro sviluppo e il loro uso sostenibile.



# SALINITÀ SUPERFICIALE DEL MARE

## Numeri e messaggi chiave

In base all'elaborazione effettuata, nel periodo 1999-2020 la salinità superficiale dell'acqua di mare nel Golfo di Trieste evidenzia una marcata variabilità interannuale e un trend in diminuzione significativo nel periodo considerato, diversamente da quanto emerso in altre ricerche, condotte a scala temporale pluridecennale, che evidenziano un aumento della salinità superficiale nel sistema del Nord Adriatico.

## Descrizione

L'elaborazione effettuata evidenzia i valori medi annuali e il trend di variazione annuo dell'indicatore.

## Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto acque dolci).

## Frequenza rilevazione dati

I dati di salinità sono stati rilevati mensilmente dal 1999 al 2015 e nel 2020. Nel periodo 2016-2019 sono a cadenza bimestrale.

## Unità di misura

Psu (*Practical Salinity Units*), corrispondente al rapporto tra la conduttività di un campione di acqua di mare e quella di una soluzione standard di KCl formata da 32,4356 grammi di sale discolti in 1 kg di soluzione a 15 °C. I rapporti sono adimensionali e 35 psu equivalgono a 35 grammi di sale per chilogrammo di soluzione (Unesco 1985).

## Periodicità di aggiornamento

L'indicatore può essere aggiornato con cadenza mensile, trimestrale, semestrale o annuale.

## Copertura temporale

1999-2020

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

I dati di salinità provengono dalle misure effettuate con sonda multi parametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie sino al fondo. In questo contesto sono stati considerati i dati superficiali raccolti in 5 siti del Golfo di Trieste dal 1999 al 2020. I dati sono stati mediati per ogni serie di campionamento ad intera scala di bacino (comprendono tutti i siti). Il trend positivo o negativo e la sua significatività sono stati calcolati applicando il *Mann-Kendall* trend test.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

I dati sono di proprietà di ARPA FVG e in parte sono stati pubblicati. I dati non pubblicati possono essere richiesti direttamente ad ARPA FVG – S.O.C. Stato dell'Ambiente – Qualità Acque Marine e di Transizione.

### Qualità dell'informazione

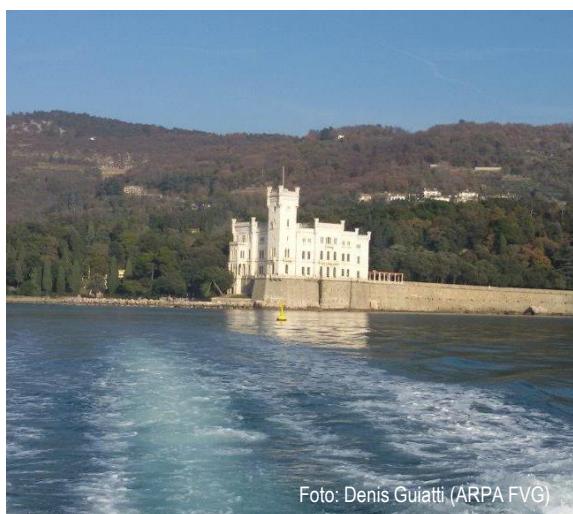
La metodologia di rilevamento e di elaborazione è ben consolidata ma è normalmente utilizzata per finalità diverse dal monitoraggio degli impatti dei cambiamenti climatici.

### Limitazioni e possibili azioni

Possibile guasto al sensore temperatura della sonda multiparametrica che non permetta la corretta acquisizione del dato in campo. La frequenza di campionamento (una volta al mese) può rappresentare un limite nell'evidenziare la variabilità temporale del sistema.

### Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. 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, 115, 1-13.
4. Gilbert, R.O. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.



arpa FVG

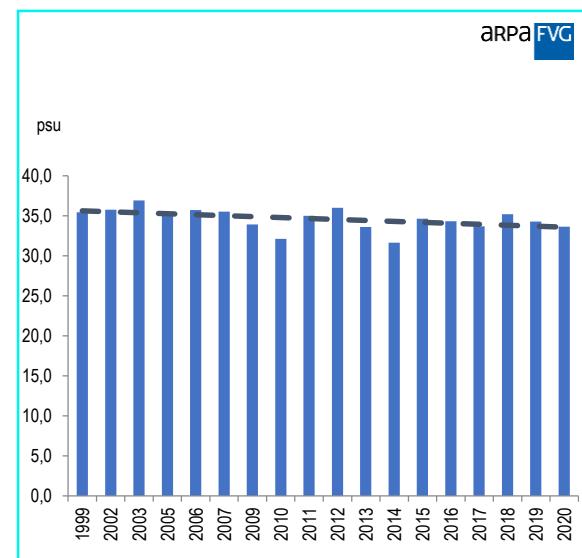


Figura 1 - Medie annuali e tendenza della salinità superficiale del mare durante il periodo 1999-2020 nel Golfo di Trieste.

### Commento al trend



La misura della salinità è caratterizzata da una notevole variabilità mensile in quanto tale parametro viene influenzato dagli apporti di acque dolci.

Considerando il trend delle medie annuali dal 1999 al 2020 (Fig. 1) si evince una tendenza negativa significativa confermata dall'applicazione del *Mann-Kendall* test ( $s=-64$ ;  $p(\text{no trend})=0,016782$ ).

Tale risultato appare in contrasto con quanto riportato nella letteratura scientifica. Infatti, un aumento della salinità superficiale nel sistema del Nord Adriatico è stato già evidenziato analizzando serie storiche di dati a scala pluridecennale (Giani et al 2012 e riferimenti), come conseguenza della riduzione degli apporti fluviali e del ricambio di acqua con l'Adriatico Centrale.

### Referente:

Alessandro Acquavita – ARPA FVG  
[alessandro.acquavita@arpa.fvg.it](mailto:alessandro.acquavita@arpa.fvg.it)



# SALINITÀ SUPERFICIALE DEL MARE

## Numeri e messaggi chiave

I valori di salinità superficiale si attestano in un range compreso fra tra 35 e 38.5 psu (*Practical Salinity Units*). Nella serie storica a disposizione si riscontra una certa variabilità stagionale in funzione della variazione degli apporti fluviali, tuttavia al momento non è possibile desumere un trend.

## Descrizione

L'elaborazione effettuata evidenzia i valori medi annuali e il trend di variazione annuo dell'indicatore.

## Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto acque dolci).

## Frequenza rilevazione dati

Frequenza bimestrale dal 2007 ad oggi; trimestrale dal 2002 al 2006 con intensificazione di due volte al mese in alcune stazioni di interesse ministeriale.

## Unità di misura

psu (*Practical Salinity Units*), corrispondente al rapporto tra la conduttività di un campione di acqua di mare e quella di una soluzione standard di KCl formata da 32,4356 grammi di sale discolti in 1 kg di soluzione a 15 °C. I rapporti sono adimensionali e 35 psu equivalgono a 35 grammi di sale per chilogrammo di soluzione (Unesco 1985).

## Periodicità di aggiornamento

L'indicatore può essere aggiornato con cadenza minima bimestrale.

## Copertura temporale

2002-2018

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

I dati di salinità provengono dalle misure effettuate con sonda multi parametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie sino al fondo, in 76 stazioni poste lungo la costa ligure dal 2002 al 2018. I dati sono estrappolati dal software sonda ed elaborati per ottenere un valore di salinità ogni metro di colonna d'acqua. Il trattamento dei dati è stato effettuato tramite strumenti pivot di Excel. Sono stati mediati i valori di salinità superficiale rilevati nei vari punti di campionamento nei diversi mesi di ciascun anno, ottenendo un valore medio per anno, per mese.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

Dati disponibili sul Sistema Informativo Regionale Ambiente Ligure

[https://servizi.regioneliguria.it/page/welcome/QUALITA\\_A\\_CQUE\\_MARINE](https://servizi.regioneliguria.it/page/welcome/QUALITA_A_CQUE_MARINE)

### Qualità dell'informazione

I dati sono registrati da sonde ad alta prestazione, comunemente utilizzate nel sistema agenziale.

### Limitazioni e possibili azioni

Possibile guasto al sensore salinità della sonda multiparametrica che non permette la corretta acquisizione dei valori in tempo reale. Popolamento della serie storica di salinità superficiale.

### Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).

### Commento al trend



I valori medi di salinità disponibili dal 2002 al 2018 sono compresi in un range tra 35 e 38.5 psu (Fig. 1).

Si notano alcuni valori minimi nei mesi di febbraio, maggio e novembre corrispondenti rispettivamente agli anni 2014, 2004 e 2002.

Data la numerosità della serie storica dei valori di salinità a disposizione e il loro andamento, al momento non è possibile ottenere un trend definito.

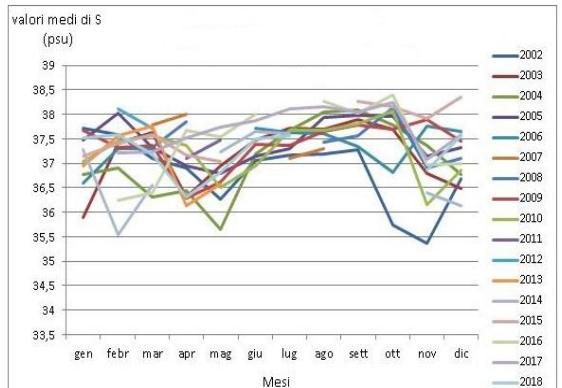


Figura 1 – Valori di salinità superficiale dell'acqua di mare

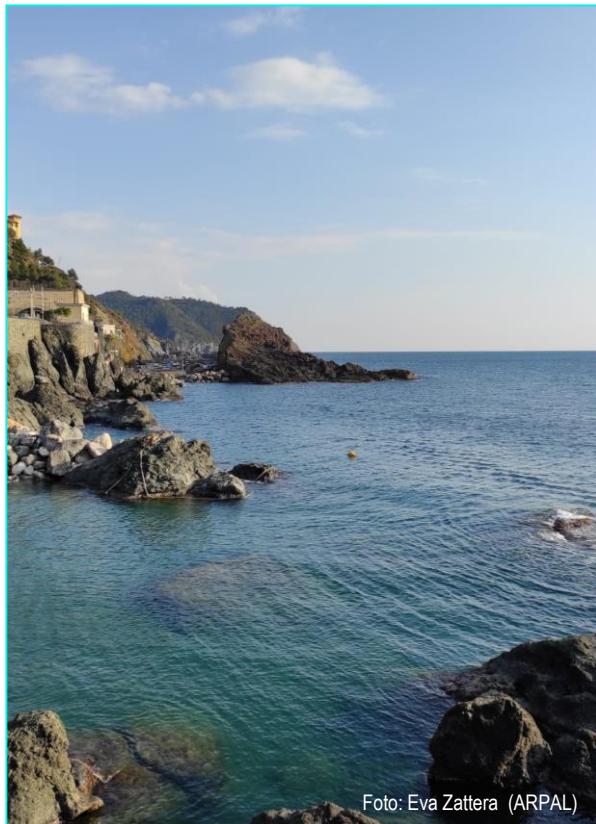


Foto: Eva Zattera (ARPAL)

### Referente:

Veronica Parodi – ARPAL  
[veronica.parodi@arpal.liguria.it](mailto:veronica.parodi@arpal.liguria.it)  
[mare.metropolitano@arpal.liguria.it](mailto:mare.metropolitano@arpal.liguria.it)



## Numeri e messaggi chiave

I dati elaborati tra il 2015 e il 2019 non sono tali da stabilire una risposta certa. Nelle 6 stazioni di riferimento regionali i monitoraggi eseguiti con cadenza bimestrale evidenziano una carenza di dati dei primi tre anni, che può portare alla fuorviante interpretazione che la salinità sia aumentata negli ultimi due.

### Descrizione

Salinità superficiale dell'acqua di mare (espressa in psu).

L'elaborazione effettuata evidenzia i valori medi annuali e il trend di variazione annuo dell'indicatore.

### Scopo

Valutare l'alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto acque dolci).

### Frequenza rilevazione dati

Cadenza bimestrale e semestrale.

### Unità di misura

psu (*Practical Salinity Units*), corrispondente al rapporto tra la conduttività di un campione di acqua di mare e quella di una soluzione standard di KCl formata da 32,4356 grammi di sale disciolti in 1 kg di soluzione a 15 °C. I rapporti sono adimensionali e 35 psu equivalgono a 35 grammi di sale per chilogrammo di soluzione (Unesco 1985).

### Periodicità di aggiornamento

Cadenza bimestrale e semestrale

### Copertura temporale

2015 – 2019

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

I dati di salinità provengono dalle misure effettuate con sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua, a partire dalla superficie fino a un massimo di 100m in 40 stazioni, distribuite in maniera omogenea tra il Mar Ionio e il Mar Tirreno, dal 2015 al 2019 con cadenza bimestrale e semestrale. Sono stati extrapolati i dati relativi a 0,5m per tutte le stazioni ed elaborati tramite excel per ottenere medie mensili e annuali.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# SALINITÀ SUPERFICIALE DEL MARE



## Fonte e accessibilità

Dati disponibili sul Sistema Informativo Centralizzato Dati di Monitoraggio Direttiva UE Strategia Marina.

## Qualità dell'informazione

La qualità dei dati è relativa alla finalità della Direttiva UE Strategia Marina, non per la valutazione dei cambiamenti climatici.

## Limitazioni e possibili azioni

Mancanza di dati dovuti a campionamenti non effettuati per motivi logistici o strumentali. La frequenza dei campionamenti bimestrale può rappresentare un'importante fonte di limitazione.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici , All.1 (Versione di Giugno).
2. Lazzari P, Teruzzi A, Salon S, et al (2010) Pre-operational short-term forecasts for Mediterranean Sea biogeochemistry. Ocean Sci 6:25–39. doi: 10.5194/os-6-25-2010.
3. Unesco (1985). The International System of Units (SI) in Oceanography. Tech. Pap. Mar. Sci., 45: 124 pp.

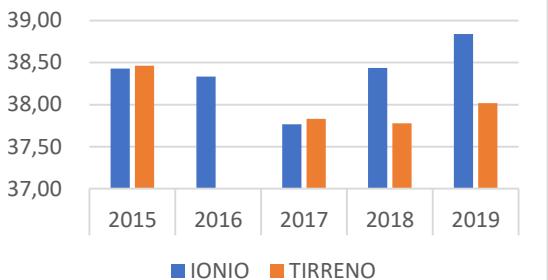


Figura 1 – Salinità annuale (2015 -2019)

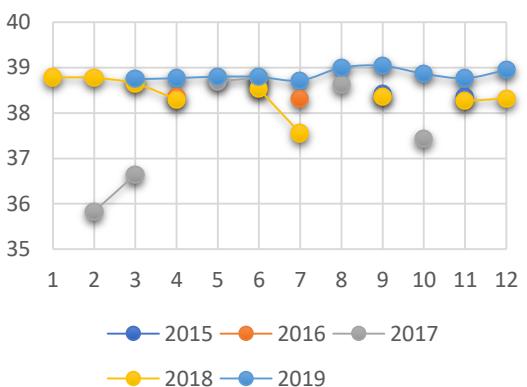


Figura 2 – Salinità Mar Ionio (2015-2019)

## Commento al trend



Nel primo grafico (Fig.1) è messa a confronto la salinità media annuale relativa ai due mari che bagnano le coste calabresi. E' possibile notare la maggiore salinità dello Ionio, ben nota, dovuta alla circolazione termoalina del Mediterraneo, riconoscibile negli anni 2018 2019 dove i dati sono stati presi con cadenza mensile (Fig.2 e 3). Nel 2015 la situazione sembra eguagliarsi esclusivamente per una carenza di dati. In quell'anno abbiamo la salinità solo in una stazione relativamente al mese di Settembre, come si vede nel terzo grafico (Fig.3). La carenza di dati dei primi tre anni può portare alla fuorviante interpretazione che la salinità sia aumentata negli ultimi due (Fig.1).

Si auspica di poter elaborare gli anni mancanti e i successivi per avere una visione migliore del fenomeno.

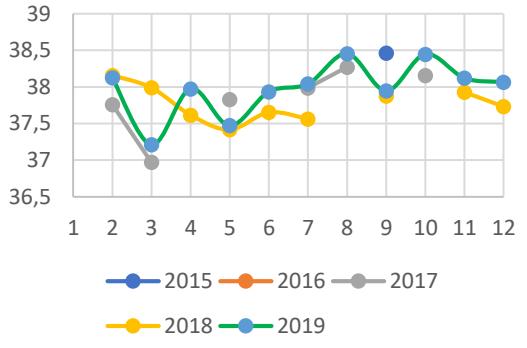


Figura 3 – Salinità Mar Tirreno (2015-2019)

## Referente:

Rossella Stocco – ARPACAL

E-mail: [r.stocco@rpacal.it](mailto:r.stocco@rpacal.it)

# ALTERAZIONE DELLE COMUNITÀ ECOLOGICHE E DELLE RETI TROFICHE MARINE

## Fattori climatici

Cambiamenti della temperatura atmosferica e delle precipitazioni, con conseguenti cambiamenti della temperatura del mare.

## Altri fattori

Azioni antropiche che influenzano indirettamente gli ecosistemi marini: variazioni negli apporti di nutrienti, variazioni indotte degli apporti fluviali, influenze puntuali di scarichi fognari.

## Caratterizzazione impatto



La struttura (abbondanza e composizione) dei popolamenti fitoplanctonici risente dell'aumento della temperatura sia in modo diretto (effetti su fenologia degli organismi e composizione specifica dei popolamenti) che indiretto, attraverso variazioni di trofia del sistema, salinità, trasparenza e stratificazione della colonna d'acqua, che a loro volta dipendono da cambiamenti di regime delle precipitazioni, apporti fluviali e idrodinamismo.



Le variazioni di biomassa e struttura dei popolamenti fitoplanctonici incidono sulla dinamica della rete trofica marina che, a sua volta, supporta la pesca e l'acquacoltura. Valori decrescenti della biomassa fitoplanctonica indicano una tendenza verso l'oligotrofia e una bassa produttività del sistema; valori crescenti sono invece indice di una tendenza verso l'eutrofia, con possibili impatti sull'intera qualità dell'ecosistema.

## Relazione causa-effetto



L'aumento della temperatura atmosferica e marina determina modifiche del regime delle precipitazioni e dell'assetto idrologico dell'ecosistema marino che incidono sulla dinamica della rete trofica, in cui il popolamento fitoplanctonico rappresenta il settore chiave che sostiene l'intera struttura.

Foto: Oriana Blasutto (ARPA FVG)



## Scenario futuro



Le proiezioni climatiche globali, per l'Italia e per il Friuli Venezia Giulia indicano un progressivo aumento delle temperature e variazioni nel regime delle precipitazioni: queste potranno indurre ulteriori variazioni dell'assetto idrologico dell'ecosistema marino che, a sua volta, inciderà sulle dinamiche della rete trofica marina. Tuttavia, l'aumento della biomassa planctonica non è direttamente correlato al regime delle precipitazioni ma dipende anche dalla stagione nella quale queste avvengono. Esiste infatti un periodo ottimale per la crescita delle popolazioni planctoniche e, a causa dell'estrema variabilità attuale, fare previsioni a lungo termine risulta difficile, considerando inoltre che altri fattori possono determinare variazioni nell'apporto di nutrienti dall'entroterra al mare.

# STIMA DELLA BIOMASSA PLANCTONICA ATTRAVERSO FLUORESCENZA INDOTTA (CLOROFILLA a)



## Numeri e messaggi chiave

La clorofilla a è uno dei parametri utilizzati per monitorare la produzione primaria in mare e stimare lo stato ecologico dei popolamenti fitoplanctonici. Nel Golfo di Trieste, l'indicatore evidenzia un trend in leggera crescita, ma non significativo nel periodo considerato (2002-2020). È probabile che una serie temporale più lunga possa essere più efficace per verificare il potenziale di questo indicatore come risultante dell'impatto e adattamento ai cambiamenti climatici, anche mettendolo in relazione con parametri chimico-fisici di supporto e con la struttura della comunità planctonica.

## Descrizione

La concentrazione di clorofilla a, determinata tramite la fluorescenza indotta, è uno dei parametri usati per monitorare la produzione primaria in mare e stimare lo stato ecologico dei popolamenti fitoplanctonici.

## Scopo

Valutare eventuali trend (positivi/negativi) della biomassa fitoplanctonica e verificare l'esistenza di relazioni con altri parametri chimico-fisici (temperatura, salinità, livello di nutrienti).

## Frequenza rilevazione dati

Mensile dal 2002 al 2015, bimestrale dal 2016 al 2019 e nuovamente mensile nel 2020.

## Unità di misura

$\mu\text{g/L}$

## Periodicità di aggiornamento

L'indicatore può essere aggiornato con cadenza mensile, trimestrale, semestrale o annuale.

## Copertura temporale

2002-2020

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

I dati di clorofilla a provengono da misure condotte mediante sonda multiparametrica lungo la colonna d'acqua, dalla superficie fino al fondo, condotte in 5 siti marino-costieri dal 2002 al 2020. I dati sono a cadenza mensile dal 2002 al 2015, bimestrali dal 2016 al 2019, e nuovamente mensili nel 2020.

I dati sono stati mediati per ogni serie di campionamento ad intera scala di bacino (comprendono tutti i siti di campionamento) e il trend annuale dal 2002 al 2020 è stato calcolato applicando il Mann-Kendall trend test.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# STIMA DELLA BIOMASSA PLANCTONICA ATTRAVERSO FLUORESCENZA INDOTTA (CLOROFILLA a)



## Fonte e accessibilità

I dati sono di proprietà di ARPA FVG e in parte sono stati pubblicati. I dati non pubblicati possono essere richiesti direttamente ad ARPA FVG – S.O.C. Stato dell'Ambiente – Qualità Acque Marine e di Transizione.

## Qualità dell'informazione

L'indicatore, se isolato, è poco informativo: dovrebbe essere messo in relazione con parametri chimico-fisici e con la struttura delle comunità planctonica.

## Limitazioni e possibili azioni

Possibile malfunzionamento della sonda multiparametrica che non permetta l'acquisizione del dato in campo. Data la complessità dell'ecosistema marino l'indicatore andrebbe ulteriormente sviluppato, ad esempio monitorando le dimensioni degli organismi.

## Riferimenti bibliografici

1. Cloern, J.E. 2001. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 210, 223-253.
2. Dunstan, P.K., Foster, S.D., King, E., Risbey, J., O'Kane, T.J., Monselesan, D., Hobday, A.J., Hartog, J.R., Thompson, P.A. 2018. Global patterns of change and variation in sea surface temperature and chlorophyll a. *Scientific Reports*, 8, 14624.
3. Giani, M., Djakovac, T., Degobbis, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Fonda Umani, S. 2012. Recent changes in the marine ecosystem of the northern Adriatic Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 115, 1-13.
4. Gilbert, R.O. 1987. Statistical methods for environmental pollution monitoring. Van Nostrand Reinhold, New York.
5. Mozetič, P., Solidoro, C., Cossarini, G., Soccal, G., Precali, R., Francé, J., Bianchi, F., De Vittor, C., Smidla, N., Fonda Umani, S. 2010. Recent trends towards oligotrophication of the Northern Adriatic: evidence from chlorophyll a time series. *Estuaries and Coasts*, 33, 362-375.
6. Salgado-Hernanz, P.M., Racault, M.F., Font-Muñoz, J.S., Basterretxea, G. 2019. Trends in phytoplankton phenology in the Mediterranean Sea based on ocean-colour remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 221, 50-64.
7. SNPA, 2018. Introduzione agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici: concetti chiave, indicatori candidati e criteri per la definizione degli indicatori prioritari. Manuali e Linee Guida 178/2018.

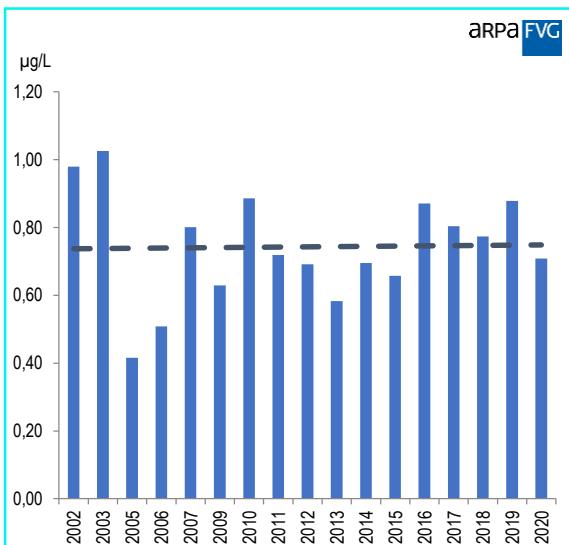


Figura 1 - Medie annuali e tendenza della clorofilla a durante il periodo 2002-2020 nel Golfo di Trieste

## Commento al trend



Considerando il trend delle medie annuali dal 2002 al 2020 (Fig. 1) si evince una leggera tendenza positiva che, tuttavia, applicando il *Mann-Kendall* test, non risulta significativa ( $s=7$ ;  $p(\text{no trend})=0,80$ ).

È probabile che una serie temporale più lunga possa essere più efficace nella verifica del potenziale di questo indicatore come risultante dell'impatto e adattamento ai cambiamenti climatici.

Ulteriori elaborazioni, che mettano l'indicatore in relazione con la struttura della comunità planctonica e con parametri chimico-fisici di supporto, potrebbero far emergere effetti collegabili con le evidenze dei cambiamenti climatici osservati a livello regionale, come ad esempio variazioni nella distribuzione delle piogge durante l'arco dell'anno.

## Referente:

Alessandro Acquavita – ARPA FVG  
[alessandro.acquavita@arpa.fvg.it](mailto:alessandro.acquavita@arpa.fvg.it)

## 6.7 AMBIENTE ALPINO E APPENNINICO



# VARIAZIONE DELLA MASSA GLACIALE

## Fattori climatici

Aumento dei valori medi ed estremi della temperatura, variazione dei regimi pluviometrici.

## Altri fattori

Inquinamento antropico.

## Caratterizzazione impatto



I ghiacciai rispondono in modo diretto e rapido alle dinamiche di cambiamento climatico modificando le proprie caratteristiche morfologiche e la loro dinamica. Questa grande sensibilità alle variazioni del clima rende i ghiacciai dei preziosi indicatori che consentono di quantificare l'intensità con cui sta agendo il riscaldamento globale.



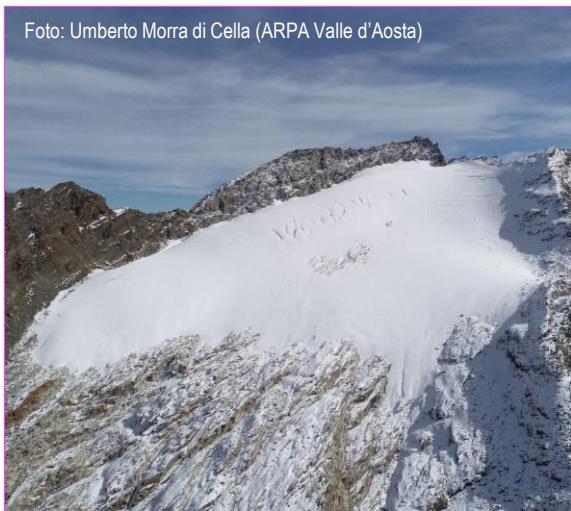
I ghiacciai rivestono un ruolo di regolazione del deflusso idrico, grazie all'effetto di compensazione a lungo termine del flusso stagionale delle acque di fusione, che costituiscono una fonte indispensabile di acqua dolce per le aree montane e per le regioni sottostanti. Inoltre, la contrazione dei ghiacciai contribuisce ad accelerare la liberazione di masse di sedimenti, con possibile aumento dei fenomeni di dissesto. Si registra una variazione della composizione e distribuzione di specie animali e vegetali con possibili variazioni delle comunità alpine. Infine, si considerano i possibili impatti di natura socio-economica nel settore turistico associati alla diminuita possibilità di fruizione.

## Relazione causa-effetto



La relazione causa-effetto rispetto al cambiamento climatico è molto stretta dal momento che le dinamiche glaciali sono significativamente correlate all'andamento delle variabili climatiche, con particolare riferimento alla temperatura e alle precipitazioni nevose.

Foto: Umberto Morra di Cella (ARPA Valle d'Aosta)



## Scenario futuro



Le proiezioni prodotte a livello di Alpi europee con i diversi scenari RCP (Representative Concentrations Pathways) permettono di stimare l'evoluzione del volume glaciale entro il 2100. L'evoluzione del volume di ghiaccio totale nei prossimi decenni è relativamente simile per i vari scenari RCP (RCP2.6, 4.5 e 8.5). Applicando lo scenario con tassi più elevati di riduzione delle emissioni (RCP2.6) avremo una perdita di due terzi ( $63.2\% \pm 11.1\%$ ) del volume di ghiaccio attuale (2017) entro il 2100. Con uno scenario di forte riscaldamento (RCP8.5) i ghiacciai sono destinati a scomparire in gran parte entro il 2100 ( $94.4\% \pm 4.4\%$  perdita di volume vs 2017). Sono attese importanti riduzioni delle acque di deflusso glaciale con implicazioni per la società in ottica di una corretta gestione della risorsa idrica per l'approvvigionamento di acqua dolce, la produzione di energia elettrica e l'utilizzo da parte del settore agricolo e industriale. Nel versante italiano delle Alpi è molto probabile che la riduzione possa essere ancora più marcata rispetto ad altre aree alpine europee, data la posizione geografica maggiormente esposta a un'elevata insolazione e all'influenza di matrice africana.

# BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI



## Numeri e messaggi chiave

Per i corpi glaciali italiani considerati si verifica una generale tendenza alla deglaciazione e alla fusione, in particolare dall'analisi dei dati dal 1995 al 2019 emerge che per i 6 corpi glaciali analizzati a livello complessivo, il bilancio cumulato mostra perdite significative che ammontano da un minimo di oltre 19 metri di acqua equivalente per il ghiacciaio del Basòdino al massimo di quasi 41 metri per il ghiacciaio di Caresèr, per una perdita di massa media annua pari a oltre un metro di acqua equivalente.

### Descrizione

Indicatore elaborato per un campione ridotto di ghiacciai alpini, rappresenta la somma algebrica tra la massa accumulata, derivante dalle precipitazioni nevose invernali e primaverili, e la massa di ghiaccio persa nel periodo di fusione (ablazione).

### Scopo

Evidenziare le variazioni annuali della massa glaciale e il rispettivo trend.

### Frequenza rilevazione dati

Ogni anno vengono effettuate due campagne di misura.

### Unità di misura

Millimetri di acqua equivalente (mm WEQ)

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1967-2019

### Copertura spaziale

Bacino nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa. Il bilancio di massa è lo standard indicato dal *World Glacier Monitoring Service* per valutare lo stato di salute di un ghiacciaio. È inserito dal *Global Climate Observing System* (GCOS) nelle *Essential Climate Variables* (ECVs) per l'osservazione dei cambiamenti climatici del pianeta.

### Metodologia di elaborazione

Ai fini dell'elaborazione dell'indicatore sono stati considerati 7 corpi glaciali. Per la raccolta dei dati sono necessarie due campagne di misura. La stima dell'accumulo, effettuata alla fine della stagione invernale, ha lo scopo di quantificare la neve accumulata. La seconda campagna, effettuata a fine estate, ha lo scopo di quantificare le perdite per fusione di neve e ghiaccio. La differenza tra accumulo e fusione, alla quale viene sommato il quantitativo residuo di neve invernale alla fine della stagione di ablaione, determina il bilancio di massa netto del ghiacciaio.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI



## Fonte e accessibilità

Comitato Glaciologico Italiano; Comitato Glaciologico Trentino SAT; Meteotrentino; Dip. Ingegneria Civile e Ambientale Università di Trento, Museo delle Scienze di Trento; Dip.ti TeSAF e Geoscienze dell'Università di Padova; Società Meteorologica Italiana; G. Kappenberger; Ufficio idrografico della Provincia autonoma di Bolzano - Alto Adige.

## Qualità dell'informazione

La misura del bilancio di massa è un'informazione rilevante degli effetti del clima sui ghiacciai, nonostante il numero dei campioni dei ghiacciai è attualmente ridotto. La misurabilità e alla solidità scientifica è ottima.

## Limitazioni e possibili azioni

La disponibilità del dato, con una adeguata copertura temporale, è relativa a un numero limitato di corpi glaciali. Si auspica l'ampliamento di tale numero in ambiti territoriali particolarmente significativi.

## Riferimenti bibliografici

1. NIMBUS, Rivista Italiana di Meteorologia, Clima e Ghiacciai - Società Meteorologica Italiana Onlus (numeri vari)
2. EEA Report – N 1/2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator-based report
3. Østrem, G., & Brugman, M. (1966). Glacier mass balance measurements. Department of Mines and Technical Surveys, Glaciology Section..
4. Cogley, J. G. (2009). Geodetic and direct mass-balance measurements: comparison and joint analysis. Annals of Glaciology, 50(50), 96-100.

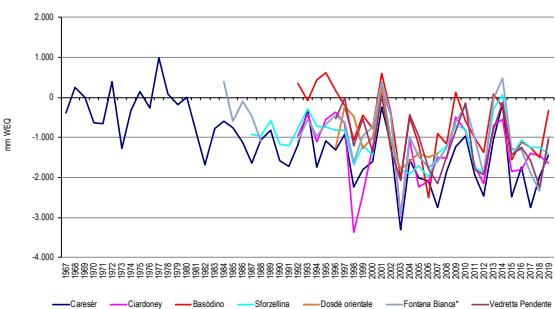


Figura 1 – Bilancio di massa netto di alcuni ghiacciai italiani

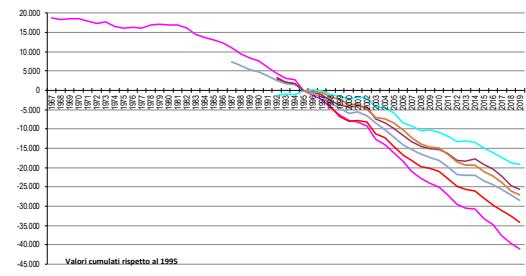


Figura 2 – Bilancio di massa cumulato di alcuni ghiacciai italiani

## Commento al trend



Per i sette corpi glaciali considerati si verifica una generale tendenza alla deglaciazione e alla fusione, anche se con andamento discontinuo. Il trend di bilancio decisamente più significativo è quello espresso dalla lunga serie storica del Caresèr: si tratta di un ghiacciaio di dimensioni maggiori rispetto agli altri, seppure sia in decisa riduzione areale. Dal punto di vista della correlazione con l'andamento climatico, sebbene l'informazione di bilancio annuale possieda un valore intrinseco elevato, la risposta del ghiacciaio ai principali fattori climatici (temperatura e precipitazioni) risulta non essere sempre lineare in quanto le caratteristiche del singolo bacino glaciale possono incidere sul bilancio annuale in modo diverso. Nel complesso si delinea un quadro molto articolato, dove la fusione dei ghiacciai rappresenta la risultante del fattore termico a cui si combinano le variazioni della distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno e le condizioni climatiche peculiari.

## Referente:

Alessandra Galosi – ISPRA  
[alessandra.galosi@isprambiente.it](mailto:alessandra.galosi@isprambiente.it)

# BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI



## Numeri e messaggi chiave

A livello complessivo, il bilancio cumulato mostra perdite significative che ammontano a oltre 15 metri di acqua equivalente per il ghiacciaio del Timorion (2001-2019) e a quasi 36 metri per il ghiacciaio di Alpe Sud (1998-2019). La sostanziale differenza nella perdita dei due ghiacciai è riconducibile all'esposizione NO del ghiacciaio del Timorion e SE del ghiacciaio di Alpe Sud e alla quota media dei due apparati glaciali, che si attesta rispettivamente sui 3300 e 3150 m slm.

## Descrizione

Misurazioni periodiche del bilancio di massa glaciale mediante indagini specifiche ottenuto determinando la somma algebrica tra la massa accumulata, data dalle precipitazioni nevose invernali e primaverili, e la massa di ghiaccio persa nel periodo di fusione (ablazione).

## Scopo

Evidenziare le variazioni annuali della massa glaciale e il rispettivo trend.

## Frequenza rilevazione dati

Ogni anno vengono effettuate due campagne di misura.

## Unità di misura

Millimetri di acqua equivalente (mm WEQ).

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

1998 – 2020

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

Il bilancio di massa è lo standard indicato dal World Glacier Monitoring Service per valutare lo stato di salute di un ghiacciaio. È inserito dal Global Climate Observing System (GCOS) nelle Essential Climate Variables (ECVs) per l'osservazione dei cambiamenti climatici del pianeta.

## Metodologia di elaborazione

Per l'elaborazione dell'indicatore sono stati presi in considerazione 2 apparati glaciali, il ghiacciaio del Timorion (Valsavaranche, AO) e il ghiacciaio di Alpe Sud (Valfurva, SO). Il bilancio viene determinato sulla base dei dati raccolti in due campagne di misura distinte. La stima dell'accumulo viene effettuata alla fine della stagione invernale, nella quale si quantifica la massa accumulata tramite misurazione di spessore e densità del manto nevoso. Nella campagna di stima dell'ablazione, effettuata a fine estate, si quantificano le perdite per fusione di neve e ghiaccio.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI



## Fonte e accessibilità

ARPA Valle d'Aosta, ARPA Lombardia.

## Qualità dell'informazione

Le serie storiche disponibili, generalmente poco estese, forniscono indicazioni relative soltanto al trend recente. Inoltre, sebbene i diversi ghiacciai possano essere considerati rappresentativi dei differenti settori climatici di appartenenza, il numero dei campioni è attualmente ridotto e, pur avendo un significato rilevante per l'analisi dei trend, non permette approfondimenti su scala locale. Relativamente alla comparabilità nel tempo e nello spazio, queste possono essere considerate entrambe ottime, in quanto la metodologia di costruzione dell'indicatore è rimasta invariata.

## Limitazioni e possibili azioni

Attualmente in Italia è monitorato un numero limitato di ghiacciai, frequentemente con serie di entità ridotta. Sarebbe auspicabile una specifica analisi che porti a valutare l'interesse per attivare nuovi monitoraggi in ambiti territoriali particolarmente significativi o rappresentativi di condizioni meteo-climatiche particolari o di particolare rilevanza.

## Riferimenti bibliografici

- EEA Report – N 1/2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016 – An indicator-based report.
- Østrem, G., & Brugman, M. (1966). Glacier mass balance measurements. Department of Mines and Technical Surveys, Glaciology Section.
- Cogley, J. G. (2009). Geodetic and direct mass-balance measurements: comparison and joint analysis. Annals of Glaciology, 50(50), 96-100.
- MATTM, 2014. Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia.
- Paul F, Machguth H and Kääb A (2005) On the impact of glacier albedo underconditions of extreme glacier melt: the summer of 2003 in the alps. EARSeL eProceedings, 4 (2), 139–149.
- Colucci RR, Giorgi F and Torma C (2017) Unprecedented heat wave in december 2015 and potential for winter glacier ablation in the eastern alps. Scientific Reports, 7 Gobiet A, Kotlarski S, Beniston M, Heinrich G, Rajczak J and Stoffel M (2014) 21st century climate change in the european alps—a review. Science of the Total Environment, 493, 1138–1151.

## Referenti:

Umberto Morra di Cella – ARPA Valle d'Aosta  
[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

Matteo Fioletti – C. Nivometeorologico ARPA Lombardia  
[m.fioletti@arpalombardia.it](mailto:m.fioletti@arpalombardia.it)

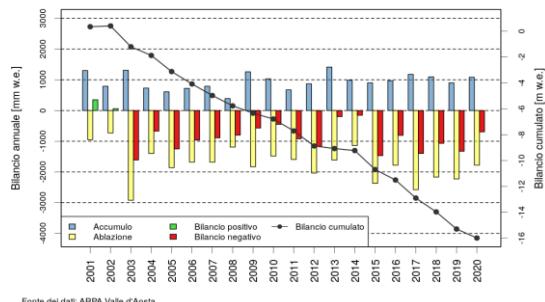


Figura 1 - Ghiacciaio di Timorion

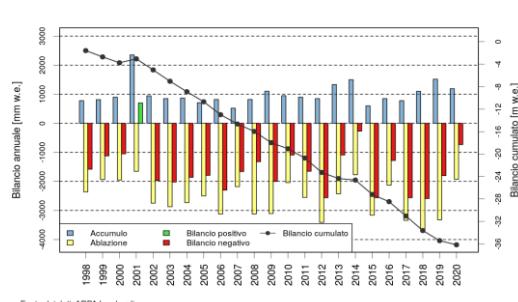


Figura 2 - Ghiacciaio di Alpe sud (Sobretta)

## Commento al trend



In entrambi gli apparati glaciali è possibile osservare un trend significativamente negativo.

A causa dell'effetto combinato di elevate temperature durante la stagione estiva e di precipitazioni invernali ridotte, la quasi totalità degli anni monitorati risulta a bilancio negativo (barre rosse), con una perdita costante di massa coerente con quanto registrato nelle Alpi e, più in generale, a scala globale. Inoltre, osservando entrambi i grafici, è possibile notare che la presenza di annate caratterizzate da una buona quantità di neve accumulata non è sufficiente a compensare le straordinarie temperature raggiunte in alcune delle recenti estati, comportando forti tassi di fusione. Questo comportamento, che si verifica con specifiche peculiarità connesse alle caratteristiche geografiche e al regime delle precipitazioni sia sul Timorion che sull'Alpe Sud, conferma quanto riscontrato nel resto delle Alpi, dove all'aumento della frequenza di estati straordinariamente calde e secche corrisponde un aumento del tasso di contrazione degli apparati glaciali.

# DEGRADAZIONE DEL PERMAFROST

## Fattori climatici

Aumento della temperatura dell'aria e variazione dei regimi pluviometrici, con particolare riferimento alla diminuzione dello spessore e della permanenza al suolo della copertura nevosa (fusione accelerata nella stagione primaverile).

## Altri fattori

Interferenza antropica: i) a livello globale, immissione di gas ad effetto serra in atmosfera; ii) a livello locale, realizzazione di opere ed interventi che interferiscono direttamente o indirettamente con il permafrost, causando un bilancio termico positivo del terreno/roccia.

## Caratterizzazione impatto



La degradazione del permafrost è una conseguenza diretta dell'aumento della temperatura dell'aria e del relativo aumento della temperatura del suolo. A livello regionale il permafrost è influenzato essenzialmente dal clima; tuttavia la morfologia, la presenza di detrito o il tipo e la fratturazione delle rocce e la quantità/persistenza di neve al suolo giocano un ruolo fondamentale sulle caratteristiche locali del permafrost e sulla sua risposta alle forzanti climatiche.



Il permafrost alpino presenta generalmente temperature prossime a 0°C (tra -3° e 0°C) ed è pertanto molto sensibile anche a piccole variazioni di temperatura nei geomateriali (terre, detriti, rocce) che possono determinare importanti cambiamenti nelle loro proprietà geomeccaniche, soprattutto se contengono ghiaccio. Per questo motivo la degradazione del permafrost è considerato un fattore predisponente all'instabilità dei versanti.

## Relazione causa-effetto



La degradazione del permafrost è principalmente determinata dal progressivo approfondimento dello strato attivo, ovvero la profondità a cui arriva il fronte di scongelamento estivo. Di conseguenza aumentano i volumi di substrato sottoposti a stress termici e di sovrappressione idrica determinati dai ripetuti fenomeni di gelo e rigelo. La presenza locale di importanti quantità di acqua e ghiaccio possono amplificare questi effetti.

Foto: Luca Paro (ARPA Piemonte)



## Scenario futuro



Le simulazioni per le Alpi Europee indicano un riscaldamento generalizzato del permafrost e un aumento dello spessore dello strato attivo fino alla fine del secolo. Lo studio delle dinamiche di degradazione del permafrost è particolarmente importante nelle Alpi dove vi è un'elevata esposizione delle persone e delle infrastrutture ai rischi legati ai movimenti di versante.

Infatti, a differenza di ciò che avviene negli ambienti artici, sulle Alpi il permafrost interessa aree con pendenze anche elevate per cui le variazioni delle caratteristiche dei geo-materiali, soprattutto contenenti ghiaccio, possono portare a deformazioni ed instabilità di versante di dimensioni importanti.

Un ulteriore aspetto che si sta recentemente approfondendo è la relazione tra la degradazione del permafrost e le risorse idriche in alta quota. Alcuni studi dimostrano che la fusione del ghiaccio contenuto nel permafrost altera in quota l'idrochimica di sorgenti, torrenti e piccoli laghi con conseguente perdita di qualità della risorsa a discapito degli utilizzi sia antropici sia zootecnici.



## Numeri e messaggi chiave

Il permafrost nei versanti poco acclivi e nei plateau di alta quota delle Alpi occidentali si sta degradando in media ad un tasso di circa 0.15°C ogni 10 anni.

### Descrizione

Analisi della variazione di temperatura del permafrost ad una specifica profondità.

### Scopo

Quantificare l'eventuale tendenza alla degradazione.

### Frequenza rilevazione dati

Frequenza da oraria a giornaliera in base alla profondità di misura

### Unità di misura

Gradi Celsius (°C)

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

Dati disponibili a partire dal 2008 (Valle d'Aosta) e dal 2011 (Piemonte)

### Copertura spaziale

Regionale (1 stazione per il Piemonte ed 1 stazione per la Valle d'Aosta)

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

L'indicatore deriva dall'analisi della temperatura del permafrost a 35 m di profondità, che rappresenta la quota sufficiente per integrare un segnale di lungo termine poco influenzato dalle variazioni stagionali, rilevata tramite catene termometriche installate all'interno di fori di sondaggio opportunamente realizzati e strumentati. I due siti considerati sono: Colle Sommeiller (quota 2990 m, TO) in Piemonte e il Colle Cime Bianche (quota 3100 m, AO) in Valle d'Aosta.

A partire dalla serie delle temperature medie mensili misurate: (i) si rimuovono le variazioni stagionali (*lag-1 autocorrelation*), (ii) si calcola il trend (*Sen's slope estimator*) e (iii) si testa il suo livello di significatività (*Mann-Kendall*).

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

Documentato e di qualità nota

Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

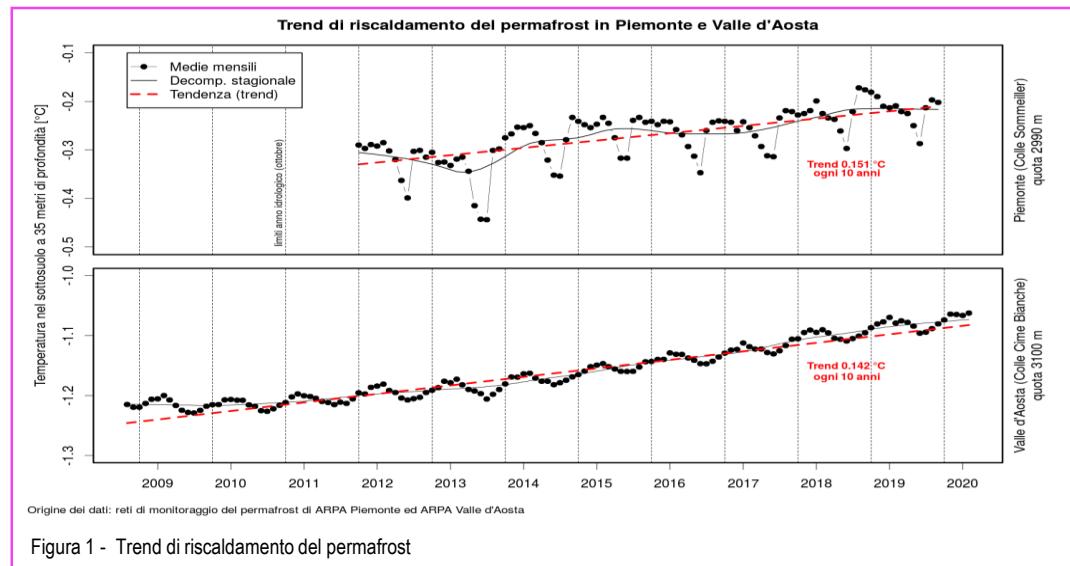
Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

Comparabile nello spazio

# STATO TERMICO DEL PERMAFROST



## Fonte e accessibilità

I dati, di dominio pubblico, provengono dalle reti di monitoraggio del permafrost delle regioni Piemonte e Valle d'Aosta.

<https://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/geologia-e-dissesto/permafrost/monitoraggio-permafrost>

<https://www.arpa.vda.it/it/relazione-stato-ambiente/ambiente-naturale/criosfera-e-biosfera/1317-il-permafrost-ambceb004>

## Qualità dell'informazione

Alta, grazie all'utilizzo di fonti affidabili e di una metodologia consolidata e standardizzata.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore è rappresentativo solo per contesti morfologici simili a quelli dei siti di monitoraggio utilizzati, ovvero versanti poco acclivi o plateau posti a quote intorno ai 3000 metri.

Non è rappresentativo per versanti ripidi e rocciosi o versanti ricoperti da spesse coperture detritiche.

## Riferimenti bibliografici

1. International Permafrost Association. (2008). Manual for Monitoring and Reporting Permafrost Measurements.
2. [https://ipa.arcticportal.org/images/stories/tsp\\_manual.pdf](https://ipa.arcticportal.org/images/stories/tsp_manual.pdf)
3. <https://gcos.wmo.int/en/essential-climate-variables/permafrost>
4. Beniston et al. (2018). The European mountain cryosphere: a review of its current state, trends, and future challenges. *Cryosphere*, 12(2), 759-794.

## Commento al trend



La tendenza al riscaldamento del permafrost è evidente nei due siti analizzati (in Piemonte e Valle d'Aosta) ed in media è di +0.147°C ogni 10 anni. I valori nei due siti sono molto simili tra loro ed entrambi statisticamente significativi e sono in linea con quanto osservato in altri siti della regione alpina.

Poiché la temperatura del permafrost nel sito piemontese è di circa -0.3°C mentre in quello valdostano è di circa -1.2°C, in base al trend attuale è molto probabile che, alla profondità di 35 m, il permafrost si degradi completamente entro il 2040 nel primo sito, mentre è probabile che si conservi almeno fino alla fine del secolo nel secondo sito.

## Referenti:

Luca Paro – ARPA Piemonte  
[l.paro@arpa.piemonte.it](mailto:l.paro@arpa.piemonte.it)

Umberto Morra di Cellà – ARPA Valle d'Aosta  
[u.morradicella@arpa.vda.it](mailto:u.morradicella@arpa.vda.it)

## 6.8 ZONE COSTIERE



# VARIAZIONE DELLA FREQUENZA DI CONDIZIONI DI MARE AGITATO

## Fattori climatici

Circolazione atmosferica e oceanica, variazione delle temperature.

## Altri fattori

Non sono presenti altri fattori.

## Caratterizzazione impatto



La variazione delle condizioni meteorologiche globali e locali hanno effetti sui bacini marini e influenzano la generazione del moto ondoso.



La maggior frequenza di condizioni meteorologiche avverse può generare eventi ondosi da intensi ad estremi. L'impatto negativo riguarda l'aumento delle aree potenzialmente soggette ad inondazione, la variazione dell'energia del moto ondoso, una maggiore erosione costiera, un aumento della vulnerabilità dei centri abitati ed attività antropiche costiere, danni a beni pubblici e privati esposti agli eventi estremi.



Boa Ondametrica ISPRA. Foto: ISPRA

## Relazione causa-effetto



La pressione atmosferica e l'intensità dei venti agiscono direttamente sulla superficie del mare attraverso trasferimenti di energia che generano il moto ondoso.

## Scenario futuro



Gli scenari futuri sono strettamente legati alle proiezioni dei principali parametri meteorologici nelle zone mediterranee.

Recenti studi hanno dimostrato che il potere ondoso globale (*global wave power*) ha subito una variazione positiva a partire dalla metà del ventesimo secolo.

Le variazioni nelle condizioni estreme dello stato del mare determinano impatti su habitat, utilizzazione della fascia costiera, rischi crescenti per la popolazione esposta. L'aumento della frequenza degli eventi estremi in mare può essere valutato attraverso la variazione della frequenza degli stati di mare almeno agitato.



# FREQUENZA DI CONDIZIONI DI MARE AGITATO

## Numeri e messaggi chiave

Il moto ondoso è diretta conseguenza del trasferimento di energia dalle componenti meteorologiche alla superficie marina. La variazione dei regimi di moto ondoso può determinare un diverso uso della costa. In particolare, all'aumento delle frequenze di mare agitato si associa un maggior rischio per le principali attività antropiche costiere, quali la navigazione, l'utilizzo delle zone limitrofe alla linea di costa, maggiore erosione costiera, variazione degli habitat, delle aree idonee per scopi ludici e produttivi. L'indicatore mostra che i mari italiani sono dominati dalle condizioni di mare calmo e mosso: le frequenze di mare agitato e grosso non superano il 25% del totale. Il trend delle frequenze è stabile lungo tutte le coste italiane.

## Descrizione

L'indicatore esprime la frequenza e il trend delle condizioni di mare almeno agitato, con altezza d'onda significativa superiore a 2.5 metri. I regimi ondosi sono espressi secondo la scala *douglas*.

## Scopo

Tale indicatore ha lo scopo di evidenziare le aree di mare maggiormente interessate da una variazione consistente dei regimi di moto ondoso.

## Frequenza rilevazione dati

Dati orari

## Unità di misura

Anno-1

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

2006-2020

## Copertura spaziale

Mari italiani

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

I dati ricavati dalla piattaforma *Copernicus* sono valori ricavati dalla elaborazione di modelli di *hindcast* nel periodo 2006-2018. Il dato viene estrapolato su una griglia (risoluzione 0.04° lat/lon) a scala di bacino mediterraneo. Per ogni punto del grigliato viene calcolato il trend sull'intero periodo dei valori di altezza d'onda che superano 2.5 m.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# FREQUENZA DI CONDIZIONI DI MARE AGITATO



## Fonte e accessibilità

Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Prodotto di riferimento: Modello *Hindcast* per onde (MEDSEA\_HINDCAST\_WAV\_006\_012).

## Qualità dell'informazione

I dati provengono da fonti affidabili. Il dato per ogni punto viene calcolato attraverso l'utilizzo di modelli ben noti in letteratura.

## Limitazioni e possibili azioni

Il modello utilizzato per la stima dei valori di moto ondoso non assimila i dati *in situ*. E' necessario utilizzare osservazioni ondametriche per la validazione di tale dato.

## Riferimenti bibliografici

- Reguero, B.G., Losada, I.J. & Méndez, F.J. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. Nat Commun 10, 205 (2019).

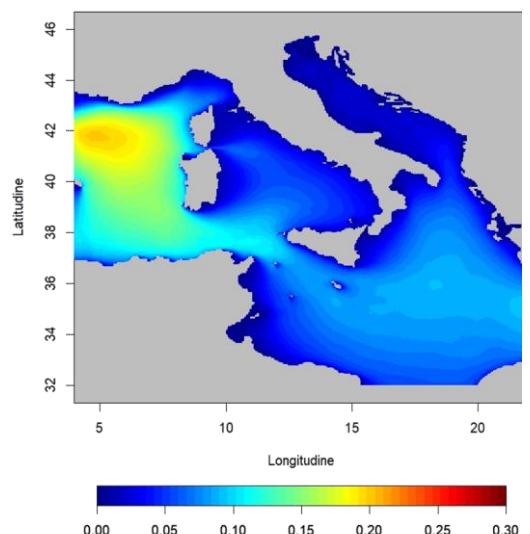


Figura 1 – Valori medi di frequenza di mare agitato e grosso (2006-2020). Fonte ISPRA da dati CMEMS

## Commento al trend



Le aree caratterizzate da una elevata frequenza di moto ondoso agitato e grosso (Fig. 1) sono quelle maggiormente esposte alle forzanti meteorologiche su ampie superfici marine (Mediterraneo occidentale, Canale di Sicilia, Mar Ionio). Tuttavia, i mari italiani sono dominati dalle condizioni di mare calmo e mosso (le frequenze di mare agitato e grosso non superano il 25% del totale).

Il trend delle frequenze (Fig. 2) è stabile lungo tutte le coste italiane, con rare eccezioni (costa occidentale di Sicilia e Sardegna). Variazioni più evidenti, ma comunque poco significative (< 0.4%), vengono rilevate in mare aperto a sud di Sicilia e Sardegna.

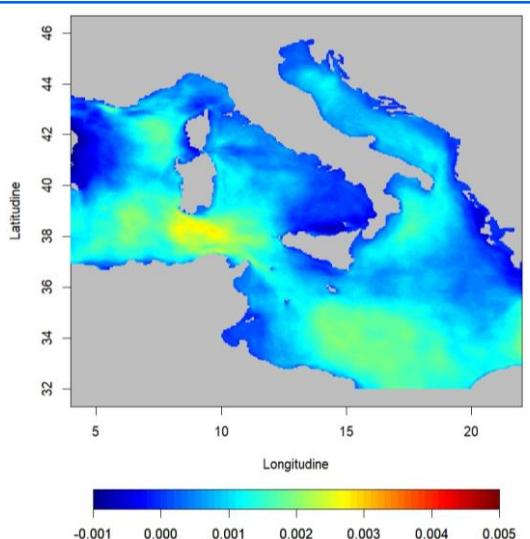


Figura 2 – Trend di frequenza di mare agitato e grosso (2006-2020). Fonte ISPRA da dati CMEMS

Referente:

Marco Picone - ISPRA

[marco.picone@isprambiente.it](mailto:marco.picone@isprambiente.it)

# VARIAZIONE DEL LIVELLO MEDIO DEL MARE

## Fattori climatici

Aumento della temperatura dell'atmosfera e degli oceani.

## Altri fattori

Variazione dei fattori meteorologici a scala di bacino.

Movimenti verticali del terreno che possono smorzare o acuire localmente il fenomeno dell'innalzamento del livello medio del mare.

## Caratterizzazione impatto



L'aumento del volume degli oceani (causato dall'espansione termica) sommato al maggiore apporto di massa d'acqua dovuto alla fusione dei ghiacci continentali determinano modifiche dirette del livello medio del mare.



Le variazioni positive del livello medio del mare (innalzamenti) determinano un aumento delle aree potenzialmente soggette ad inondazione e della frequenza di eventi estremi, maggiore erosione costiera, intrusione di acqua salata e aumento di salinità nella riserva di acqua dolce, "marinizzazione" delle lagune costiere, aumento della vulnerabilità dei centri abitati ed attività antropiche costiere [1].

Nelle lagune e nelle pianure costiere alto adriatiche, all'innalzamento del livello medio mare assoluto dovuto a fattori climatici (eustatismo), si somma la perdita di quota locale dovuta al compattamento degli strati argillosi e sabbiosi del sottosuolo (subsidenza).

## Relazione causa-effetto



Alterazioni delle componenti climatiche generano variazioni dirette del volume e della massa degli oceani, con conseguente variazione del livello medio del mare.

Gli effetti nel Mediterraneo vengono regolati dagli scambi di volumi di acqua attraverso lo stretto di Gibilterra.



Mareografo di Palinuro (SA). Foto: ISPRA

## Scenario futuro



I dati dell'ultimo trentennio evidenziano innalzamenti del livello del mare con valori medi di circa 3 mm/anno su scala globale.

Simulazioni relative all'anomalia media del livello del mare, calcolata come differenza tra il periodo 2021-2050 e 1981-2010 sulla base dello scenario RCP8, restituiscono per i mari italiani un aumento di livello significativo, compreso fra i 7 ed i 9 cm. Una variazione "media" di livello del mare di questa portata avrebbe un impatto assai importante in termini di erosione delle coste ed esposizione alle inondazioni [1].

È doveroso sottolineare come queste simulazioni prendano in considerazione solo gli effetti dell'eustatismo, non contemplando l'effetto di innalzamento del livello medio del mare relativo provocato dalla subsidenza locale.



## Numeri e messaggi chiave

Le variazioni del livello del mare, seppur lente e non apprezzabili dall'occhio umano nel breve periodo, costituiscono da qualche anno una fonte di preoccupazione a causa delle conseguenze che innalzamenti possono riversare sulle coste. La problematica è particolarmente sentita soprattutto in quei paesi, come l'Italia, in cui la forte antropizzazione delle aree costiere ha riversato in aree potenzialmente interessate dal fenomeno una grande quantità di persone e attività.

Tali variazioni, seppur dell'ordine di pochi millimetri l'anno, sono però continue e appaiono ad oggi irreversibili. Nel trentennio appena concluso, si sono verificati incrementi in gran parte dei mari italiani, soprattutto lungo le coste, con valori medi del trend pari a circa 2.2 mm/anno.

### Descrizione

L'indicatore esprime il trend di variazione annuo del livello del mare espresso in mm/anno da osservazioni satellitari.

### Scopo

Tale indicatore ha lo scopo di evidenziare le aree di mare maggiormente interessate da una variazione consistente del livello del mare.

### Frequenza rilevazione dati

Variabile in funzione del numero di satelliti disponibili.

### Unità di misura

mm/anno

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1993-2020

### Copertura spaziale

Mari italiani

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- 7th Environment Action Programme  
Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013;  
- EC Forging a climate-resilient Europe. The new EU Strategy on Adaptation to Climate Change.

### Metodologia di elaborazione

La piattaforma *Copernicus* espone valori di trend di livelli del mare su scala globale, calcolati a partire da osservazioni satellitari. Il dato viene estrapolato su una griglia a risoluzione 0.25° lat/lon. Per ogni punto del grigliato viene calcolato il trend nel periodo 1993-2020.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile

- a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# LIVELLO MEDIO DEL MARE



## Fonte e accessibilità

Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS)  
Ocean Monitoring Indicators.

Prodotto di riferimento:

*Map of the altimeter regional sea level trends (GLOBAL\_OMI\_SLRegional trends).*

## Qualità dell'informazione

I dati provengono da fonti affidabili. Il dato osservato viene estrapolato su griglia attraverso metodologie statistiche.

## Limitazioni e possibili azioni

Il dato osservato, corrispondente al passaggio del singolo satellite, non è continuo nello spazio e nel tempo e necessita di tecniche di estrapolazione per ottenere valori giornalieri su una griglia definita. Le variazioni di densità delle masse d'acqua possono essere caratterizzate da una alta variabilità spaziale con conseguenti effetti locali non visualizzabili. La validazione tramite dati in situ necessita sia di osservazioni mareografiche che di operazioni topografiche (livellazioni ad alta precisione o misurazioni GNSS).

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
2. Sea Level Rise indicator by EEA (<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-6>);
3. IPCC, 2013. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.;
4. IPCC, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, Pörtner et al.

## Commento al trend



Le variazioni annue di livello del mare nel periodo di osservazione mostrano incrementi in gran parte dei mari italiani (Fig. 1), con valori medi del trend pari a circa 2.18 mm/anno, alterazioni marcate nel mar Adriatico (circa 3 mm/anno) e valori attenuati o negativi nel mar Ionio centrale (da -0.5 a 1). Inoltre, i valori associati ai trend di livello risultano maggiori lungo la costa e minori nelle aree centrali di ogni bacino. Tali valori estratti dalle sole osservazioni satellitari necessitano di operazioni di validazione con dati continui misurati in situ attraverso monitoraggi mareografici e osservazioni dei movimenti della crosta terrestre.

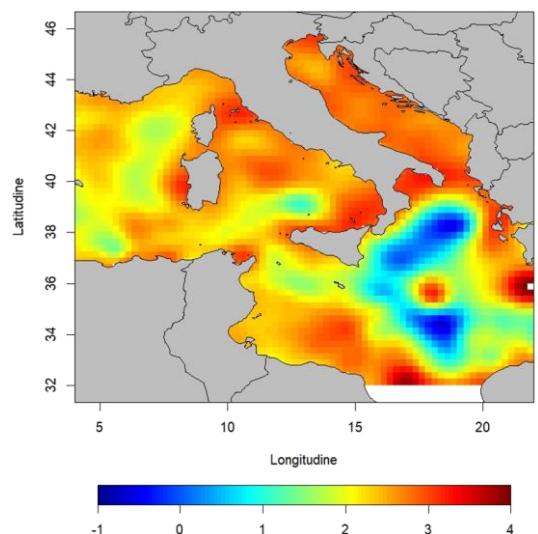


Figura 1 – Trend del livello medio del mare in mm/anno (1993-2020).  
Fonte: ISPRA da dati CMEMS

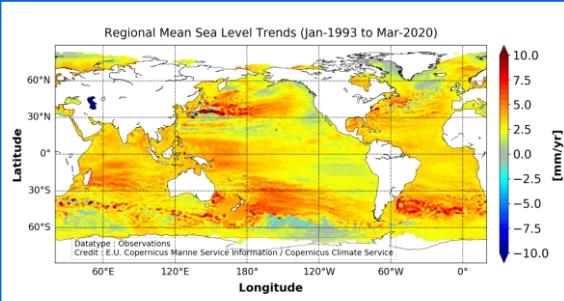


Figura 2 – Trend del livello medio del mare a livello regionale (Gen-1993 a Mar-2020). Fonte: CMEMS.

Referente:  
Marco Picone - ISPRA  
[marco.picone@isprambiente.it](mailto:marco.picone@isprambiente.it)



## Numeri e messaggi chiave

I dati di marea registrati a Venezia (Punta della Salute) sono riferiti ad un livello significativo per i centri urbani lagunari, cioè lo Zero Mareografico di Punta della Salute 1897 (ZMPS). Questo piano di riferimento, calcolato come il livello medio mare di un venticinquennio attorno al 1897, è considerato un riferimento solidale rispetto al centro storico veneziano.

Il livello medio mare registrato a Venezia, pur con la variabilità insita nel fenomeno, sul lungo periodo mostra un tasso di innalzamento medio di 2.53 mm/anno, attestandosi nell'ultimo quindicennio a circa +32 cm rispetto allo ZMPS.

### Descrizione

L'indicatore esprime il trend di variazione annuo del livello medio del mare espresso in mm/anno.

### Scopo

Mostrare l'andamento del livello medio del mare misurato a Venezia, evidenziando la pendenza della curva riferita sia al lungo periodo (1872-2019), che agli ultimi decenni (1993-2019). Quest'ultima misura risulta utile sia per fornire una stima di innalzamento rappresentativa della situazione più recente, sia per poter essere confrontata con il trend calcolato a partire da rilevazioni satellitari (Copernicus).

### Frequenza rilevazione dati

Annuale

### Unità di misura

mm/anno

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1872-2019

### Copertura spaziale

Laguna di Venezia e fascia costiera antistante

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- 7th Environment Action Programme Decision No 1386/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 20 November 2013;
- DG CLIMA: Adaptation to climate change.

### Metodologia di elaborazione

Trend elaborato a partire dai dati di livello medio del mare annuale così calcolati:

- media ponderata del livello medio mare decadale, mensile, massimi e minimi giornalieri (fino al 1988);
- media aritmetica semplice della marea osservata, dati orari o frazioni di ora (dal 1989 al 2019).

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# LIVELLO MEDIO DEL MARE A VENEZIA

## Fonte e accessibilità

- Portale ISPRA (<https://www.venezia.isprambiente.it/>);
- Annuario dati ambientali (<https://annuario.isprambiente.it/>).

## Qualità dell'informazione

Il dati della serie storica provengono dalla stessa stazione, pertanto la comparabilità nel tempo è ottima. Le procedure di trattamento del dato sono state mantenute nel tempo e sono in linea con le prescrizioni dell'IOC. Nel 2015 l'intero processo di validazione dei dati mareografici della Rete Mareografica della Laguna di Venezia e dell'alto Adriatico è stato standardizzato ed inserito nel dominio di certificazione ISPRA UNI EN ISO 9001:2015.

## Limitazioni e possibili azioni

L'innalzamento del livello medio mare a Venezia è dovuto all'effetto combinato di eustatismo e subsidenza locale, non potendo quindi attribuire esclusivamente al cambiamento climatico la causa della tendenza in corso.

Al fine di poter validamente contribuire a separare i due contributi, negli ultimi decenni sono state introdotte nuove tecniche di rilievo satellitare che, a partire da strumentazioni GNSS co-localizzate con stazioni mareografiche, risultano determinanti nel fornire attendibili e precise stime dei movimenti verticali del suolo.

ISPRA da ormai un decennio mantiene in funzione e gestisce la stazione integrata di Venezia - Punta Salute (mareografo + GPS), la quale consente di seguire contemporaneamente per il periodo di analisi sia la variazione del livello medio del mare relativo (mareografo), sia il movimento verticale della Città di Venezia (GPS).

## Riferimenti bibliografici

1. IPCC, 2013. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Stocker et al. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.;
2. IPCC, 2019: Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate Climate, Pörtner et al.;
3. Battistin D., Canestrelli P., 2006. "1872-2004 La serie storica delle maree a Venezia", pubbl. interna Comune di Venezia - Istituzione CPSM;
4. Baldin G., Crosato F., 2017. "L'innalzamento del livello medio del mare a Venezia: eustatismo e subsidenza", ISPRA, Quaderni - Ricerca Marina n. 10/2017;
5. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).

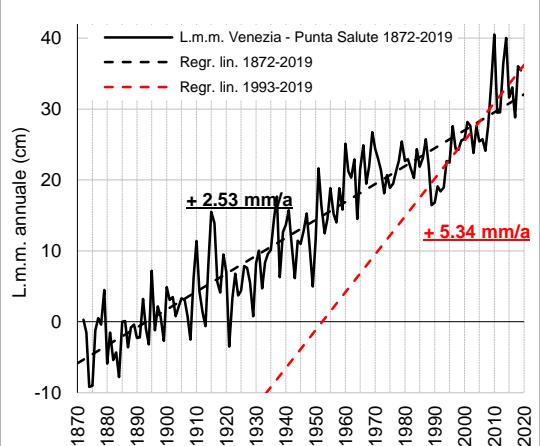


Figura 1 - Livello medio del mare annuale (1872-2019) (Venezia - Punta della Salute)

## Commento al trend



Il livello medio mare registrato a Venezia è in tendenziale aumento sin dall'inizio delle rilevazioni (1872).

Nel corso dell'intero periodo la curva non ha però mostrato sempre una pendenza costante, mostrando fasi caratterizzate da relativa stabilità o addirittura controtendenza (approssimativamente tra il 1915 e il 1925 e tra il 1965 e il 1995) e altre caratterizzate invece da una forte pendenza (tra gli anni '30/60 e il periodo che va da metà anni '90 ad oggi).

Se nel lungo periodo (1872-2019) il tasso di innalzamento del medio mare si attesta mediamente sui 2.53 mm/anno, si ritiene opportuno porre in evidenza il tasso più che raddoppiato riferito all'ultimo periodo. Dal 1993 al 2019 l'innalzamento del livello medio mare si è infatti attestato sui 5.34 mm/a (Fig. 1).

Il ritmo di crescita ha subito un'ulteriore forte accelerazione nell'ultimo decennio tale per cui dal 2009 si sono registrati i valori massimi di livello medio del mare annuale dall'inizio delle registrazioni sistematiche della marea a Venezia.

## Referente:

Franco Crosato - ISPRA

[franco.crosato@isprambiente.it](mailto:franco.crosato@isprambiente.it)

# CAMBIAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLE ZONE COSTIERE

## Fattori climatici

Livello medio del mare, marea, correnti, vento, temperatura, intensità e frequenza di mareggiate, regime fluviale.

## Altri fattori

Uso del suolo (urbanizzazione, infrastrutture marittime e terrestri, opere di protezione costiera e di regolazione del regime fluviale, strutture turistiche, colture).

## Caratterizzazione impatto



L'innalzamento del livello medio marino provoca l'invasione da parte del mare di terre emerse, una maggiore esposizione delle zone costiere agli effetti delle mareggiate e di tutte le componenti climatiche che naturalmente influenzano questi ambienti (marea, correnti, vento, onde).

Le zone costiere sono i territori maggiormente occupati da insediamenti abitativi, infrastrutture di trasporto e da rilevanti attività economiche, anche di tipo turistico. L'uso del suolo e delle risorse costiere spesso agiscono sui processi dinamici litoranei e impongono interventi di contenimento degli effetti distruttivi dell'azione del mare.



Le zone costiere sono i territori maggiormente antropizzati e l'accelerazione di eventi naturali connessi alla dinamica degli ambienti costieri, quali erosione dei litorali, inondazioni e mareggiate, rappresenta una minaccia, specie ove sono messe a rischio abitazioni, infrastrutture e attività economiche.

## Relazione causa-effetto



L'innalzamento del livello medio marino provoca l'invasione da parte del mare di terre emerse, una maggiore esposizione delle zone costiere agli effetti delle mareggiate e di tutte le componenti climatiche che naturalmente influenzano questi ambienti (marea, correnti, vento, onde). L'effetto è una accelerazione dei processi erosivi, con una generale regressione dei litorali verso l'entroterra, un aumento del rischio di inondazioni e di alterazione degli ecosistemi marini-costieri.

Foto: F. Iozzoli (ISPRA)



## Scenario futuro



A causa di una maggiore incidenza di eventi meteorologici estremi e dell'innalzamento del livello del mare, anche in associazione al fenomeno della subsidienza, di origine sia naturale sia antropica, gli scenari futuri delineano per l'Italia un maggior rischio di inondazione ed erosione delle zone costiere, con conseguente degrado ambientale e alterazione degli ecosistemi marini [1].



## Numeri e messaggi chiave

L'analisi dei cambiamenti rivela una predominanza dei processi erosivi lungo la costa, con arretramenti della riva, riduzione dell'ampiezza delle spiagge e maggiore esposizione agli eventi di tempesta. Tra il 2000 e il 2007 è stato riscontrato che, al netto delle variazioni stagionali, il 37% dei litorali è risultato essere soggetto ad erosione e ulteriori 600.000 m<sup>2</sup> di arenili sono andati persi; per il decennio successivo non si evidenziano inversioni di tendenza.

### Descrizione

L'indicatore misura i cambiamenti della costa, in termini di suolo perso e acquisito per effetto di tutte le cause che agiscono in prossimità della costa, e valuta il trend evolutivo delle spiagge.

### Scopo

L'indicatore, aggiornato periodicamente, è un parametro di base per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere e del grado di rischio a cui sono esposti centri urbani, infrastrutture e attività socio-economiche che si sviluppano in prossimità della costa.

### Frequenza rilevazione dati

Quinquennale, decennale.

### Unità di misura

Chilometro (km), Chilometro quadrato (km<sup>2</sup>), Percentuale (%)

### Periodicità di aggiornamento

5-10 anni

### Copertura temporale

1950-2000; 2000-2007

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

MATTM-Regioni, 2018. *Linee Guida Nazionali per la difesa della costa dai fenomeni di erosione e dagli effetti dei cambiamenti climatici*. Tavolo Nazionale su Erosione Costiera MATTM-Regioni, con il coordinamento tecnico di ISPRA.

### Metodologia di elaborazione

Fotointerpretazione della cartografia raster, digitalizzazione della linea di riva sulla base dei mosaici delle tavole IGM in scala 1:25.000, digitalizzazione e classificazione della linea costiera dalle ortofoto a colori del volo IT2000 e del volo IT2006, sovrapposizione ed analisi spaziale dei tratti e delle superfici in avanzamento o in arretramento rispetto alla linea di riferimento, seguendo criteri metodologici per tipologia di costa e fonte dati.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# VARIAZIONI GEOMORFOLOGICHE DELLA COSTA



## Fonte e accessibilità

Elaborazione delle variazioni della linea di costa ISPRA.

## Qualità dell'informazione

I dati di base dell'indicatore sono rilevati da ortofoto zenithali a colori ad alta risoluzione (<1m). La metodologia è adeguata per il monitoraggio periodico dei cambiamenti geomorfologici e del trend evolutivo.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore è un parametro di base per la valutazione della vulnerabilità delle aree costiere e del livello di rischio a cui sono esposti centri urbani e attività antropiche lungo la costa. Aggiornato a cadenza periodica regolare, con un intervallo di almeno 3-5 anni, l'indicatore può offrire informazioni di supporto alla revisione di strategie nazionali di tutela delle zone costiere e di piani regionali di gestione adottati; l'aggiornamento dell'indicatore è soggetto alla disponibilità di coperture territoriali uniformi a scala nazionale.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. ISPRA – Annuario dei dati ambientali (Cap. Idrosfera).

## Commento al trend



Nel periodo 1950-1999 circa il 30% delle coste italiane ha subito cambiamenti significativi, superiori a 25 metri, e nel periodo 2000-2007 ancora il 22% delle coste ha subito variazioni superiori a 5 metri (Tab. 1).

Le spiagge sono i tratti di litorale soggetti a una maggiore e più evidente evoluzione geomorfologica: infatti, analizzando le sole coste basse, tra il 2000 e il 2007 i litorali con variazioni superiori a 5 metri sono il 37% e i tratti di costa in erosione (895 km) sono ancora superiori a quelle in progradazione (849 km) (Tab.2).

Complessivamente il bilancio tra le aree in arretramento e in avanzamento è negativo con una perdita definitiva di territorio costiero di circa 5 km<sup>2</sup> tra il 1950 e il 1999.

Tra il 2000 e il 2007 le spiagge italiane hanno perso 16 km<sup>2</sup> a fronte di 15,2 km<sup>2</sup> di aree in progradazione e la differenza tra la superficie delle spiagge ha evidenziato che ulteriori 600.000 m<sup>2</sup> di arenili sono andati persi (Tab.3) [2].

	1950/1999 (variazioni >+/-25m)		2000/2007 (variazioni >+/-5m)	
	km	%	km	%
<b>Costa</b>				
<b>TOTALE</b>	<b>8.353</b>	<b>100,0</b>	<b>8.274</b>	<b>100,0</b>
<b>Stabile</b>	<b>5.385</b>	<b>64,5</b>	<b>5.846</b>	<b>70,7</b>
<b>Modificata</b>	<b>2.448</b>	<b>29,3</b>	<b>1.808</b>	<b>21,9</b>
<b>Non definito*</b>	<b>520</b>	<b>6,2</b>	<b>619</b>	<b>7,5</b>
<b>Modificata</b>	<b>2.448</b>	<b>29,3</b>	<b>1.808</b>	<b>21,9</b>
<b>Arretramento</b>	<b>1.285</b>	<b>15,4</b>	<b>925</b>	<b>11,2</b>
<b>Avanzamento</b>	<b>1.163</b>	<b>13,9</b>	<b>883</b>	<b>10,7</b>

Tabella 1 - Variazioni della costa nei periodi 1950/1999 e 2000/2007

	1950/1999 (variazioni >+/-25m)		2000/2007 (variazioni >+/-5m)	
	km	%	km	%
<b>Costa bassa</b>				
<b>TOTALE</b>	<b>4.862</b>	<b>100,0</b>	<b>4.715</b>	<b>100,0</b>
<b>Stabile</b>	<b>2.387</b>	<b>49,1</b>	<b>2.737</b>	<b>58,0</b>
<b>Modificata</b>	<b>2.227</b>	<b>45,8</b>	<b>1.744</b>	<b>37,0</b>
<b>Non definito</b>	<b>248</b>	<b>5,1</b>	<b>234</b>	<b>5,0</b>
<b>Modificata</b>	<b>2.227</b>	<b>45,8</b>	<b>1.744</b>	<b>37,0</b>
<b>Arretramento</b>	<b>1.170</b>	<b>24,1</b>	<b>895</b>	<b>19,0</b>
<b>Avanzamento</b>	<b>1.058</b>	<b>21,8</b>	<b>849</b>	<b>18,0</b>

Tabella 2 - Variazioni relative alla sola costa bassa nei periodi 1950/1999 e 2000/2007

	Lungh. (km)	%	Superficie (kmq)
<b>Spiagge</b>	<b>3.271</b>	<b>100%</b>	<b>121,6</b>
<b>Stabilità</b>	<b>1.499</b>	<b>46%</b>	
<b>Arretramento</b>	<b>882</b>	<b>27%</b>	<b>16,0</b>
<b>Avanzamento</b>	<b>851</b>	<b>26%</b>	<b>15,2</b>
<b>Non definito</b>	<b>39</b>	<b>1%</b>	

Tabella 3 - Variazioni delle spiagge nel periodo 2000/2007



Figura 1 - Esempio di dinamica 2000-2006 – Punta Pelaro (RC)  
Fonte ISPRA

## Referenti:

Angela Barbano - ISPRA  
[angela.barbano@isprambiente.it](mailto:angela.barbano@isprambiente.it)

Filippo D'Ascola - ISPRA  
[filippo.dascola@isprambiente.it](mailto:filippo.dascola@isprambiente.it)

# INQUINAMENTI DI BREVE DURATA NELLE ACQUE DI BALNEAZIONE

## Fattori climatici

Eventi di precipitazione intensi ed estremi.

## Altri fattori

Presenza di punti di scarico (foci fluviali, depuratori, scolmatori del troppo pieno), malfunzionamenti tecnici della rete fognaria e/o dei sistemi di trattamento delle acque reflue, punti di dilavamento del suolo.



## Caratterizzazione impatto

L'impatto degli eventi di precipitazione intensa sulla qualità delle acque di balneazione avviene in maniera indiretta poiché esso viene mediato dalla capacità del sistema di depurazione di ricevere e trattare grandi quantità di acqua. Durante le più recenti stagioni balneari, gli eventi meteorici intensi e i fenomeni estremi sono diventati sempre più ricorrenti. Si tratta di eventi che recapitano grandi quantità di acqua sia nei sistemi di depurazione sia al suolo. Nel primo caso può essere messa a rischio la tenuta dei sistemi di depurazione, che devono contenere un volume molto superiore a quello per cui sono stati progettati: essi sono dotati di un sistema di sicurezza, il "troppo pieno" che, attivandosi, recapita nel corpo idrico recettore una grande quantità di reflui non depurati. Nel caso del dilavamento del suolo, soprattutto se avviene dopo un lungo periodo di siccità, i fiumi scaricano nei corpi idrici recettori acque cariche di contaminanti, deteriorandone la qualità.



L'apertura degli scolmatori di "troppo pieno" determina un aumento della contaminazione da patogeni, quali ad esempio quelli associati a contaminazione fecale come gli enterococchi intestinali e *Escherichia Coli* che, se presenti in quantità superiore ai valori limite, implicano il divieto di balneazione. Nella maggior parte dei casi si tratta di una contaminazione che ha un impatto sull'acqua inferiore a 72 ore e alta prevedibilità.

## Relazione causa-effetto



Un aumento significativo della concentrazione dei patogeni fecali si registra o per scarico diretto di acque non depurate, per guasto dei sistemi di depurazione o, come nella maggior parte dei fuori norma registrati, a causa di intense precipitazioni che mandano in crisi la capacità di contenimento dei sistemi di depurazione.



Foto: Giogio55 (Pixabay)

## Scenario futuro



Si prevede un aumento degli eventi estremi di precipitazione, con conseguente intensificazione del numero di episodi di inquinamento di breve durata, soprattutto in mancanza di adeguate misure di gestione [1, 2]. Una particolare misura di gestione sono i sistemi di allerta rapido, alcuni dei quali sono basati su modelli matematici previsionali, che risultano di grande efficacia. Infatti, i modelli previsionali consentono di studiare una fonte di contaminazione, l'eventuale impatto e la sua area di dispersione. Inoltre, correlano le fonti di contaminazione alle forzanti meteo climatiche e alle caratteristiche oceanografiche di una data zona costiera. In questo modo è possibile definire in maniera più precisa l'acqua di balneazione e ridurre notevolmente i rischi per la salute.



## Numeri e messaggi chiave

Gli eventi estremi dovuti a piogge intense peggiorano la balneabilità delle acque, con conseguenti divieti di balneazione. Per effettuare una corretta valutazione del trend bisognerebbe associare i dati dell'andamento delle precipitazioni. Si può comunque affermare che, considerando gli improvvisi ed intensi temporali che si sono verificati nelle ultime stagioni estive, il trend è in peggioramento, confermato dal numero di eventi accaduti durante la stagione balneare 2019.

### Descrizione

L'inquinamento di breve durata è una contaminazione microbiologica che ha cause chiaramente identificabili e si prevede che influisca normalmente sull'acqua di balneazione per meno di 72 ore dopo il primo impatto. Nella maggior parte dei casi, secondo l'analisi delle informazioni fornite nei profili delle acque di balneazione dei siti interessati, questo tipo di inquinamento si verifica dopo periodi di pioggia intensa, provocando lo scarico, in ambiente acquatico, di una miscela di acque sporse e di fognatura.

### Scopo

Evidenziare il numero degli inquinamenti di breve durata legati alle forti piogge permette di porre in luce criticità nel sistema di depurazione delle acque reflue, l'impatto del dilavamento dei suoli connesso all'uso del suolo stesso e l'impatto provocato dalle foci fluviali. Valutare la frequenza di queste forme di inquinamento permette quindi di mettere in atto adeguate misure di gestione volte a tutelare l'ambiente e di conseguenza la salute umana.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale

### Unità di misura

Numero di eventi per stagione balneare

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2014-2019

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Direttiva 2006/7/CE; D.Lgs. 116/2008; DM 30 marzo 2010; DM 19 aprile 2018.

### Metodologia di elaborazione

Somma del numero degli eventi di inquinamento di breve durata avvenuti in ciascuna acqua di balneazione, durante la stagione balneare, su scala nazionale.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# NUMERO DI EVENTI DI INQUINAMENTO DI BREVE DURATA



## Fonte e accessibilità

ARPA, Ministero della Salute.

## Qualità dell'informazione

L'informazione è semplice, accurata, completa nella documentazione e di qualità nota a livello nazionale, aggiornata annualmente dalle Regioni che, a fine di ogni stagione balneare, comunicano al Ministero delle Salute gli esiti del monitoraggio effettuato dalle ARPA.

## Limitazioni e possibili azioni

Mancanza di una correlazione con il dato di piovosità. Una possibile correlazione con la quantità e le intensità di pioggia, potrebbe migliorare le future progettazioni degli impianti di depurazione e della rete fognaria (separazioni reti acque bianche e nere), una migliore gestione dei corsi d'acqua e delle foci.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
2. MATTM, 2018. Piano di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. EEA Report No 2/2018, European BathingWater Quality in 2017.

## Commento al trend



Per effettuare una corretta valutazione del trend bisognerebbe associare i dati dell'andamento delle precipitazioni. Si può comunque affermare che, considerando gli improvvisi ed intensi temporali che si sono verificati nelle ultime stagioni estive, il trend è in peggioramento, confermato dal numero di eventi accaduti durante la stagione balneare 2019.

Queste forme di inquinamento dipendono dalla quantità e dall'intensità delle piogge ma anche dalla presenza di corsi d'acqua che, in occasione di eventi meteo avversi, possono recapitare in mare un'elevata concentrazione di contaminanti. Pertanto anche acque di balneazione con classe di qualità elevata non sono esenti da questi episodi di inquinamento. Questo risultato è ben evidente in Fig. 2, in cui l'inquinamento di breve durata può presentarsi più volte nella stessa acqua di balneazione, durante la medesima stagione balneare.

Stagione balneare	Totale nazionale acque di balneazione	Numero di inquinamenti di breve durata durante la stagione balneare
anno	n.	n.
2014	5507	227
2015	5518	180
2016	5518	232
2017	5531	295 *
2018	5539	327
2019	5528	450

Figura 1- Numero di inquinamenti di breve durata durante la stagione balneare.

\* il valore della stagione 2017 è un valore derivato.

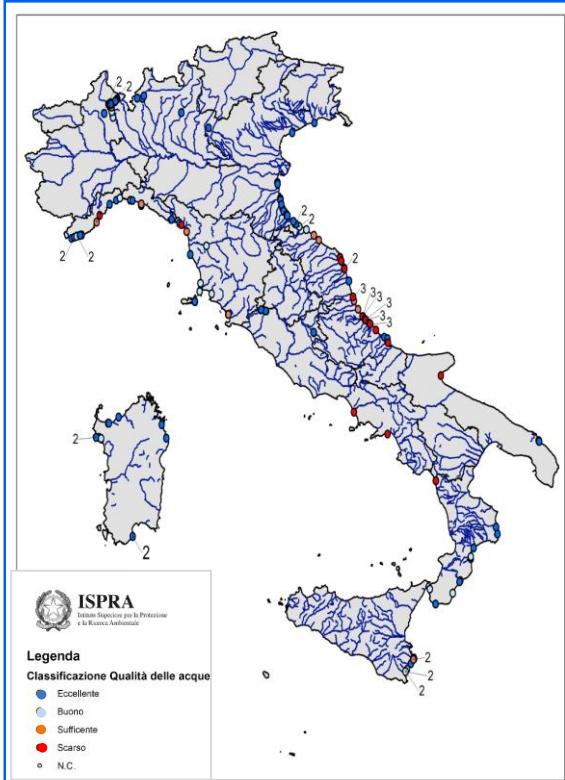


Figura 2 - Rappresentazione degli eventi di inquinamento di breve durata nella singola acqua di balneazione, indipendentemente alla classe di qualità microbiologica (Stagione balneare 2016).

## Referente:

Roberta De Angelis – ISPRA  
[roberta.deangelis@isprambiente.it](mailto:roberta.deangelis@isprambiente.it)

# FIORITURE MICROALGALI IN ACQUE MARINO-COSTIERE

## Fattori climatici

Temperatura.

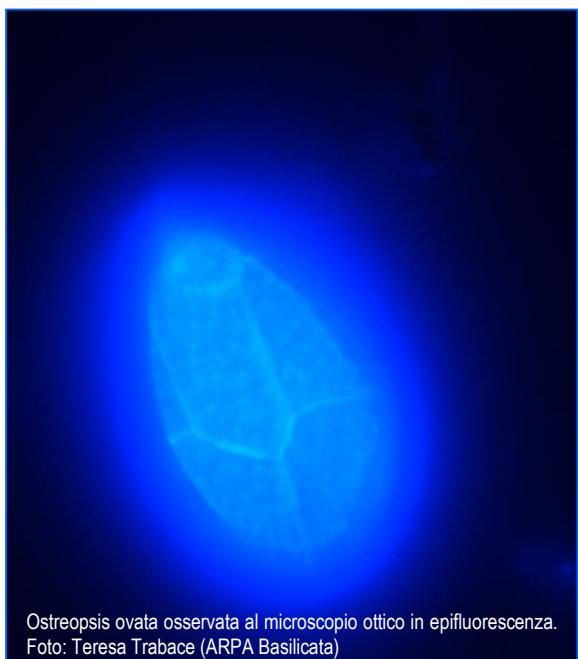
## Altri fattori

Presenza substrati biotici e abiotici, sistemi frangiflutti, basse profondità, scarso idrodinamismo, morfologia costiera (baie naturali), salinità, nutrienti.

## Caratterizzazione impatto



L'innalzamento delle temperature delle acque marino-costiere generalmente superiori a 25 °C, associato allo scarso idrodinamismo e basse profondità, determina la proliferazione di microalge potenzialmente tossiche quali *Ostreopsis ovata* che, con le sue tossine ed elevate concentrazioni possono determinare alterazioni nel comparto acque quali ad esempio colorazioni anomale, schiume superficiali e flocculi in colonna d'acqua, perdita di funzionalità o mortalità di organismi marini bentonici, ed effetti negativi sulla salute umana (sindrome algale).



*Ostreopsis ovata* osservata al microscopio ottico in epifluorescenza.  
Foto: Teresa Trabace (ARPA Basilicata)



Le tossine rilasciate in acqua dalla microalga hanno effetti tossici sugli organismi marini bentonici (mitili, patelle, ricci, echinodermi, macroalge) quali perdita di funzionalità o mortalità mentre l'esposizione umana per inalazione o per contatto può provocare una sindrome parainfluenzale o irritazioni cutanee. Le fioriture massive possono determinare anche alterazioni quali colorazioni anomale delle acque, schiume superficiali e flocculi in colonna d'acqua.

## Relazione causa-effetto

Moderata relazione causa-effetto.

La proliferazione di microalge potenzialmente tossiche quali *Ostreopsis* e il rischio di esposizione ad esse sia per l'ecosistema marino che per l'uomo dipendono dall'innalzamento delle temperature delle acque marino-costiere, generalmente superiori a 20-25 °C, ma deve essere anche associato allo scarso idrodinamismo, in presenza di baie e di substrati idonei (biotici come macroalge o gusci di molluschi o abiotici come rocce, ciottoli, barriere frangiflutti).



## Scenario futuro



Non è possibile attualmente prevedere l'evoluzione dell'impatto sia per la variabilità delle condizioni meteo-marine (idrodinamismo) che influenzano la presenza delle fioriture microalgali ma soprattutto perché non si conoscono ancora i fattori che innescano la proliferazione (fioriture) e l'eventuale rilascio delle tossine. Non esistono modelli previsionali delle fioriture sviluppati a livello nazionale.



## Numeri e messaggi chiave

Negli anni di osservazione l'andamento della presenza nelle stazioni monitorate è stato tale da registrare un aumento del numero dei siti positivi alla microalga tossica aumentando il rischio di esposizione alle tossine e agli effetti tossici per le comunità marino-bentoniche e per l'uomo. Si evidenzia un incremento nel tempo di circa il 10% del numero dei siti con presenza di *Ostreopsis ovata* (2010: 48%, 2018: 60%) con variazioni minime nel periodo 2010-2015 e maggiori tra il 2016 e il 2018. Il valore massimo dei siti positivi pari al 64% si registra nel 2016.

## Descrizione

L'indicatore misura la concentrazione e la distribuzione della microalga lungo le aree marino costiere italiane. È altresì associabile al potenziale rischio tossico e nocivo sugli organismi marini bentonici e sull'uomo. Contribuisce alla "redazione dei profili delle acque di balneazione" (DM 30/3/2010 e ss.mm.ii).

## Scopo

Tale indicatore ha lo scopo di valutare la presenza della microalga la distribuzione spaziale e l'andamento temporale della sua proliferazione lungo le coste italiane.

## Frequenza rilevazione dati

Mensile/quindicinale

## Unità di misura

Cell/g peso fresco; cell/l; cell/cm<sup>2</sup>

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

2010-2018

## Copertura spaziale

Nazionale/regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Direttiva Programma Alghe Tossiche del Ministro dell'ambiente GAB/2006/6741/B01); Dir.2006/7/CE ; D.Lgs. 152/2006; D.Lgs. 116/2008; DM 30 marzo 2010; DM 19 aprile 2018; Direttiva 2008/56/EC; D.Lgs. 190/2010.

## Metodologia di elaborazione

I dati elaborati sono valori di concentrazione in campioni di acqua o substrato. La distribuzione spaziale è elaborata mediante mappatura dei dati di concentrazione su ogni stazione monitorata. Sono mappati anche i superamenti del valore di riferimento sanitario. Il numero delle stazioni risultate positive a *Ostreopsis*, sul totale delle stazioni monitorate, è espresso come valore percentuale; lo stesso è poi confrontato con i valori ottenuti negli anni precedenti (dal 2010) restituendo in forma grafica l'andamento temporale delle fioriture direttamente in relazione con tali valori.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# CONCENTRAZIONE DI OSTREOPSIS OVATA



## Fonte e accessibilità

ARPA costiere, dati forniti a ISPRA nell'ambito della linea di attività: "Fioriture algali di Ostreopsis ovata lungo le coste italiane" (Dir. Programma alghe tossiche n. GAB/2006/6741/B01).

## Qualità dell'informazione

L'informazione è affidabile in quanto le ARPA costiere sono le che forniscono il dato con metodi di monitoraggio e analisi condivisi e consolidati.

## Limitazioni e possibili azioni

Manca un valore soglia di riferimento ambientale che potrebbe essere determinato con studi quantitativi degli effetti sul benthos.

## Riferimenti bibliografici

1. ISPRA Rapporto 148/2011\*
2. ISPRA Rapporto 173/2012\*
3. ISPRA Rapporto 188/2013\*
4. ISPRA Rapporto 211/2014\*
5. ISPRA Rapporto 232/2015\*
6. ISPRA Rapporto 253/2016\*
7. ISPRA Rapporto 275/2017\*
8. ISPRA Rapporto 298/2018\*
9. ISPRA Rapporto 315/2019\*
  
10. Quaderni ISPRA 5/2012
  
11. Rapporto ISTISAN 14/19

12. Tester P.A., Litaker R.W., Berdalet E., 2020. Climate change and harmful benthic microalgae. Harmful Algae, Vol. 91, 2020

## Commento al trend



Sulla base delle informazioni riportate sull'annuario dei dati ambientali ISPRA (2019), il trend, per il periodo di osservazione 2010-2018, è negativo poiché l'andamento nei 10 anni considerati non mostra una netta inversione di tendenza. Infatti, si è registrato un aumento del numero dei siti positivi per Ostreopsis aumentando il rischio di esposizione alle tossine per gli organismi marino-bentonici e per l'uomo. Si evidenzia un incremento nel tempo di circa il 10% del numero dei siti con presenza di O. ovata (2010: 48%, 2018: 60%) con variazioni minime nel periodo 2010-2015 e maggiori tra il 2016 e il 2018. Il valore massimo dei siti positivi pari al 64% si registra nel 2016 (Fig. 2). La mappa (Fig. 1) raffigura la distribuzione delle stazioni lungo la penisola (2018) mettendo in evidenza in maniera cromatica la presenza (arancione), l'assenza (blu) e il superamento del valore di riferimento sanitario (rosso).



Figura 1 – Presenza di *Ostreopsis ovata* lungo le coste italiane (2018).

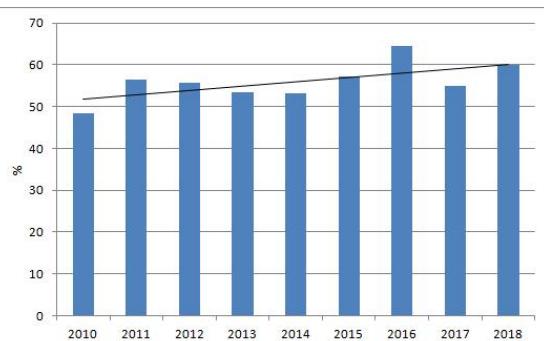


Figura 2 – Percentuale dei siti con presenza di *Ostreopsis ovata* a livello nazionale (2010-2018).

Referente:  
Patrizia Borrello – ISPRA  
[patrizia.borrello@isprambiente.it](mailto:patrizia.borrello@isprambiente.it)

# PERDITA DI BIODIVERSITÀ DELL'HABITAT CORALLIGENO

## Fattori climatici

Variazioni di temperatura dell'acqua di mare, variazione del livello del mare, acidificazione dell'acqua di mare.

## Altri fattori

Torbidità delle acque, distruzione meccanica causata dalla pesca a strascico e dall'abbandono involontario di reti da pesca incagliate o danneggiate.

## Caratterizzazione impatto



Il coralligeno è un ecosistema fragile, minacciato dai cambiamenti climatici, dalla distruzione meccanica e dalla modifica dei parametri fisici e chimici delle acque.



I cambiamenti climatici influenzano la capacità di alcuni organismi di calcificare, riducendo il potenziale di crescita e di riproduzione. Un aumento delle temperature è sufficiente a causare lo sbiancamento (*bleaching*) dei coralli e di conseguenza un'alterazione degli ecosistemi sommersi, comportando una drastica riduzione della resilienza delle comunità colpite. L'abbassamento del valore del ph delle acque marine comporta la riduzione dei tassi di crescita/rigenerazione dei popolamenti del coralligeno.

## Relazione causa-effetto



Un innalzamento della temperatura per periodi prolungati al di sotto del termocline può causare la morte di organismi stenotermi sia direttamente sia favorendo il proliferare di patogeni, morie su grandi scale di antozoi e alghe coralline. L'incremento di temperatura può favorire l'insorgere di fenomeni come lo sviluppo di mucillagini planctoniche e bentoniche che vanno a coprire tutti gli organismi sessili causandone la morte. Effetti sull'habitat coralligeno si possono sintetizzare: epibiosi dovute a specie invasive termofile; sbiancamento (*bleaching*) e necrosi dovuti a fenomeni correlati al *global changing* (aumento della temperatura e acidificazione); intrappolamento di oggetti da pesca; moria per soffocamento dovuto alla formazione di mucillagine che si deposita sul coralligeno.

Foto: Giancarlo Bellissimo (ARPA Sicilia)



## Scenario futuro



L'habitat coralligeno rischia di sparire entro la fine del secolo per il riscaldamento climatico.

L'aumento delle temperature sta causando lo sbiancamento dei coralli che sta avvenendo più velocemente del previsto. Se non si dovessero implementare misure finalizzate alla mitigazione dei cambiamenti climatici, nello scenario peggiore gli habitat coralligeni scompariranno entro il 2034.



## Numeri e messaggi chiave

L'habitat coralligeno rischia di sparire entro la fine del secolo per il riscaldamento climatico.

Quando le acque diventano troppo calde, i coralli, minuscoli animali che secernono carbonato di calcio per proteggersi, espellono le microscopiche alghe simbiotiche chiamate zooxantelle, che risiedono nei loro tessuti e perdono il loro colore, sbiancando.

### Descrizione

L'indicatore è finalizzato a valutare la presenza dei popolamenti presenti, l'abbondanza e la condizione delle specie strutturanti l'habitat coralligeno.

### Scopo

L'indicatore ha lo scopo di valutare lo stato di salute dell'habitat coralligeno considerato il secondo più importante *hot spot* per la biodiversità del Mediterraneo, dopo la prateria di *Posidonia oceanica*.

### Frequenza rilevazione dati

Biennale

### Unità di misura

Abbondanza di specie espressa come n° di colonie o individui/m<sup>2</sup>. Morfometria delle specie strutturanti epi-megazoo-bentoniche. Percentuale di copertura delle macrofite bentoniche.

### Periodicità di aggiornamento

Biennale

### Copertura temporale

2019-2020

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Direttiva 2008/56/CE e D. Lgs 190/2010

### Metodologia di elaborazione

Per la determinazione della localizzazione e dell'estensione dell'habitat coralligeno in ciascuna area è stata prodotta una carta morfo-batimetrica a partire dalla quale è stato possibile acquisire immagini e video per la verifica della presenza dell'habitat, per l'individuazione dei popolamenti presenti e per la valutazione dell'abbondanza e condizione delle specie strutturanti.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# STATO DELL'HABITAT CORALLIGENO



## Fonte e accessibilità

ARPA Sicilia (Monitoraggio di cui alla Direttiva Marine Strategy)

## Qualità dell'informazione

I dati sono affidabili e la metodologia consolidata. Sono state prodotte carte morfo-batimetriche (DTM). Sui tranetti sono state effettuate le indagini mediante l'impiego di ROV (*Remotely Operated Vehicle*) per l'individuazione dei popolamenti presenti. Su alcune specie strutturanti sono stati calcolati specifici parametri ai fini della valutazione della condizione dell'habitat.

## Limitazioni e possibili azioni

L'attuale monitoraggio di ARPA Sicilia è riferito a delle zone limitate. È quindi necessario un ampliamento dei siti di monitoraggio.

## Riferimenti bibliografici

1. Projections of future coral bleaching conditions using IPCC CMIP6 models.
2. Monitoraggio e valutazione dello stato ecologico dell'habitat a coralligeno. Il coralligeno di parete. Linea guida SNPA 2020.
3. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2019.

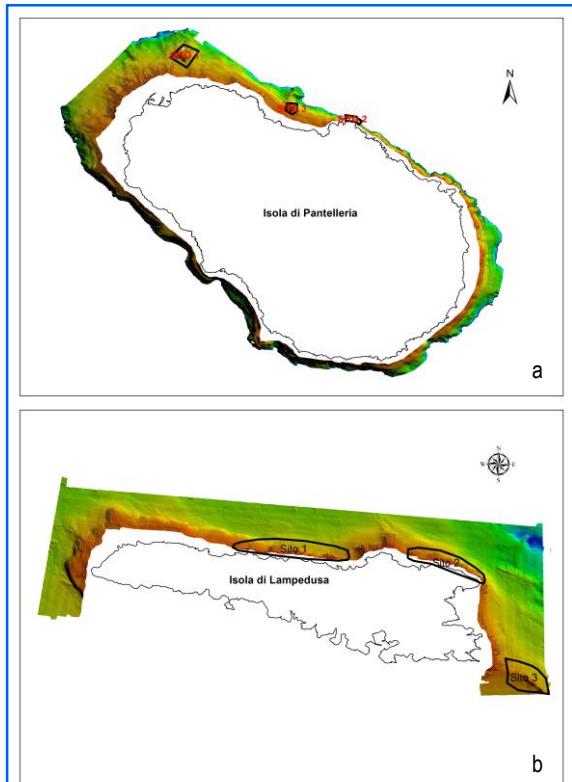


Figura 1 – DTM delle due aree indagate: (a) Isola di Pantelleria, (b) Isola di Lampedusa e localizzazione dei 3 siti di monitoraggio. Le differenti colorazioni rappresentano le varie profondità (tra 30 e 100 m).

## Commento alla mappa



Al momento non si hanno dati disponibili per poter definire un trend. Le immagini (Fig. 1) rappresentano le carte morfo-batimetriche (DTM - modelli digitali del terreno) delle aree indagate (25 km<sup>2</sup>) nell'Isola di Pantelleria e nell'Isola di Lampedusa. In ciascuna area sono stati individuati 3 siti in cui sono stati posizionati 3 tranetti lungo i quali sono state effettuate le indagini mediante l'impiego di ROV (*Remotely Operated Vehicle*) per l'individuazione dei popolamenti presenti. Solo per alcune specie strutturanti (Tabella 1) è stato richiesto il calcolo di specifici parametri (abbondanza e morfometria) ai fini della valutazione della condizione dell'habitat.

## Habitat coralligeno fondali isola di Pantelleria

### Condizione dell'Habitat

### Ricchezza specifica

Phylum	Classe	Specie strutturante epimegazobentonica	Abbondanza specifica (n)	Morfometria (cm) altezza media (±ds) $30 < x \leq 100$
Porifera	Demospongiae	<i>Axinella polypoides</i>	4	20
Porifera	Demospongiae	<i>Sarcotragus foetidus</i>	1	25
Cnidaria	Anthozoa	<i>Eunicella singularis</i>	454	31±8,5
Cnidaria	Anthozoa	<i>Eunicella cavolini</i>	3	23±10,4
Cnidaria	Anthozoa	<i>Eunicella verrucosa</i>	36	19±4,8
Cnidaria	Anthozoa	<i>Leptogorgia sarmentosa</i>	3	60±17,3
Cnidaria	Anthozoa	<i>Paramuricea clavata</i>	83	34±9,1
Cnidaria	Anthozoa	<i>Paramuricea macrospina</i>	48	14±2,2
Bryozoa	Gymnolaemata	<i>Pentapora fascialis</i>	6	12±2,7

Tabella 1 – Abbondanza e morfometria delle specie strutturanti rinvenute lungo tutti i tranetti ROV dei siti indagati nell'isola di Pantelleria.

## Referenti:

Vincenzo Ruvolo – Giancarlo Bellissimo ARPA Sicilia  
[vruvolo@arpa.sicilia.it](mailto:vruvolo@arpa.sicilia.it); [gbellissimo@arpa.sicilia.it](mailto:gbellissimo@arpa.sicilia.it)

Giuseppe Cuffari – Mariù Armato ARPA Sicilia  
[gcuaffari@arpa.sicilia.it](mailto:gcuaffari@arpa.sicilia.it); [marmato@arpa.sicilia.it](mailto:marmato@arpa.sicilia.it)

## 6.9 SALUTE



# VARIAZIONE DELLA DENSITÀ DI ZANZARE DI INTERESSE SANITARIO (*AEDES ALBOPICTUS*)

## Fattori climatici

Temperatura, Precipitazioni.

## Altri fattori

Movimenti globali di merci e persone attraverso zone endemiche, capacità portante del territorio di sostenere lo sviluppo della Zanzara Tigre.



Foto: CAA S.r.l.

## Caratterizzazione impatto



Si considera l'impatto dell'aumento della temperatura e delle precipitazioni come diretto sulla diffusione della Zanzara Tigre e di conseguenza sul rischio da patogeno.

L'impatto sulla densità e di conseguenza sul rischio da patogeno si può considerare diretto ma non univoco.



L'impatto è considerato negativo perché il bilanciamento tra i parametri influenzati dai cambiamenti climatici sembra essere maggiormente favorevole ad una aumento della densità e della diffusione di zanzara tigre [1], al conseguente aumento di rischio epidemico, e perché costringe ad attuare sistemi di difesa (maggiore uso di insetticidi, repellenti, ecc.).



## Relazione causa-effetto

Aumento di temperatura e fenomeni piovosi possono influenzare i parametri biologici nella zanzara vettore (longevità e ciclo biologico) moderatamente perché può essere che i fattori climatici citati si controbilancino.

## Scenario futuro



La modellistica in materia è ricca e variegata. Il cambiamento climatico, così come previsto nei prossimi decenni, non dovrebbe influire da solo in modo sostanziale sul rischio epidemiologico, poiché in parte contrastato dalla attuale capacità di controllo del vettore (antilarvali, comunicazione, repellenti, insetticidi aerei solo in casi di emergenza, ecc.). Va comunque sottolineato che la lotta messa in campo contro *Ae. albopictus* non sembra ancora sufficiente a ridurre i livelli di popolazione sotto una soglia epidemica accettabile per tutta la stagione estiva [2].

Va specificato che l'utilizzo di insetticidi contro gli adulti a base di piretroidi viene ridotto al minimo per evitare inquinamento dal momento che essi sono prodotti non selettivi che uccidono tutti gli insetti con i quali vengono in contatto, e fenomeni di resistenza. La lotta che viene preferita non è quella contro gli adulti ma quella a monte, contro le larve tramite larvicidi, e tramite educazione ambientale (rimozione dei microfocolai privati).

# ANDAMENTO DELLA DENSITÀ MEDIA DI AEDES ALBOPICTUS



## Numeri e messaggi chiave

L'aumento della temperatura e delle precipitazioni con specifiche combinazioni di parametri potrebbe favorire l'aumento della densità di *Aedes albopictus*. La soglia epidemica individuata dai monitoraggi effettuati negli anni indica rischio elevato per le patologie virali *chikungunya* e *dengue* principalmente tra Luglio e Settembre.

### Descrizione

Andamento della densità media di uova e quindi di adulti di *Aedes albopictus* derivata dalla rete regionale di monitoraggio tramite ovitrappole specifiche.

### Scopo

Ottenere indicazioni sul rischio epidemico trasmesso da *Aedes Albopictus* stimando la densità di adulti tramite la cattura di loro uova.

### Frequenza rilevazione dati

Ogni 14 giorni.

### Unità di misura

N. uova/ovitrappola/14gg

### Periodicità di aggiornamento

1 volta all'anno

### Copertura temporale

2010-2020

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- Delibera Giunta Regionale Emilia Romagna 22 giugno 2020, n. 714 Approvazione del Piano regionale di sorveglianza e controllo delle arbovirosi [/www.zanzaratileonline.it/Media/87bad805-c9a5-479-475-ea92c9851a2f/Piano\\_Arbovirosi\\_2019.pdf](http://www.zanzaratileonline.it/Media/87bad805-c9a5-479-475-ea92c9851a2f/Piano_Arbovirosi_2019.pdf)
- Intesa Stato-Regioni del 15 gennaio 2020 Piano nazionale di prevenzione, sorveglianza e risposta alle arbovirosi (PNA) 2020-2025 [http://www.quotidianosanita.it/allegati/create\\_pdf.php?all=2916821.pdf](http://www.quotidianosanita.it/allegati/create_pdf.php?all=2916821.pdf)

### Metodologia di elaborazione

Calcolo della media uova regionale (Emilia-Romagna) ottenuto da 755 ovitrappole attivate ogni 14 giorni in 10 Comuni capoluogo.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

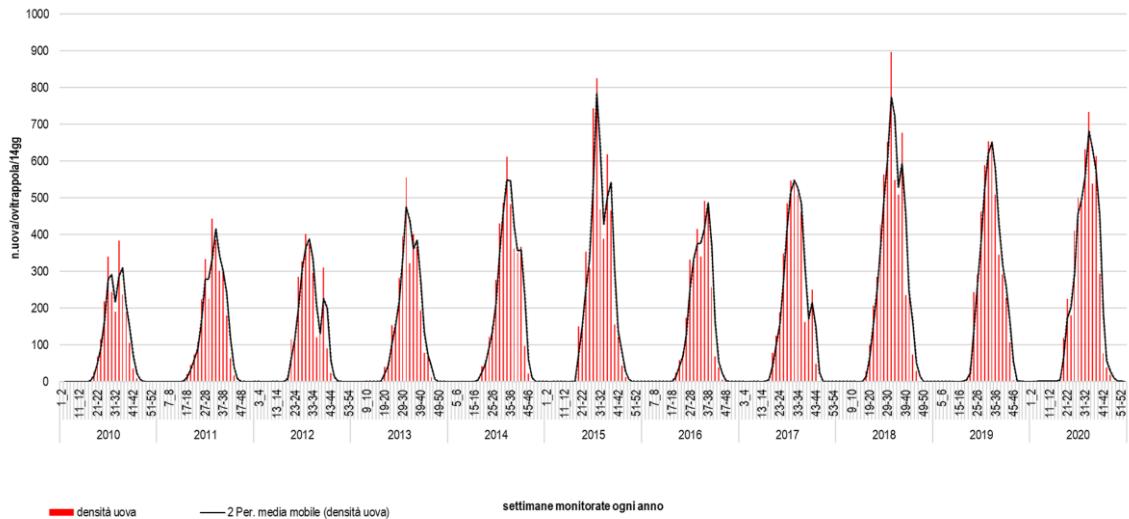
#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# ANDAMENTO DELLA DENSITÀ MEDIA DI AEDES ALBOPICTUS



## Fonte e accessibilità

Database regionale monitoraggio Zanzara Tigre - Regione Emilia-Romagna - Servizio Prevenzione collettiva e Sanità pubblica.

## Qualità dell'informazione

Il dato ha una qualità elevata in quanto viene utilizzato un protocollo standard di gestione del monitoraggio e vengono effettuati controlli di qualità sul dato ottenuto.

## Limitazioni e possibili azioni

Dal punto di vista spaziale il dato è disponibili sui 10 capoluoghi di provincia dell'Emilia-Romagna. Fino al 2016 venivano monitorati anche centri più piccoli poi si è scelto di concentrarsi sui centri principali. Scelta sia economica che pratica in quanto ormai si sa che la Zanzara Tigre è in tutti i centri abitati sotto una soglia di 600 m s.l.m anche se è stata rilevata anche a 800 m s.l.m. Per avere una risoluzione spaziale maggiore, stimando quindi la densità anche in centri abitati in cui non viene effettuato il monitoraggio (privi di ovitrappole), si potrebbe procedere tramite modelli che correlano la densità calcolata altrove con variabili ambientali e climatiche.

## Commento al trend



La densità di popolazione di *Ae. albopictus* presenta ampie fluttuazioni legate all'andamento stagionale (Fig.1), alla combinazione di parametri climatici influenti, al comportamento dei cittadini, ai piani di lotta adottati dai Comuni, per cui i trend di lungo periodo sono difficili da definire.

## Riferimenti bibliografici

1. Kraemer et al. 2019. Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*, *Nat Microbiol*. 2019; 4(5): 854–863, doi: 10.1038/s41564-019-0376-y
2. Carrieri et al. 2012. *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Population Size Survey in the 2007 Chikungunya Outbreak Area in Italy. II: Estimating Epidemic Thresholds, *Journal of Medical Entomology*, Volume 49, Issue 2, 1 March 2012, Pages 388–399, <https://doi.org/10.1603/ME10259>
3. Pagina pubblicazioni in [www.zanzaratilegreonline.it](http://www.zanzaratilegreonline.it) - Regione Emilia-Romagna - Servizio Prevenzione collettiva e Sanità pubblica.

## Referente:

Paola Angelini – Regione Emilia-Romagna

[Paola.Angelini@regione.emilia-romagna.it](mailto:Paola.Angelini@regione.emilia-romagna.it)

# VARIAZIONE DELLA DENSITÀ DI ZANZARE DI INTERESSE SANITARIO (*CULEX PIPiens*)

## Fattori climatici

Temperatura, Piovosità.

## Altri fattori

Fattori ecologici (non sempre facilmente individuabili) influenzano la abbondanza delle zanzare. Ne sono un esempio le caratteristiche ambientali, come disponibilità di focolai larvali ed uso del suolo.



## Caratterizzazione impatto

Alcuni tratti della biologia delle zanzare, animali tipicamente ectotermi, sono influenzati da fattori climatici come la temperatura. Ne sono esempi la longevità, la durata del ciclo riproduttivo, la durata del ciclo gonotrofico. La loro abbondanza è influenzata però anche da altri fattori ecologici, a loro volta influenzati dalle condizioni climatiche.



L'aumento dell'abbondanza di zanzare ha un impatto negativo per la molestia direttamente provocata da questi insetti. La loro presenza può tradursi in un danno diretto economico per alcuni settori, come il turismo. Inoltre alla presenza di questi insetti è correlato un rischio sanitario legato ai patogeni che possono trasmettere.



## Relazione causa-effetto

I fattori climatici hanno una forte influenza sul numero di zanzare, animali tipicamente ectotermi, ma ci sono altri fattori ecologici (non sempre facilmente individuabili) che ne determinano l'abbondanza. Per esempio la disponibilità di focolai larvali e di ospiti sui quali effettuare il pasto di sangue.



Foto: Mattia Calzolari (IZS Lombardia e Emilia-Romagna)

## Scenario futuro



L'aumento delle temperature potrà provocare un aumento delle densità di zanzare ed un allungamento del loro periodo di presenza attiva sul territorio.

Anche se non sempre è possibile stabilire un rapporto diretto fra l'abbondanza di questi insetti e la circolazione delle malattie che trasmettono, il loro aumento avrebbe conseguenze epidemiologiche molto rilevanti nella circolazione di questi patogeni.

Inoltre l'aumento delle temperature agisce direttamente sulla circolazione dei patogeni trasmessi da artropodi, aumentandone ulteriormente l'incidenza, per esempio accorciando i tempi in cui si infettano i vettori.

Temperature molto al di sopra della media, in concomitanza con siccità, potrebbero però avere effetti deprimenti sull'abbondanza delle zanzare.



## Numeri e messaggi chiave

L'andamento stagionale dell'indicatore mostra un picco di massima abbondanza, solitamente a giugno, e quindi un andamento decrescente, con valori minimi a settembre-ottobre. Il valore massimo a giugno è stato osservato nel 2013 (965 esemplari), quello minimo sempre a giugno nel 2015 (482 esemplari). Non si evidenzia un trend stabile crescente o decrescente fra le stagioni, che mostrano valori variabili, probabilmente in parte legati al ridotto lasso di tempo preso in considerazione. *Culex pipiens* è il principale vettore biologico del virus West Nile (WNV) in Italia. La circolazione estiva di questo virus è legata alla presenza di questa zanzara. Il WNV può provocare casi di infezione neuroinvasiva e pone seri rischi nella sicurezza delle trasfusioni.

### Descrizione

Media annua di zanzare catturate mensilmente, con trappole attrattive a ad anidride carbonica, a livello Regionale nell'ambito della Sorveglianza al virus West Nile (Regione Emilia-Romagna).

### Scopo

Definire l'abbondanza delle zanzare *Culex pipiens*.

### Frequenza rilevazione dati

I dati vengono rilevati ogni due settimane, coerentemente con i turni di cattura. La media viene elaborato su base mensile.

### Unità di misura

Numero di zanzare *Culex pipiens* catturate da una trappola per notte.

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2013-2019

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

Il dato è ottenuto nell'ambito della sorveglianza del virus West Nile, sfruttando la rete di trappole attive in Emilia-Romagna per la sorveglianza di questo virus. Le trappole sono distribuite omogeneamente sul territorio di pianura e funzionano con turni quindinali da metà maggio a inizio ottobre. Nelle diverse stagioni sono state attive una media di 93 trappole sul territorio regionale (min. 88, max. 95). Le zanzare catturate vengono identificate a livello di specie in laboratorio. La media viene ottenuta sommando il numero totale di zanzare *Culex pipiens* catturate in un mese e dividendolo per il numero di campionamenti effettuati nel mese stesso.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

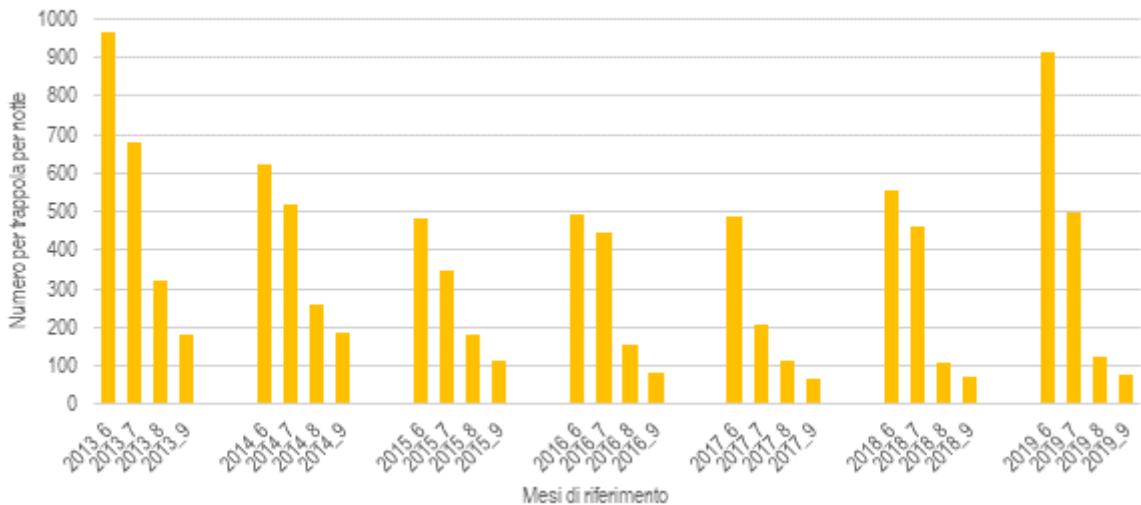
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

Numero Medio *Culex pipiens* mensile (Emilia-Romagna)Figura 1 – Numero medio di *Culex Pipiens* mensile in Emilia-Romagna

### Fonte e accessibilità

I dati sono detenuti da IZLER e di proprietà di IZSLER e Regione Emilia-Romagna.

### Qualità dell'informazione

I dati hanno una buona qualità. Provengono da trappole entomologiche posizionate omogeneamente sul territorio di pianura (adatto alla proliferazione delle zanzare) in una griglia di circa 10 km<sup>2</sup>, attivate ogni 2 settimane.

### Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore può essere disponibile solo nelle regioni dotate di un sistema di sorveglianza attiva per il virus *West Nile*. Può essere influenzato dal numero di trappole attive sul territorio e dai siti in cui queste trappole vengono preferenzialmente posizionate e dalle aree monitorate. L'indicatore include una sola specie di zanzara, non è quindi indicativo della molestia da zanzare in una data area, poiché questa può essere legata alla presenza anche di altre specie non rilevate.

### Commento al trend



L'indicatore è soggetto a forti oscillazioni annuali per la grande variabilità nelle popolazioni di zanzare (Fig. 1). Questa variabilità è in parte spiegata dai fattori ambientali, altri fattori ecologici non sempre facilmente individuabili influiscono sulla loro abbondanza.

### Riferimenti bibliografici

- Calzolari M, Pautasso A, Montarsi F, Albieri A, Bellini R, et al. West Nile Virus Surveillance in 2013 via Mosquito Screening in Northern Italy and the Influence of Weather on Virus Circulation. PLoS One. 2015 Oct 21;10(10):e0140915.
- Calzolari M, Angelini P, Bolzoni L, Bonilauri P, Cagarelli R, et al. Enhanced West Nile virus circulation in the Emilia-Romagna and Lombardy regions (Northern Italy) in 2018 detected by entomological surveillance. Front Vet Sci. 2020 May 5:7:243.

### Referente:

Mattia Calzolari - IZSLER  
[mattia.calzolari@izsler.it](mailto:mattia.calzolari@izsler.it)

# MORTALITÀ ESTIVA PER ONDATE DI CALDO

## Fattori climatici

Le ondate di caldo estive, cioè periodi caratterizzati da elevati valori di temperatura e umidità che persistono almeno per alcuni giorni, determinano importanti effetti sulla mortalità e sulla morbilità delle persone più fragili.

## Altri fattori

Genere, condizioni di salute, stato socioeconomico, isolamento sociale, accesso ai servizi sanitari e socioassistenziali, anche se non facilmente modellizzabili nella relazione di causa effetto. Altri fattori sono associati alle condizioni ambientali della città come la presenza di verde urbano, l'effetto isola di calore, la qualità dell'aria. I fattori non-climatici possono a loro volta essere negativamente influenzati dal cambiamento climatico (nuove povertà e aumento della povertà, disagio sociale, migrazioni).

## Caratterizzazione impatto



L'impatto delle ondate di calore sulla mortalità estiva è una conseguenza diretta di alcuni fattori climatici che concorrono con altri determinanti descritti sopra che però possono, a loro volta, essere negativamente influenzati dal clima. L'impatto è quindi sia diretto sia indiretto.



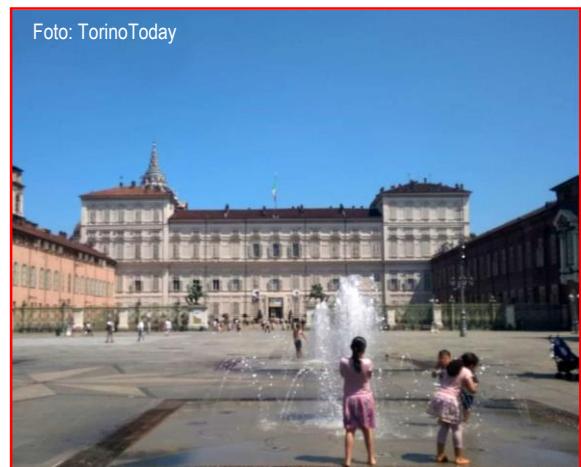
L'impatto del cambiamento climatico, con l'incremento della frequenza e del numero di giorni estivi in ondata di caldo, è negativo per la salute con un effetto diretto sulla mortalità delle persone più fragili, comportandone un incremento, o una maggiore concentrazione, nei giorni caratterizzati da ondata di calore o in quelli immediatamente successivi.

## Relazione causa-effetto



Diversi studi scientifici [1] mostrano che la relazione di causa-effetto è elevata anche utilizzando diverse definizioni di ondata di calore e individuano le ondate di caldo come il rischio naturale connesso al cambiamento climatico più pericoloso in termini di effetti sulla salute [2, 3, 4, 5].

Foto: TorinoToday



## Scenario futuro



Tutti i modelli climatici, globali e regionali, mostrano un incremento delle ondate di caldo nel corso del XXI secolo, evidenziando il sud Europa e l'Area Mediterranea come alcuni degli *hot-spot*, ovvero una delle aree geografiche dove questi fenomeni saranno più ricorrenti e intensi rispetto alla media globale [5, 7]. L'effetto sulla mortalità estiva e, più in generale, sulla salute saranno tra gli impatti più importanti del cambiamento climatico anche secondo il World Economic Forum [6, 5]. I modelli previsionali ipotizzano un aumento del numero di decessi strettamente connesso all'aumento della lunghezza e dell'intensità delle ondate di calore [5, 8]. L'effetto del riscaldamento globale nel corso del XXI secolo, ancorché vengano applicate misure importanti di riduzione delle emissioni di gas climalteranti, porterà ad un aumento delle ondate di calore, con importanti effetti sanitari quali l'aumento della mortalità estiva: l'invecchiamento della popolazione e l'aumento della concentrazione nelle aree urbanizzate, potrà aggravare il quadro degli effetti attesi [9].



## Numeri e messaggi chiave

Il numero di giorni estivi in ondata di caldo è in aumento, pur con una variabilità inter-annuale. L'eccesso di mortalità delle persone più fragili durante le ondate di caldo è importante. L'eccesso di mortalità cumulativo delle persone con età superiore ai 65 anni nel periodo estivo è legata alle condizioni di caldo dell'estate, in particolare al numero di giorni in ondata di caldo. L'invecchiamento della popolazione e l'incremento dei giorni estivi in ondata di caldo, rischia di rendere più gravoso questo impatto.

### Descrizione

L'indicatore proposto si prefigge di costruire la serie storica degli eccessi di mortalità giornaliera intesi come differenza tra decessi osservati e attesi, cumulati durante il periodo estivo (15 maggio - 30 settembre). La distribuzione è, quindi stratificata per età, genere e luogo, comune di decesso (in casa, in istituto di cura, in altro luogo), dove la numerosità lo consente. La distribuzione della mortalità giornaliera viene confrontata con la serie temporale dei giorni in ondata di caldo al fine di valutare l'effetto connesso alle condizioni climatiche. Inoltre, la distribuzione nel periodo estivo viene confrontata con la distribuzione degli eccessi di mortalità giornalieri dal primo gennaio dell'anno solare in corso, per evidenziare possibili effetti di *harvesting* (ovvero quando una causa climatica o non climatica abbia anticipato la mortalità osservata rispetto all'atteso).

### Scopo

Monitorare l'andamento della mortalità definito su dimensioni spaziali in relazione alle ondate di calore.

### Frequenza rilevazione dati

Giornaliera, con elaborazioni annuali.

### Unità di misura

Scarto tra decessi osservati e attesi per die "cumulato" sulla stagione (valore assoluto e percentuale).

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2004-2020

### Copertura spaziale

Comunale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Il Piano nazionale di previsione e prevenzione degli effetti del caldo sulla salute (Ministero della Salute) rappresenta un riferimento per il lavoro pur non presentando riferimenti normativi specifici. Per la natura dell'indicatore, il valore ottimale tende a zero.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# MORTALITÀ ESTIVA



## Metodologia di elaborazione

Il calcolo dell'indicatore si basa sulla differenza tra i decessi attesi e quelli osservati giorno per giorno, cumulati sul periodo maggio-settembre, in modo da ottenere un valore annuale. Il calcolo degli attesi viene effettuato partendo da una serie storica di dieci anni di dati, non anomali, di mortalità interpolati per ogni giorno estivo, attraverso una funzione *spline* corretta per giorno della settimana. Si confronta successivamente la serie storica degli eccessi di mortalità (scarto tra decessi osservati e attesi) con quella del numero di giorni in ondata di calore, in modo da ottenere la correlazione con l'andamento climatico. Per l'indicatore proposto si utilizza l'indice *Heat Stress Index* che considera come ondata di calore il periodo associato a temperatura percepita, massima e minima, al di sopra del novantesimo percentile della distribuzione dei valori climatologici della decade, condizione climatologica sintetizzata da valori di HSI al minimo pari a 7, per un minimo di 3 giorni consecutivi, e protraendo il periodo per i due giorni successivi, sotto l'ipotesi di effetto sanitario "prolungato" dello stress termico.

## Fonte e accessibilità

Dati dei servizi cimiteriali dell'anno in corso e storici, forniti giornalmente dai comuni; i dati meteorologici per il calcolo dell'indice HSI derivano dalle stazioni urbane di Arpa Piemonte.

## Qualità dell'informazione

L'informazione è robusta perché basata su dati meteorologici che rispettano standard e sono sottoposti a controlli di qualità e dati di mortalità che vengono verificati da fonti informative differenti.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore ha il limite di utilizzare dati sensibili che sono soggetti alla normativa per la tutela della *privacy* che comporta particolari modalità per il trattamento e l'analisi. La valutazione delle indicazioni più recenti derivanti dalla letteratura scientifica e dalle condizioni specifiche di ogni area potrebbe far emergere la necessità di incrementare il *dataset* con ulteriori variabili di interesse per lo studio degli effetti delle ondate di calore.

## Commento al trend



Si osserva un aumento del numero di giorni con alto HSI e aumento della mortalità osservata rispetto all'atteso (Fig. 1). Considerando il periodo estivo di ogni anno solare, in media l'eccesso cumulativo dei decessi osservati rispetto agli attesi segue il trend del numero di giorni in cui è presente l'ondata di calore. Con il cambiamento climatico, in attesa di un aumento del numero di giorni interessati da elevate temperature e di fenomeni associati a temperature estreme, ne consegue un numero maggiore di giorni interessati da ondata di calore e un altrettanto intensificato impatto sanitario, in termini di mortalità.

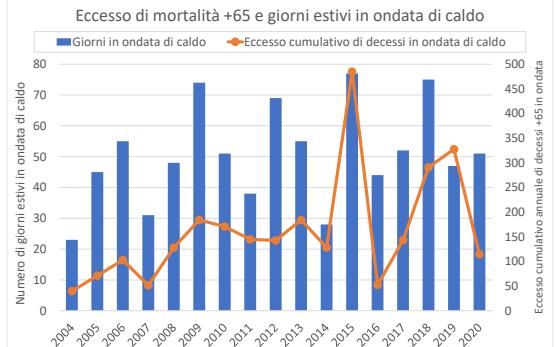


Figura 1 – Distribuzione dei giorni interessati da ondata di calore ed eccesso cumulativo di decessi nei giorni interessati da ondata di calore per la città di Torino dal 2004 al 2020.

## Riferimenti bibliografici

- Zacharias S. et al., "Climate Change Effects on Heat Waves and Future Heat Wave-Associated IHD Mortality in Germany", Climate 2015, 3, 100-117, ISSN 2225-1154.
- World Meteorological Organization (WMO), World Health Organization (WHO), Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development (2015).
- World Meteorological Organization (WMO), Guidelines on the definition and monitoring of extreme weather and climate events (2016).
- Urban adaptation to climate change in Europe report (EEA Report 2/2012).
- Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe (EEA Report 22/2018).
- World Economic Forum, 2020. The Global Risks – Report 2020.
- MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.
- Peng D. et al., Toward a Quantitative Estimate of Future Heat Wave Mortality under Global Climate Change, Environmental Health Perspective, 2011, Vol. 119, No. 5.
- Linaresa C., Impacts of climate change on the public health of the Mediterranean Basin population - Current situation, projections, preparedness and adaptation, Environmental Research, Volume 182, March 2020, 109107.

## Referenti:

Cristiana Ivaldi - ARPA Piemonte  
[c.ivaldi@arpa.piemonte.it](mailto:c.ivaldi@arpa.piemonte.it)

Cecilia Scarinzi - ARPA Piemonte  
[c.scarinzi@arpa.piemonte.it](mailto:c.scarinzi@arpa.piemonte.it)

## 6.10 FORESTE



# VARIAZIONE DI FREQUENZA, INTENSITÀ E POTENZIALE DEGLI INCENDI BOSCHIVI

## Fattori climatici

Precipitazioni e temperature: variazioni dei regimi termopluvimetrici, prolungati periodi di siccità, aumento delle temperature, insolazione, venti.

## Altri fattori

Tipologie vegetazionali, topografia locale, pratiche gestionali, attività normative e regolamentari, fattori socio-economici, attività di comunicazione e sensibilizzazione.

## Caratterizzazione impatto



Impatto indiretto dei cambiamenti climatici dovuto alle variazioni dei regimi termopluvimetrici, all'incremento della ventosità e delle fulminazioni durante gli eventi estremi, oltre che all'alterazione delle condizioni ecologiche delle foreste (aridità e disseccamento, accumulo di biomassa morta, alterazione dell'umidità della lettiera e dei suoli, ecc.).



Si tratta di un impatto negativo, poiché gli incendi boschivi causano alterazione della composizione atmosferica per rilascio di CO<sub>2</sub> e gas serra, alterazioni del ciclo dell'acqua e del carbonio, aumento di rischio idrogeologico e valanghe (per distruzione delle foreste di protezione), e un forte impatto su biodiversità e servizi ecosistemici.

## Relazione causa-effetto



I cambiamenti climatici possono influenzare gli incendi boschivi cambiandone il regime, favorendo maggiori velocità di propagazione e intensità, ma per provocarli è necessario l'innesto, che in genere è di origine antropica. Altri aspetti non climatici che influenzano il rischio di incendio sono la disponibilità di combustibile nei boschi e la diffusione di fitopatologie.



Foto: Rolando Rizzolo

## Scenario futuro



Numerosi studi scientifici accreditati presentano scenari climatici futuri caratterizzati da un incremento del potenziale di incendi boschivi connesso ai cambiamenti climatici. Secondo la Strategia Nazionale di Adattamento, i cambiamenti climatici determineranno una significativa alterazione del patrimonio forestale italiano, compromettendone la funzionalità e i servizi ecosistemici. L'incremento effettivo delle aree bruciate dipenderà però anche dalle attività di prevenzione e dall'approccio gestionale, e per questo la relazione di causa-effetto può essere parzialmente "mascherata" dai continui miglioramenti nella prevenzione e nel controllo del territorio. In uno scenario di clima più caldo, con aumento di siccità, ondate di calore e periodi secchi, sono prevedibili incendi forestali più estesi e frequenti, un'espansione dell'area a rischio di incendio e una stagione di rischio più lunga in tutta Europa, con fenomeni più marcati proprio nell'area Mediterranea.



## Numeri e messaggi chiave

Una elevata percentuale di incendi in Italia è di origine dolosa (ca. il 50% nel 2018); i cambiamenti climatici possono aumentarne il rischio di incendio, la velocità di propagazione e le superfici interessate.

Dal 1970 ad oggi si è avuto un andamento altalenante dell'impatto degli incendi boschivi, ma l'incidenza che il fenomeno sta assumendo in altri continenti indica la necessità di innalzare i livelli di attenzione, controllo e prevenzione.

### Descrizione

L'indicatore presenta la serie storica (1970-2018) dell'andamento degli incendi forestali in Italia, attraverso i valori annui di superficie forestale percorsa dal fuoco e il numero di incendi.

### Scopo

I cambiamenti climatici possono influenzare gli incendi forestali aumentandone il rischio e la velocità di propagazione e cambiandone il regime. L'indicatore mostra l'incidenza degli incendi in termini di numero annuo e di superfici annualmente percorse dal fuoco.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale.

### Unità di misura

Ettaro (ha)

Numero (n)

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1970-2018

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Legge 21 novembre 2000, n. 353 Legge-quadro in materia di incendi boschivi

### Metodologia di elaborazione

L'indicatore riporta le serie storiche dal 1970 al 2018 (tab. 1) e le elaborazioni grafiche da esse derivate del numero di incendi registrati annualmente (fig. 1) e delle superfici percorse dal fuoco, distinte in superfici boscate e superfici non boscate (fig. 2).

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

► Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

► Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

► Buona copertura spaziale

► Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

► Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

► Comparabile nel tempo

► Comparabile nello spazio



### Fonte e accessibilità

Corpo Forestale dello Stato (CFS), dal 2016 divenuto Comando Unità Tutela Forestale Ambientale Agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri (CUTFAA).

### Qualità dell'informazione

L'informazione presenta una buona affidabilità e comparabilità nel tempo e nello spazio.

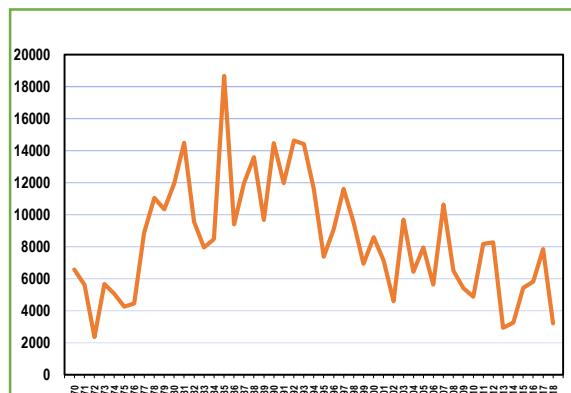
### Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore è mediamente significativo per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici sulle foreste essendo influenzato da numerose variabili.

Inoltre la sola indicazione del numero di incendi o della superficie percorsa dal fuoco non è sufficiente per valutazioni circa l'effettiva entità dei danni che si registrano a carico delle diverse tipologie di formazioni boschive caratterizzate, per propria natura, da resistenza e resilienza estremamente variabili e da diversa suscettibilità agli effetti dell'aridità e agli stress dovuti ai cambiamenti termo-pluviometrici indotti dai cambiamenti climatici.

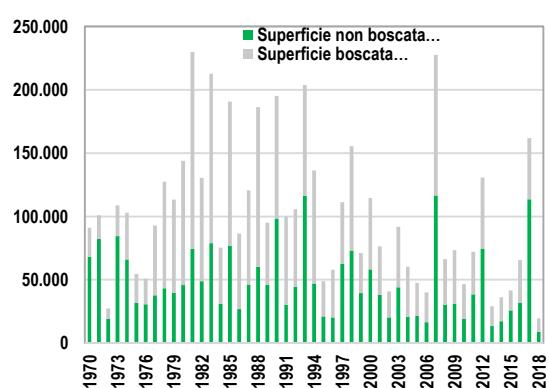
### Riferimenti bibliografici

1. ADA, 2018. Indicatore Entità degli incendi boschivi.
2. EEA, 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA Report No 1/2017
3. RaF Italia, 2017-2018. Rapporto sullo stato delle Foreste e del settore forestale in Italia. Prodotto dalla Rete Rurale Nazionale; Compagnia delle Foreste (AR).
4. SNAC, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici. MATTM.



Fonti: CFS (Corpo Forestale dello Stato); dal 2016 CUTFAA (Comando Unità Tutela Forestale Ambientale Agroalimentare) dell'Arma dei

Figura 1 - Numero annuo di incendi boschivi in Italia



Fonti: CFS (Corpo Forestale dello Stato); dal 2016 CUTFAA (Comando Unità Tutela Forestale Ambientale Agroalimentare) dell'Arma dei

Figura 2 - Superficie boscata e non boscata percorsa annualmente dal fuoco in Italia



# INCENDI BOSCHIVI

## Commento al trend



L'esame complessivo della serie storica denota un andamento altalenante del fenomeno, con anni di picco e successive attenuazioni. Si può osservare un periodo notevolmente critico a metà degli anni '80, cui sono seguiti anni in cui il livello del fenomeno si è mantenuto sempre complessivamente elevato; a partire dal 2001 si è avuta nell'insieme una progressiva mitigazione con due anni di maggior impatto (2007 e 2012). Con riferimento agli ultimi anni, si è riscontrata una recrudescenza del fenomeno, culminata nel 2017 che può essere considerato un "annus horribilis" per gli incendi. Nel 2018 sembra registrarsi una attenuazione sia rispetto alle annate precedenti, che in termini medi. I miglioramenti osservati in alcune annualità potrebbero essere imputabili anche ad una maggiore prevenzione e un miglior controllo del territorio, oltre che ad una maggiore tempestività nelle operazioni di intervento in caso di emergenza.

Anno	Boscata	Superficie percorsa dal fuoco			Incendi n.
		Non boscata ha	Totale	Media ha/n.	
1970	68.170	23.006	91.176	13,86	6.579
1971	82.339	18.463	100.802	17,95	5.617
1972	19.314	7.989	27.303	11,58	2.358
1973	84.438	24.400	108.838	19,16	5.681
1974	66.035	36.909	102.944	20,36	5.055
1975	31.551	23.135	54.686	12,85	4.257
1976	30.735	20.056	50.791	11,40	4.457
1977	37.708	55.031	92.739	10,45	8.878
1978	43.331	84.246	127.577	11,54	11.052
1979	39.788	73.446	113.234	10,97	10.325
1980	45.838	98.081	143.919	12,03	11.963
1981	74.287	155.563	229.850	15,85	14.503
1982	48.832	81.624	130.456	13,65	9.557
1983	78.938	133.740	212.678	26,73	7.956
1984	31.077	44.195	75.272	8,87	8.482
1985	76.548	114.092	190.640	10,21	18.664
1986	26.795	59.625	86.420	9,20	9.398
1987	46.040	74.657	120.697	10,08	11.972
1988	60.109	126.296	186.405	13,72	13.588
1989	45.933	49.228	95.161	9,84	9.669
1990	98.410	96.909	195.319	13,49	14.477
1991	30.172	69.688	99.860	8,35	11.965
1992	44.522	61.170	105.692	7,22	14.641
1993	116.378	87.371	203.749	14,14	14.412
1994	47.099	89.235	136.334	11,77	11.588
1995	20.995	27.889	48.884	6,63	7.378
1996	20.329	37.659	57.988	6,38	9.093
1997	62.775	48.455	111.230	9,58	11.612
1998	73.017	82.536	155.553	16,31	9.540
1999	39.362	31.755	71.117	10,26	6.932
2000	58.234	56.414	114.648	13,34	8.595
2001	38.186	38.241	76.427	10,71	7.134
2002	20.218	20.573	40.791	8,87	4.601
2003	44.064	47.741	91.805	9,47	9.697
2004	20.866	39.310	60.176	9,36	6.428
2005	21.470	26.105	47.575	5,98	7.951
2006	16.422	23.524	39.946	7,08	5.643
2007	116.602	111.127	227.729	21,41	10.639
2008	30.273	36.055	66.328	10,23	6.486
2009	31.060	42.295	73.355	13,53	5.422
2010	19.357	27.180	46.537	9,53	4.884
2011	38.430	33.577	72.007	8,80	8.181
2012	74.532	56.267	130.799	15,81	8.274
2013	13.437	15.639	29.076	9,90	2.936
2014	17.320	18.805	36.125	11,09	3.257
2015	25.867	15.644	41.511	7,63	5.442
2016	31.970	33.533	65.503	11,26	5.818
2017	113.567	48.417	161.984	20,62	7.855
2018	8.805	10.676	19.481	6,05	3.220

Fonti: CFS (Corpo Forestale dello Stato); dal 2016 CUTFAA (Comando Unità Tutela Forestale Ambientale Agroalimentare) dell'Arma dei Carabinieri

Tabella 1- Superficie percorsa dal fuoco e numero di incendi boschivi

## Referenti:

Stefania Ercole – ISPRA  
[stefania.ercole@isprambiente.it](mailto:stefania.ercole@isprambiente.it)

Valentina Rastelli – ISPRA  
[valentina.rastelli@isprambiente.it](mailto:valentina.rastelli@isprambiente.it)



## Numeri e messaggi chiave

Una elevata percentuale di incendi in Italia è di origine dolosa (ca. il 50% nel 2018); i cambiamenti climatici possono aumentarne il rischio di incendio, la velocità di propagazione e le superfici interessate. Gli scenari di un aumento delle temperature e una maggiore frequenza di giorni asciutti consecutivi nella stagione estiva potrebbero alterare anche la consueta stagionalità del rischio incendi in Lombardia.

### Descrizione

L'indicatore presenta la serie storica (1975-2020) dell'andamento degli incendi forestali in Lombardia, attraverso i valori annui di superficie (boscata e non boscata) percorsa dal fuoco e il numero di incendi.

### Scopo

I cambiamenti climatici possono influenzare gli incendi forestali aumentandone il rischio e la velocità di propagazione e cambiandone il regime. L'indicatore mostra l'incidenza degli incendi in termini di numero annuo e di superfici annualmente percorse dal fuoco.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale.

### Unità di misura

Ettaro (ha)

Numero annuale di incendi.

### Periodicità di aggiornamento

Annuale.

### Copertura temporale

1975-2020.

### Copertura spaziale

Regionale.

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Legge 21 novembre 2000, n. 353 Legge-quadro in materia di incendi boschivi.

### Metodologia di elaborazione

L'indicatore riporta le serie storiche dal 1975 al 2020 e le elaborazioni grafiche da esse derivate: numero di incendi annuali e superficie media per incendio (Fig. 1) e il dettaglio delle superfici totali annuali percorse dal fuoco (periodo 2000-2020), distinte in superfici boscate e superfici non boscate (fig. 2).

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# INCENDI BOSCHIVI



## Fonte e accessibilità

Regione Lombardia (convenzione in corso con l'Arma dei Carabinieri); ERSAF; ARPA Lombardia.

## Qualità dell'informazione

L'informazione presenta una buona affidabilità e comparabilità nel tempo e nello spazio.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore risulta mediamente significativo per la valutazione degli impatti dei cambiamenti climatici. La sola informazione sulla casistica annuale degli incendi tuttavia non è sufficiente per valutare le effettive alterazioni dell'ambiente boschivo, che possiede resistenze e resilienze specifiche estremamente variabili agli effetti degli incendi e dell'aridità.

## Riferimenti bibliografici

- ADA, 2018. Indicatore Entità degli incendi boschivi.
- EEA, 2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA Report No 1/2017.
- MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici.
- DGR 23 n. XI/2725 Regione Lombardia. Piano regionale delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2020-2022

## Commento al trend

In Lombardia, come per buona parte delle regioni alpine, il periodo critico per gli incendi boschivi si verifica tra tardo inverno e primavera, periodo in cui i principali fattori favorevoli all'innesto e alla propagazione sono la scarsità di pioggia e il vento di favonio, unitamente al minimo del vigore vegetativo. Gli indicatori (Fig. 1 e 2) non mostrano un trend ma oscillazioni interannuali. Il decennio 1990-2000 evidenzia una maggiore incidenza di eventi, sia in numero sia come superficie bruciata, parametri che tendono a diminuire nel decennio 2000-2010. Nel decennio 2010-2020 si evidenzia un picco nel 2017 e, nel lustro più recente, un aumento della superficie media per incendio (i grossi incendi risultano meno contrastabili). Nel 2020 la riduzione delle superfici bruciate non boscate può essere attribuita anche alle restrizioni alla mobilità della popolazione legate alla pandemia da covid-19.

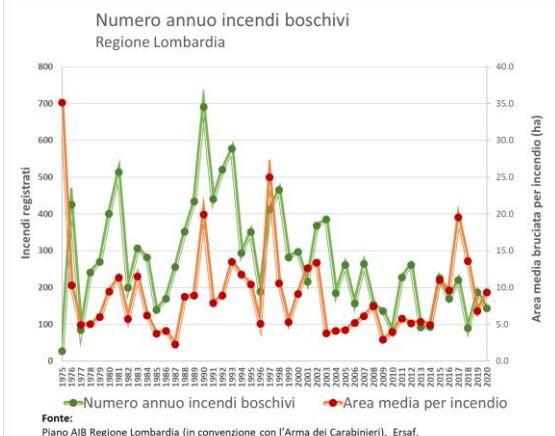


Figura 1 - Andamento annuale del numero di incendi boschivi in Lombardia e estensione media dell'area bruciata per singolo incendio, anni 1975-2020.

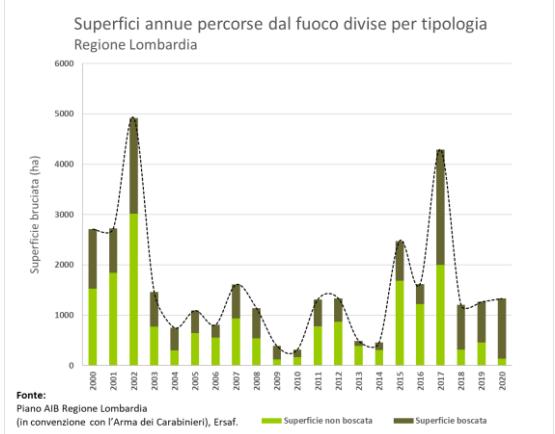


Figura 2 - Dettaglio dell'andamento e tipologia delle superfici bruciate in Lombardia, anni 2000-2020.

## Referenti:

Orietta Cazzuli – ARPA Lombardia  
[o.cazzuli@arpalombardia.it](mailto:o.cazzuli@arpalombardia.it)

Antioco Vargiu – ARPA Lombardia  
[a.vargiu@arpalombardia.it](mailto:a.vargiu@arpalombardia.it)

Matteo Zanetti – ARPA Lombardia  
[ma.zanetti@arpalombardia.it](mailto:ma.zanetti@arpalombardia.it)



## Numeri e messaggi chiave

Gli incendi degli ultimi anni in Piemonte sono stati molto importanti, con lo sviluppo di "megafire" mai registrati in Italia. Gli autunni caratterizzati da temperature miti, ritardi nell'innevamento e lunghi periodi senza precipitazioni hanno favorito lo sviluppo e la propagazione degli incendi. I dati disponibili, mostrano che in Piemonte nella stagione non vegetativa, vi è una tendenza all'aumento della frequenza di giorni con pericolo elevato. Nella stagione vegetativa non si evince un trend ma si evidenziano stagioni particolarmente sicciose (2011, 2017).

### Descrizione

L'indicatore proposto rappresenta un *proxy* dell'impatto dei cambiamenti climatici sul rischio di incendi boschivi, in quanto descrive sinteticamente le condizioni predisponenti l'inesco e lo sviluppo degli incendi, basate sulle condizioni meteorologiche.

### Scopo

Scopo dell'indicatore è rappresentare il potenziale, dovuto alle sole condizioni meteorologiche, di sviluppo e propagazione degli incendi boschivi. La sua semplicità fa sì che sia adatto alla stima delle condizioni predisponenti negli scenari climatici futuri.

### Unità di misura

Indicatore basato su un indice adimensionale che viene attribuito a diverse classi di pericolosità su una scala a 5 livelli.

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2008-2020

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

L'indicatore si basa sull'indice *Fire Weather Index* (FWI). A partire dai dati meteorologici, vengono calcolati i sottoindici e, successivamente, l'indice complessivo. Il calcolo dell'indice FWI è descritto nella bibliografia originale [2]. I sottoindici sono utili per separare il contributo delle diverse variabili climatiche:

- FFMC Contenuto di umidità dei combustibili leggeri (lettiera);
- DC Strato più profondo di materia organica compattata (indice di secchezza);
- DMC Contenuto di umidità della materia organica in decomposizione, poco compattata (humus);
- ISI Indice di propagazione iniziale;
- BUI Indice del combustibile disponibile.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# INDICE METEOROLOGICO DI PERICOLO DI INCENDIO INDICATORE PROXY



## Fonte e accessibilità

Dati meteorologici misurati dalle stazioni a terra di Arpa Piemonte (temperatura, umidità, precipitazioni, vento).

## Qualità dell'informazione

L'informazione derivata dall'indicatore è molto robusta perché basata su dati meteorologici che rispettano standard internazionali e sono sottoposti a controlli di qualità.

## Limitazioni e possibili azioni

Si tratta di un indicatore di pericolo potenziale, in quanto l'evento dipende dall'innesco. Non tiene conto dell'evoluzione della vegetazione, sia in termini di distribuzione areale, tipologia o condizioni di salute.

## Riferimenti bibliografici

- Cesti G., 2011. Fattori orografici e meteorologici influenti sugli incendi boschivi.
- Van Wagner C.E., Pickett T.L., 1985. Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System. Canadian Forest Service, Ottawa, ON. Forestry Technical Report 33.
- Van Wagner C.E., 1987. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System, No. Canadian Forestry Service Forestry Technical Report 35, Ottawa (7).
- De Rigo D., Libertà G., Houston Durrant T., Artés Vivancos T., San-Miguel-Ayanz J., 2017. Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty. Publication Office of the European Union, Luxembourg, 71 pp. ISBN:978-92-79-77046-3.
- Stevens-Rumann C.S. et al., 2017. Evidence for declining forest resilience to wildfires under climate change, Ecology letters, 2017. <https://doi.org/10.1111/ele.12889>.
- McKenzie D., Littell J.S., 2016. Climate change and the eco-hydrology of fire: Will area burned increase in a warming western USA? Ecological Applications, 2016.
- Barbarino S. et al., 2016. Fire risk in the Greater Alpine Region from CMIP5 climate models, SCIREA Journal of Forestry, Volume 1, Issue 1, October 2016.
- Hurteau M.D., Liang S., Westerling A.L. et al., 2019. Vegetation-fire feedback reduces projected area burned under climate change. Sci. Rep. 9, 2838 (2019).

## Referenti:

Renata Pelosini – ARPA Piemonte  
[r.pelosini@arpa.piemonte.it](mailto:r.pelosini@arpa.piemonte.it)

Luisa Renier – ARPA Piemonte  
[l.renier@arpa.piemonte.it](mailto:l.renier@arpa.piemonte.it)

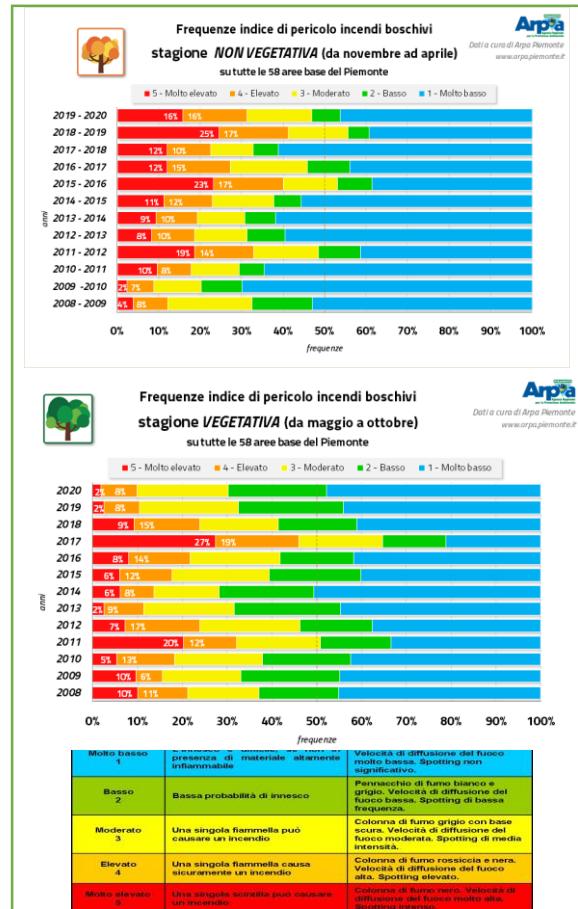


Figura 1 - Frequenza dei giorni corrispondenti ai diversi livelli di pericolo di incendio per ogni anno, nella stagione vegetativa (maggio-ottobre) e non vegetativa (novembre-aprile).

## Commento al trend



L'indicatore evidenzia le stagioni in cui il potenziale incendi boschivi è stato superiore a causa delle condizioni climatiche favorevoli (siccità, caldo anomalo, eventi di foehn, vento forte, ecc.) (Fig. 1). Gli anni disponibili sono troppo pochi per evincere un trend statisticamente significativo ma i dati disponibili, relativi al periodo 2008-2020, mostrano che in Piemonte nella stagione non vegetativa, c'è una tendenza all'aumento della frequenza di giorni con pericolo elevato. Nella stagione vegetativa non si evince un trend ma si evidenziano stagioni particolarmente sicciose (2011, 2017).

## 6.11 AGRICOLTURA E PRODUZIONE ALIMENTARE



# AUMENTO DEL RISCHIO DI SICCITÀ AGRICOLA

## Fattori climatici

Aumento della temperatura e conseguente aumento della domanda evapotraspirativa, diminuzione delle precipitazioni, aumento della CO<sub>2</sub>.

## Altri fattori

Suolo, tipo di coltura (specie e varietà), variabilità clonale, tecniche agronomiche.

## Caratterizzazione impatto



L'aumento della temperatura terrestre determina una maggiore domanda evapotraspirativa dell'atmosfera, con conseguente maggior evaporazione dal suolo e maggior traspirazione da parte delle piante. La concomitante riduzione delle precipitazioni totali, estive in particolare [1], o comunque la ridistribuzione degli apporti meteorici, determina una tendenza complessiva alla riduzione del bilancio idroclimatico e alla diminuzione del contenuto idrico dei suoli.



Nonostante le incertezze legate ai numerosi fattori in gioco e alla loro interazione, numerosi studi concordano sul fatto che i cambiamenti climatici siano associati a un maggior rischio di siccità agricola [2]. Per garantire un'adeguata produzione agricola, le colture irrigue necessitano quindi di maggiori apporti, aumentando così anche la competitività con altri settori (es. aree urbane, industria, turismo).

## Relazione causa-effetto



L'intensità della siccità agricola sul lungo termine è difficile da valutare, soprattutto per la difficoltà nel quantificare componenti rilevanti del bilancio idrico, ad esempio l'evapotraspirazione [2], forse il termine prevalente nel determinare un aumento degli episodi siccitosi. In generale, la variabilità climatica rappresenta comunque uno dei fattori prevalenti nel determinare situazione di crisi idrica in agricoltura. Esistono complessi meccanismi di retroazione suolo-vegetazione-atmosfera piuttosto difficili da prevedere, a volte caratterizzati anche da soglie di innesco. In ogni caso, numerosi studi evidenziano l'aumento nel rischio di siccità agricola in diverse regioni del mondo. In particolare, l'IPCC ritiene con grado di affidabilità media che il Mediterraneo stia subendo un processo di riduzione della risorsa idrica [3].



Foto: Couleur

## Scenario futuro



L'IPCC ritiene con grado di affidabilità media che l'area mediterranea subirà un incremento del rischio di siccità anche con un aumento di 1,5 °C. Nel caso di scenari emissivi medi o alti, il riscaldamento globale provocherà stress da caldo, amplificando il deficit idrico, a prescindere dall'incertezza nella proiezione delle precipitazioni. Questo provocherà siccità più intense, più diffuse, più rapide nel manifestarsi, e più durature, aumentando così anche la propensione di alcune aree a diventare più aride [3].

# DEFICIT TRASPIRATIVO



## Numeri e messaggi chiave

Negli ultimi 60 anni il rischio di siccità in agricoltura in Emilia-Romagna è in aumento per le colture prese in esame (mais, erba medica, vite). Il deficit traspirativo è in aumento sia sul breve periodo (30 giorni) sia sul medio periodo (90 giorni). L'incremento più elevato nel deficit cumulato massimo è osservato per il mais che per i 30 giorni presenta un trend di 8 mm/decennio negli ultimi 60 anni.

## Descrizione

L'indicatore esprime il valore massimo annuale del deficit traspirativo cumulato (su 30 e 90 giorni), calcolato su alcune colture agricole rappresentative per l'Emilia-Romagna (erba medica, mais, vite), per condizioni pedologiche tipiche. Il deficit traspirativo è la differenza tra traspirazione massima e traspirazione effettiva, calcolate tramite il modello di bilancio idrico Criteria.

## Scopo

Lo scopo dell'indicatore è di quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici osservati sulla siccità in agricoltura [4], intesa come una carenza continuativa di rifornimento idrico per le colture agricole che, unita ad un livello elevato di domanda evaporativa atmosferica, induce una carenza idrica nel terreno. Questa a sua volta provoca nella pianta la contrazione dei pori o stomi fogliari, e come conseguenza si può avere una riduzione dell'assimilazione fotosintetica e una perdita produttiva.

## Frequenza rilevazione dati

Il passo di calcolo è giornaliero.

## Unità di misura

mm

## Periodicità di aggiornamento

L'indice può essere aggiornato quotidianamente.

## Copertura temporale

1961-2020

## Copertura spaziale

Regionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

Il metodo consiste nell'applicazione del modello di bilancio idrico Criteria, usando come input la media spaziale per l'area di pianura dei dati meteorologici del dataset Eraclito (<https://dati.arpae.it/dataset/erg5-eraclito>), un suolo rappresentativo di pianura (SMB2), i cui dati sono desunti dal catalogo del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis-suoli>), e simulando mais, erba medica, vite.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

Semplice e facile da interpretare

Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

Facilmente disponibile o reso disponibile

- a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

➤ Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# DEFICIT TRASPIRATIVO



## Fonte e accessibilità

I dati, di proprietà di Arpaee Emilia-Romagna, non sono attualmente pubblicati.

## Qualità dell'informazione

L'indicatore risente della qualità delle informazioni in input (es. errore di misura e di interpolazione dei dati meteorologici) e delle incertezze insite nel modello di calcolo (si veda la documentazione di Criteria al sito <https://www.arpae.it/it/temi-ambientali/meteo/scopri-di-piùstrumenti-di-modellistica/criteria/criteria-modello-di-bilancio-idrico>).

## Limitazioni e possibili azioni

Le limitazioni dell'indicatore sono legate all'incertezza del calcolo modellistico e alla qualità dell'informazione (v. sopra). In particolare, si tiene conto dell'effetto della concentrazione della CO<sub>2</sub> in aria sull'apertura stomatica. Non si è considerato l'apporto idrico da falda superficiale che nel caso della pianura emiliano-romagnola ha un contributo non trascurabile.

## Riferimenti bibliografici

1. Antolini G., Auteri L., Pavan V., Tomei F., Tomozeiu R., Marletto V., 2016. A daily high-resolution gridded climatic data set for Emilia-Romagna, Italy, during 1961-2010. Int J Clim, 36(4), 1970–1986.
2. IPCC, 2019. Climate Change and Land.
3. IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
4. Zinoni F. e Marletto V., 2003. Prime valutazioni di un nuovo indice di siccità agricola. Convegno AIAM. Bologna 29-30 maggio 2003.

## Commento al trend



Tutte le tendenze indicano un aumento statisticamente significativo del valore massimo annuale del deficit traspirativo cumulato negli ultimi 60 anni (1961-2020), ad indicare un incremento della siccità agricola, a breve (30 giorni) e medio termine (90 giorni). L'incremento più elevato nel deficit cumulato massimo è osservato per il mais che per i 30 giorni presenta un trend di 8 mm/decennio, rispetto all'erba medica e alla vite (5 mm/decennio) (Fig. 1), e per i 90 giorni un trend di 20 mm/decennio, rispetto ai 18 mm/decennio per l'erba medica e la vite (Fig. 2).

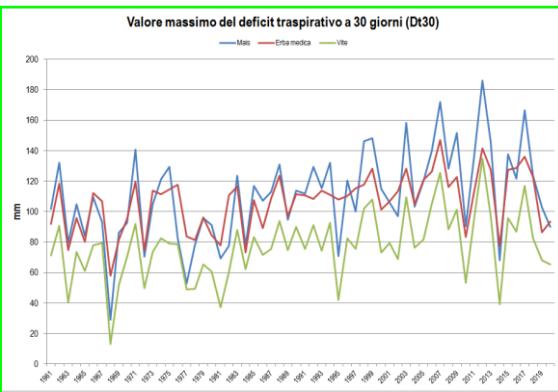


Figura 1 – Valore massimo del deficit traspirativo cumulato a 30 giorni per mais, erba medica e vite, sul periodo 1961-2020

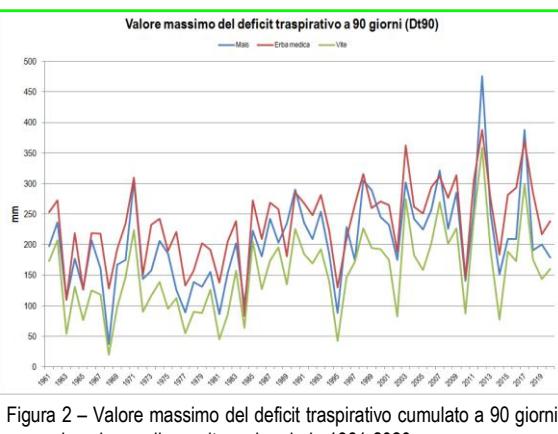


Figura 2 – Valore massimo del deficit traspirativo cumulato a 90 giorni per mais, erba medica e vite, sul periodo 1961-2020

## Referente:

Gabriele Antolini – ARPAE Emilia-Romagna  
[gantolini@arpae.it](mailto:gantolini@arpae.it)

## 6.12 PESCA



# CAMBIAMENTO DI AREALE DI DISTRIBUZIONE DI SPECIE TARGET DELLA PESCA

## Fattori climatici

Aumento della temperatura atmosferica e dello scambio di calore tra atmosfera e mare.

## Altri fattori

Sovrasfruttamento degli stock commerciali, ampliamento del canale di Suez, dispersione di specie aliene (es. acque di sentina).



## Caratterizzazione impatto

L'aumento della temperatura atmosferica determina un aumento della temperatura superficiale del mare. Le prestazioni fisiologiche di molti organismi marini (ad esempio il metabolismo e il successo riproduttivo) dipendono dalla temperatura del mare. I pesci rispondono al riscaldamento del mare spostandosi in aree dove le condizioni ambientali sono loro più favorevoli. La composizione delle comunità marine quindi può cambiare con ripercussioni sulla composizione delle catture della pesca.



Poiché alcune specie ad affinità fredda (es. la sardina) hanno un importante valore commerciale, in particolare in alcune aree, la loro diminuzione potrebbe tradursi in una perdita economica per il settore.



L'espansione geografica e aumento di specie ad affinità calda di interesse commerciale potrebbe avere un effetto positivo sulla pesca.



## Relazione causa-effetto

L'aumento della temperatura degli oceani sta determinando uno spostamento verso latitudini più elevate delle specie più sensibili al caldo. Ne consegue un aumento relativo delle specie ad affinità calda rispetto quelle ad affinità fredda nelle catture commerciali nelle zone temperate.



Foto: Tomaso Fortibuoni (ISPRA)

## Scenario futuro



Il Mediterraneo è considerato un *hot spot* per i cambiamenti climatici, e un aumento della temperatura del mare è già stato osservato ( $1,27 \pm 0,12$  °C tra il 1982 e il 2016) e tenderà ad accelerare nei prossimi anni (con un aumento stimato tra i 0,45 e i 2,56 °C per la fine del secolo a seconda degli scenari di emissione). L'impatto sulle specie marine è quindi destinato a crescere, con conseguenze rilevanti sulla distribuzione ed abbondanza delle specie aliutiche, in particolare quelle più sensibili alla temperatura. La conseguenza è un'espansione verso nord delle specie ad affinità calda (ad esempio l'alaccia *Sardinella aurita* e il pesce serra *Pomatomus saltatrix*), un aumento in termini di abbondanza ed un'espansione geografica di specie aliene provenienti dal Mar Rosso attraverso il Canale di Suez (ad esempio il pesce leone *Pterois volitans*) o da altri bacini (ad esempio il granchio blu *Callinectes sapidus*), e una diminuzione dell'abbondanza di specie ad affinità fredda (come la papalina o spratto *Sprattus sprattus* e la passera comune *Platichthys flesus*).



## Numeri e messaggi chiave

L'aumento della temperatura del mare sta causando un aumento delle catture commerciali di specie ad affinità calda rispetto le specie ad affinità fredda nei mari italiani. In Mar Adriatico, la temperatura media delle catture è aumentata da 19,2 °C (media 1987-1996) a 20,2 °C (media 2009-2018), con un aumento annuo significativo di 0,046 °C (Mann-Kendall test); nel Mar Ionio è aumentata da 20,3 a 22 °C, con un aumento annuo significativo di 0,07 °C; nel Mar di Sardegna da 20,5 a 22,3 °C, con un aumento annuo significativo di 0,075 °C.

### Descrizione

Rappresenta la temperatura media delle catture commerciali della pesca. Ogni specie è caratterizzata da una temperatura preferenziale, che viene pesata anno per anno dalle catture commerciali della specie stessa.

### Scopo

Evidenzia l'aumento delle catture commerciali delle specie ad affinità calda rispetto quelle ad affinità fredda come conseguenza del cambio di distribuzione delle specie indotto da un aumento della temperatura del mare. Specie ad affinità calda tendono ad espandersi a nord, mentre specie ad affinità fredda tendono a confinarsi nelle aree più fredde.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale

### Unità di misura

°C

### Periodicità di aggiornamento

Biennale

### Copertura temporale

1987-2018

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

Rappresenta la temperatura preferenziale media delle specie pescate pesata per le catture commerciali annue delle singole specie. La temperatura preferenziale delle specie è stata stimata da Cheung et al. 2013 sulla base della loro distribuzione ed è disponibile in letteratura. Per il calcolo dell'indicatore si è usata la mediana della temperatura preferenziale di ciascuna specie, e come dati di cattura le statistiche ufficiali della pesca pubblicate dalla FAO relative alle flotte italiane e suddivise per Divisioni.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/collegato alle attività antropiche

- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# TEMPERATURA MEDIA DELLE CATTURE COMMERCIALI



## Fonte e accessibilità

- FAO 2011-2021. Fisheries and aquaculture software. FishStatJ - Software for Fishery and Aquaculture Statistical Time Series. In: FAO Fisheries Division [online]. Rome. Updated 14 September 2020 (<http://www.fao.org/fishery/>).
- Cheung WWL, Watson R, Pauly D (2013) Signature of ocean warming in global fisheries catch. Nature 497: 365–369. doi:10.1038/nature12156.

## Qualità dell'informazione

I dati utilizzati sono aggiornati a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili e standardizzate. L'indicatore è ben fondato in termini scientifici.

## Limitazioni e possibili azioni

Dati sulle catture sono disponibili solo per specie di interesse commerciale. L'utilizzo di dati fishery independent permetterebbe di includere specie di basso valore commerciale ma sensibili alla temperatura.

## Riferimenti bibliografici

1. Cheung W.W.L., Watson R., e Pauly, D., 2013. Signature of ocean warming in global fisheries catch. Nature, 497: 365–369.
2. Fortibuoni T., Aldighieri F., Giovanardi O., Pranovi F., e Zucchetta M., 2015. Climate impact on Italian fisheries (Mediterranean Sea). Regional Environmental Change, 15: 931–937.
3. Tsikliras A.C., e Stergiou K.I., 2014. Mean temperature of the catch increases quickly in the Mediterranean Sea. Marine Ecology Progress Series, 515: 281–284.



Foto: Hans Braxmeier (Pixabay)

## Commento al trend



Il trend dell'indicatore è significativamente crescente in tutte e tre le divisioni FAO in cui sono suddivisi i mari italiani (Fig. 1), come conseguenza di un aumento della biomassa delle specie ad affinità calda rispetto alle specie ad affinità fredda nelle catture commerciali della pesca. Nel Mar di Sardegna e Ionio si è registrato un aumento della temperatura media delle catture di quasi 2 °C da inizio (1987-1996) a fine (2009-2018) serie storica, ad un tasso di circa 0,07 °C l'anno. Nel Mar Adriatico, l'aumento dal primo periodo della serie storica ad oggi è stato di 1 °C, con un incremento annuo di 0,046 °C. L'Adriatico è il bacino più settentrionale e più freddo del Mediterraneo, ed entro certi limiti di aumento della temperatura del mare si ipotizza possa fungere da rifugio per le specie ad affinità fredda, spiegando il minor aumento dell'indicatore. Al contrario, le aree più meridionali risultano maggiormente interessate da un aumento ed espansione delle specie ad affinità calda.

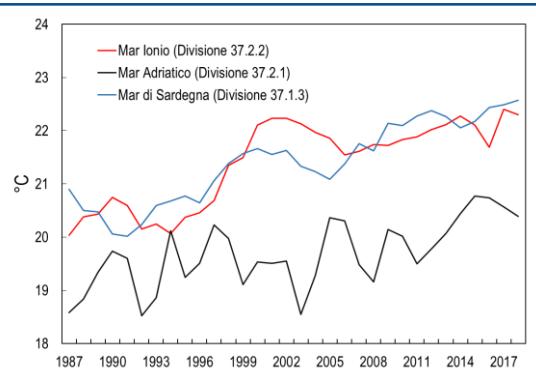


Figura 1 – Temperatura media delle catture commerciali della pesca

## Referente:

Tomaso Fortibuoni – ISPRA

[tomaso.fortibuoni@isprambiente.it](mailto:tomaso.fortibuoni@isprambiente.it)

## 6.13 ENERGIA



# VARIAZIONE DELLA PRODUZIONE DI ENERGIA IDROELETTRICA

## Fattori climatici

Variabilità regime pluviometrico, diminuzione delle precipitazioni.

## Altri fattori

Riduzione della produzione di energia idroelettrica.

## Caratterizzazione impatto



La produzione idroelettrica dipende strettamente dall'andamento delle variabili meteorologiche e climatiche. Stagioni meno piovose determinano eventi di scarsità idrica e allo stesso tempo temperature più elevate favoriscono la progressiva fusione dei ghiacci e l'anticipo delle piene primaverili dovute alla fusione nivale. Durante la stagione invernale si potranno verificare precipitazioni di maggiore intensità ma di minor frequenza ed inoltre un innalzamento della quota delle nevicate. Tutte queste variazioni possono incidere direttamente sulla produzione di elettricità idroelettrica.



Riduzione complessiva della produzione idroelettrica nell'arco dell'anno.

## Relazione causa-effetto



La produzione idroelettrica è una fonte energetica strettamente dipendente dall'andamento delle variabili meteorologiche e climatiche ed una riduzione della disponibilità idrica porterà ad una maggiore difficoltà nella sua gestione.



Foto : Elenza Photography

## Scenario futuro



Nel medio-lungo termine la progressiva riduzione e perdita dei ghiacci nonché le variazioni dei regimi pluviometrici determineranno un impatto su questa primaria risorsa di energia rinnovabile. Le variazioni meteo-climatiche non rappresentano, tuttavia, la sola causa che può incidere sulla eventuale diminuzione della produzione idroelettrica. L'introduzione della normativa sul deflusso minimo vitale, finalizzata a proteggere i corsi d'acqua soggetti a prelievi per produzione idroelettrica da eventuali compromissioni di natura ecologica, costituisce infatti un elemento non trascurabile nel computo della riduzione della produzione.



## Numeri e messaggi chiave

Il numero di ore equivalenti dato dal rapporto tra produzione idroelettrica e potenza installata è significativamente diminuito dal 1941, quando ha raggiunto il picco di oltre 4.000 ore, con una riduzione media di quasi 25 ore all'anno fino al 2019. Le ore equivalenti medie di produzione registrate dal 2011 al 2019 sono inferiori del 35,5% rispetto alla media registrata dal 1931 al 1940, questo vuol dire che nel corso del tempo si è ridotta la disponibilità di risorsa idrica. Sull'andamento della produzione idroelettrica hanno inciso senza dubbio le variazioni meteo-climatiche, in particolare la fusione delle masse glaciali a causa dell'aumento della temperatura e il differente regime pluviometrico

### Descrizione

L'indicatore fornisce informazioni sulla variazione della produzione di energia idroelettrica linda in Italia con l'obiettivo di analizzare l'andamento temporale in relazione alla potenza installata.

### Scopo

Analizzare il trend di produzione di energia idroelettrica in Italia, quale fonte strettamente dipendente da variabili meteorologiche e climatiche. In questi termini, l'indicatore è di rilevante interesse nell'ambito della tematica degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche e sulla produzione energetica da esse dipendente.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale

### Unità di misura

Gigawattora (GWh)

Megawatt (MW)

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

1931-2019

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

La produzione linda, compresa l'energia per i pompaggi, riflette la media della produzione avvenuta in un intervallo di cinque anni. Il dato è stato normalizzato - seguendo i criteri riportati nella Direttiva 2009/28/CE (Allegato II) - per attenuare le oscillazioni annuali. Per una più completa interpretazione, viene fornita anche l'analisi della capacità installata.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# PRODUZIONE LORDA DI ENERGIA IDROELETTRICA



## Fonte e accessibilità

Elaborazione ISPRA su dati Terna scaricabili dal sito:  
<http://www.terna.it/>

## Qualità dell'informazione

Il dato presenta una buona affidabilità essendo di fonte Terna, società responsabile in Italia della trasmissione e del dispaccio dell'energia elettrica sulla rete ad alta e altissima tensione su tutto il territorio nazionale

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore non è un indicatore diretto dei cambiamenti climatici, poiché su di esso incidono anche fattori di natura non climatica. Tuttavia esso può essere considerato un indicatore di interesse per la tematica degli impatti dei cambiamenti climatici, in grado cioè di fornire indicazioni utili allo studio degli effetti sul settore idroelettrico

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici.

## Commento al trend



Nel periodo 1935-1963 la capacità installata presenta un incremento costante e la produzione idroelettrica segue un andamento parallelo. Successivamente si osservano andamenti ciclici intorno a un valore medio della produzione elettrica con un trend in crescita pari a oltre il 10%. Il rapporto tra la produzione e la potenza installata subisce un'evidente diminuzione. La produzione idroelettrica è stata per lungo tempo la principale fonte di energia elettrica per il nostro Paese, rappresentando fino all'80-90% della produzione complessiva. Oggi copre circa il 15-17% della produzione elettrica nazionale. La potenza disponibile è aumentata dal 1935 di un fattore 6,1 a fronte di un incremento di produzione di energia idroelettrica di un fattore 3,9 questo mette in evidenza un disaccoppiamento tra potenza e produzione. Quindi per mantenere la stessa produzione avendo meno risorsa idrica è necessaria più potenza installata o un numero maggiore di serbatoi al fine di recuperare tutte le quantità di acqua disponibili.

## Referenti:

- Antonio Caputo – ISPRA  
[antonio.caputo@isprambiente.it](mailto:antonio.caputo@isprambiente.it)  
 Monica Pantaleoni – ISPRA  
[monica.pantaleoni@isprambiente.it](mailto:monica.pantaleoni@isprambiente.it)

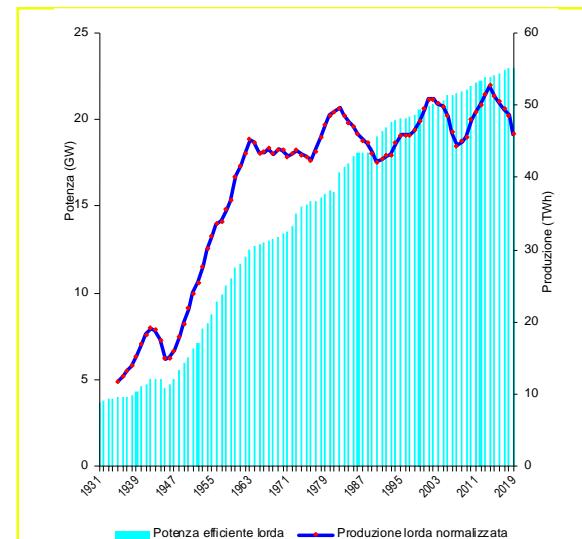


Figura 1 - Produzione idroelettrica linda e capacità installata in Italia

Anno	Produzione linda normalizzata TWh	Potenza efficiente linda GW
1990	42,1	19,0
1995	45,9	20,1
2000	49,5	20,7
2001	50,7	20,7
2002	50,8	20,8
2003	50,2	21,0
2004	49,8	21,1
2005	48,5	21,3
2006	46,2	21,4
2007	44,3	21,5
2008	44,9	21,6
2009	45,5	21,7
2010	47,9	21,9
2011	49,0	22,1
2012	50,1	22,2
2013	51,6	22,4
2014	52,7	22,4
2015	51,2	22,6
2016	50,5	22,7
2017	49,5	22,8
2018	48,5	22,9
2019	45,9	23,0

Tabella 1- Produzione idroelettrica linda e capacità installata in Italia

## MODIFICA DEI CONSUMI ENERGETICI

### Fattori climatici

Variazioni di temperatura, giornaliere, mensili o stagionali, su ampia scala e identificabili da una tendenza sul lungo periodo.

### Altri fattori

Miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici, innovazioni nella tecnologica degli impianti, accessibilità alla fonte energetica dipendentemente dalle politiche del mercato energetico. Modifiche ai comportamenti individuali in relazione al comfort dell'ambiente di vita.

### Caratterizzazione impatto



Le variazioni di temperatura interannuali determinano direttamente un minor o un maggior utilizzo delle risorse energetiche, con particolare riferimento al settore residenziale. In questo settore, le modifiche ai consumi sono legate in gran parte alle necessità dei cittadini di raffrescare o riscaldare le proprie abitazioni.



Se consideriamo le necessità del settore residenziale e in parte quelle del terziario, le modifiche dei consumi energetici dipendono strettamente dalla necessità dell'utenza di raggiungere un livello di comfort all'interno degli edifici, in particolar modo nelle abitazioni. Impatto positivo: una minor richiesta di energia termica per il riscaldamento domestico nel periodo invernale, contrazione dei consumi; Impatto negativo: maggiore richiesta di raffrescamento nei mesi estivi, incremento dei consumi elettrici.

### Relazione causa-effetto



L'andamento delle temperature, giornaliere, mensili e stagionali, influenza talvolta sensibilmente il consumo delle risorse energetiche, per la necessità dell'utenza di raffrescare o riscaldare i propri edifici.



Photo by DongGeun Lee (Unsplash)

### Scenario futuro



L'impatto è sensibile ai cambiamenti climatici in corso con risvolti sia positivi (diminuzione del fabbisogno) che negativi (aumento del fabbisogno) in considerazione del periodo dell'anno: è ragionevole aspettarsi un aumento del fabbisogno energetico nei mesi estivi, sia per l'aumento delle temperature medie e minime, sia per una maggiore frequenza di eventi di ondate di calore. Allo stesso modo, è prevista una diminuzione del fabbisogno energetico finalizzato al riscaldamento abitativo durante i mesi invernali.



## Numeri e messaggi chiave

L'aumento della temperatura media invernale ha come effetto una riduzione del periodo di utilizzo del riscaldamento, che si riflette quindi in una minor necessità di utilizzo di gas naturale per il settore residenziale. Il trend ad oggi non è definibile in modo chiaro sebbene analizzando i dati dopo il picco del 2014, pari a 13,8 Mm<sup>3</sup>/GG, anche gli ultimi inverni 2018 e 2019 siano stati inverni caldi rispettivamente con un gradiente pari a 13,4 e 12 Mm<sup>3</sup>/GG. Sono considerati anche altri fattori, oltre al contesto climatico, che concorrono alla variazione dei consumi energetici in campo residenziale, quali l'incremento dell'efficientamento energetico, la crescita demografica, l'incremento delle superfici residenziali abitabili.

### Descrizione

Il gradiente medio stagionale del consumo di gas naturale per riscaldamento a livello nazionale è pari al rapporto tra il consumo per riscaldamento ed i gradi giorno di riscaldamento (GG) relativi al periodo invernale ed a livello nazionale. Per GG si intende la somma della sola differenza positiva tra la temperatura interna di confort e la temperatura media giornaliera esterna in una determinata località estesa al periodo di utilizzo del riscaldamento ed espressa in °C.

### Scopo

Stima della relazione tra le variazioni dei gradi giorno di riscaldamento e dei consumi di gas naturale per riscaldamento. Essendo l'indicatore strettamente correlato alla stagionalità termica invernale, le oscillazioni annuali e la tendenza sul lungo periodo rendono possibile una buona valutazione della modifica dei consumi energetici in relazione ai cambiamenti climatici.

### Frequenza rilevazione dati

Mensile

### Unità di misura

Mm<sup>3</sup>/GG

### Periodicità di aggiornamento

Quinquennale

### Copertura temporale

2001 - 2019

### Copertura spaziale

Provinciale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa

### Metodologia di elaborazione

La stima del gradiente medio mensile nazionale si ottiene dal rapporto delle medie mensili nazionali del consumo di gas naturale e dei gradi giorno.

A partire dai dati medi mensili provinciali di consumo di gas naturale e di gradi giorno di riscaldamento, si stimano le medie mensili, per entrambi i parametri di base, sull'arco dell'intero periodo temporale di 19 anni a livello nazionale, limitatamente alla stagione invernale.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aaggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# GRADIENTE DEL CONSUMO PER RISCALDAMENTO DI GAS NATURALE

## Fonte e accessibilità

- Serie storica dei prelievi mensili di tutte le tipologie di clienti allacciati alle reti di distribuzione per il periodo 2001-2019 di Snam Rete Gas, con aggregazione provinciale, normalizzati rispetto alla media delle temperature e depurati dalla componente di base, costituita da consumi di gas naturale non sensibili alla variazione climatica (produzione di acqua calda, cucina, e usi industriali).
- Serie storica dei gradi giorno di riscaldamento fornita da ISPRA, ottenuta a partire dai dati del Sistema nazionale per la raccolta, l'elaborazione e la diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale SCIA, [www.scia.sprambiente.it](http://www.scia.sprambiente.it)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Centro Euro-Mediterraneo sul Cambiamenti Climatici (CMCC).

## Qualità dell'informazione

L'informazione, come già descritto in parte stimata, risulta comunque di buona qualità vista la metodologia consolidata di calcolo. Inoltre, tutti i dati provengono da fonti affidabili e riconosciute.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore è stato elaborato a livello nazionale. Considerando le peculiarità climatiche dell'Italia si potrebbe migliorare l'analisi con la stima del gradiente a livello di zona climatica considerando anche altri combustibili utilizzati per il riscaldamento per usi civili e l'efficientamento degli impianti termici.

## Riferimenti bibliografici

1. ARERA, 2005. Determinazione degli obblighi di modulazione e dei criteri e priorità di conferimento della capacità di stoccaggio.

## Commento al trend



Dal grafico in figura 1 e dalla tabella 1 emerge che il gradiente di consumo stimato sugli ultimi diciannove anni assume un valore medio stagionale a livello nazionale pari a 11,3 Mm<sup>3</sup>/GG. In aggiunta, l'andamento del gradiente medio mensile annuale mette in evidenza l'inverno dell'anno 2005, come il più rigido nel periodo di riferimento, con un valore minimo pari a 9,2 Mm<sup>3</sup>/GG e quello più caldo del 2014, in cui si registra un valore massimo di 13,8 Mm<sup>3</sup>/GG.

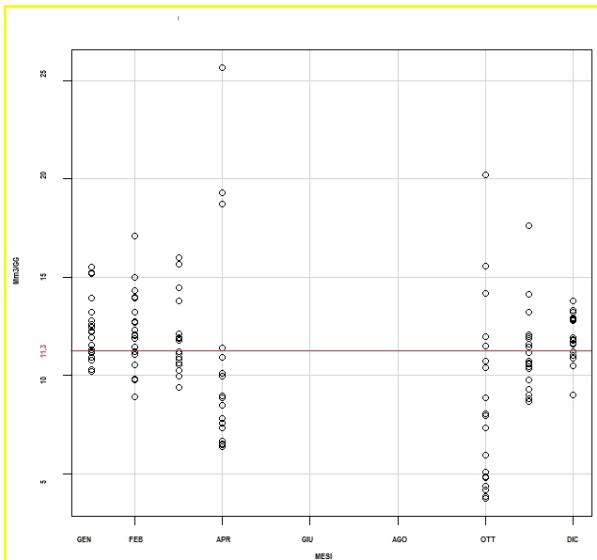


Figura 1 – Gradiente medio mensile nazionale (anni 2001-2019)

mese	gen	feb	mar	apr	ott	nov	dic	MEDIA INVERNO
2001	12,2	12,1	16,0	6,5	20,2	8,8	9,0	12,1
2002	10,2	12,8	11,9	8,5	8,1	14,1	11,8	11,1
2003	11,5	8,9	10,2	8,5	3,7	12,0	11,6	9,5
2004	10,8	11,2	9,4	8,9	11,5	10,3	12,9	10,7
2005	10,9	9,8	10,6	7,3	5,9	9,3	10,5	9,2
2006	11,2	11,4	10,0	9,9	12,0	11,2	12,8	11,2
2007	15,2	14,3	11,8	25,7	4,9	9,0	10,9	13,1
2008	13,9	12,0	10,9	7,8	8,8	10,4	11,6	10,8
2009	11,9	11,9	11,1	10,9	4,8	12,1	11,8	10,6
2010	11,3	12,7	10,9	8,9	3,8	11,6	11,2	10,1
2011	12,6	13,2	12,1	18,7	4,2	10,6	13,3	12,1
2012	12,3	9,8	15,7	6,5	7,3	13,2	10,5	10,8
2013	12,8	11,1	10,6	10,9	10,7	10,6	13,2	11,4
2014	15,2	17,1	13,8	10,1	10,4	17,6	12,8	13,8
2015	13,2	12,3	11,9	7,6	5,1	10,7	12,9	10,5
2016	12,4	15,0	11,2	11,4	4,4	9,8	11,8	10,8
2017	10,3	13,9	14,5	6,6	8,0	8,7	11,0	10,4
2018	15,5	10,5	10,8	19,3	14,2	11,9	11,9	13,4
2019	11,1	14,0	11,9	6,3	15,6	11,4	13,8	12,0
MEDIA PERIODO 2001-2019	12,4	12,3	11,9	10,5	8,6	11,2	11,9	11,3

Tabella 1 - Gradiente medio mensile nazionale

## Referenti:

- Marina Colaiezzi – ISPRA  
[marina.colaiezzi@isprambiente.it](mailto:marina.colaiezzi@isprambiente.it)  
Walter Perconti – ISPRA  
[walter.perconti@isprambiente.it](mailto:walter.perconti@isprambiente.it)



## Numeri e messaggi chiave

La sommatoria dei gradi giorno di raffrescamento estivo sta aumentando sulla regione Piemonte con un trend che nelle zone prealpine e sulle pianure, in particolare quelle dell'alessandrino, è dell'ordine di 20-30°C ogni 10 anni.

Negli scenari futuri questa tendenza è ancora maggiore, in particolare nello scenario ad alte emissioni, l'incremento è a metà secolo intorno al 30-40% e arriva fino al 70-80% a fine secolo, in particolare lungo la fascia prealpina. Questo incremento comporta una domanda energetica superiore, in particolare nei picchi giornalieri.

## Descrizione

L'indicatore rappresenta l'esigenza di condizionamento estivo. Il dato è annuale e viene calcolato come sommatoria termica dello scarto di temperatura rispetto ad una temperatura di riferimento, nei giorni con temperatura media particolarmente elevata. Si tratta di un indicatore climatico che rappresenta bene un proxy dei consumi energetici nel periodo estivo.

## Scopo

Scopo principale dell'indicatore è quello di rappresentare la variazione annuale dei gradi giorno da raffrescamento nel periodo estivo.

## Frequenza rilevazione dati

Giornaliera

## Unità di misura

Gradi centigradi (°C)

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

Comunale: Torino 1951-2020, consumi di energia elettrica 2013-2016 e variazione nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100.

Regionale: mappa valore medio dei gradi giorno di raffrescamento dal 1981 al 2010 e mappa della variazione % dell'indicatore sommatoria annuale dei gradi giorno di raffrescamento nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 per i due scenari futuri RCP4.5 e RCP8.5.

## Copertura spaziale

Regionale, comunale (Torino)

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

I gradi giorno di raffrescamento sono calcolati come somma delle differenze tra la temperatura media esterna e la temperatura di comfort climatico (non superiore ai 21°C); la differenza viene conteggiata solo se la temperatura media esterna supera i 24°C. I gradi giorno di raffrescamento sono calcolati nel periodo giugno-settembre.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO INDICATORE PROXY



## Fonte e accessibilità

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale e altri dataset di temperatura

Arpa Piemonte – Piano Energetico Ambientale Regionale

## Qualità dell'informazione

L'indicatore è calcolato su dati meteorologici sottoposti a procedura di validazione, pertanto la qualità dell'informazione si ritiene elevata.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore non tiene conto delle temperature estreme che sono maggiormente legate al disagio percepito dall'individuo, per questa valutazione è possibile affiancare un indicatore di disagio bioclimatico.

## Riferimenti bibliografici

1. J. Spinoni, J. Vogt, P. Barbosa, European degree-day climatologies and trends for the period 1951–2011, Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici e Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (JRC)
2. UK Met Office (<http://ukclimateprojections.defra.gov.uk/content/view/12/689/>), <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5362/abstract>;
3. Spinoni J. Et al., Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100, Environment and climate change, 2018, ISSN 0899-8418, DOI 10.1002/joc.5362

## Commento al trend



L'indicatore proposto rappresenta molto bene un *proxy* dei consumi energetici nel periodo estivo, in particolare del picco di richiesta giornaliera di energia elettrica. La relazione rappresentata nella figura 1 mostra una correlazione molto alta, sia che si utilizzi una relazione logaritmica (0.98), sia lineare (0.93).

In seguito all'aumento delle temperature estive conseguenti al riscaldamento globale, la tendenza dei gradi giorno di raffrescamento è in aumento per la città di Torino. Si può notare come dopo il picco dell'estate 2003 si siano susseguite estati mediamente calde in particolare 2015, 2017 e 2018 (Fig. 2).

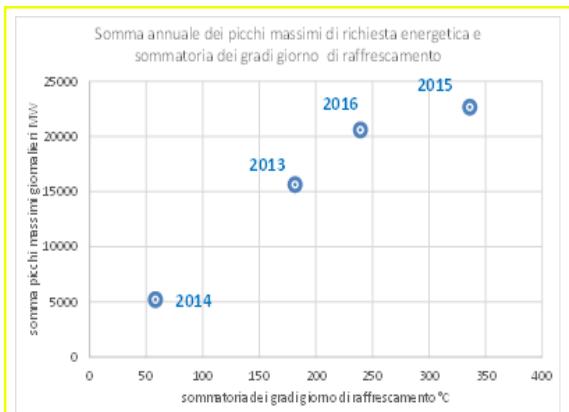


Figura 1 – Somma annuale dei massimi picchi di richiesta energetica in funzione dei gradi giorno di raffrescamento sulla città di Torino sul periodo 2013-2016.

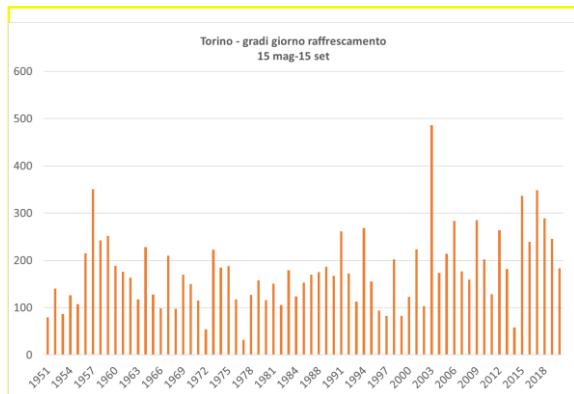


Figura 2 - Gradi giorno di raffrescamento sulla città di Torino sul periodo 1951-2020

# GRADI GIORNO DI RAFFRESCAMENTO INDICATORE PROXY

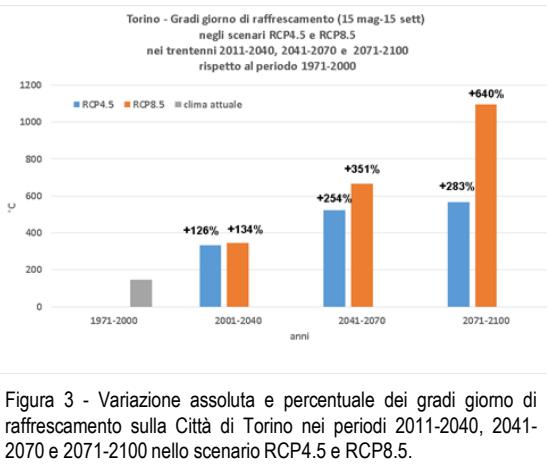


Figura 3 - Variazione assoluta e percentuale dei gradi giorno di raffrescamento sulla Città di Torino nei periodi 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nello scenario RCP4.5 e RCP8.5.

## Commento al trend



Anche analizzando gli scenari futuri si evince che la tendenza dei gradi giorno di raffrescamento è all'aumento. Questo comporterà un aumento del fabbisogno energetico nel periodo estivo, in particolare del massimo picco giornaliero di richiesta. Nella fascia prealpina le esigenze di raffrescamento potrebbero aumentare anche del 50%, e in alcune aree di pianura (novarese, vercellese, alessandrino e Torino con basso torinese) quasi raddoppiare, anche nello scenario di mitigazione RCP4.5. Mettendo a confronto la figura 4 con la figura 5 si osserva l'incremento della necessità di raffrescamento, in particolare sulle pianure e sulle zone prealpine, più importante nello scenario ad alte emissioni.

## Referenti:

Mariaelena Nicolella – ARPA Piemonte  
[m.nicolella@arpa.piemonte.it](mailto:m.nicolella@arpa.piemonte.it)

Barbara Cagnazzi – ARPA Piemonte  
[b.cagnazzi@arpa.piemonte.it](mailto:b.cagnazzi@arpa.piemonte.it)

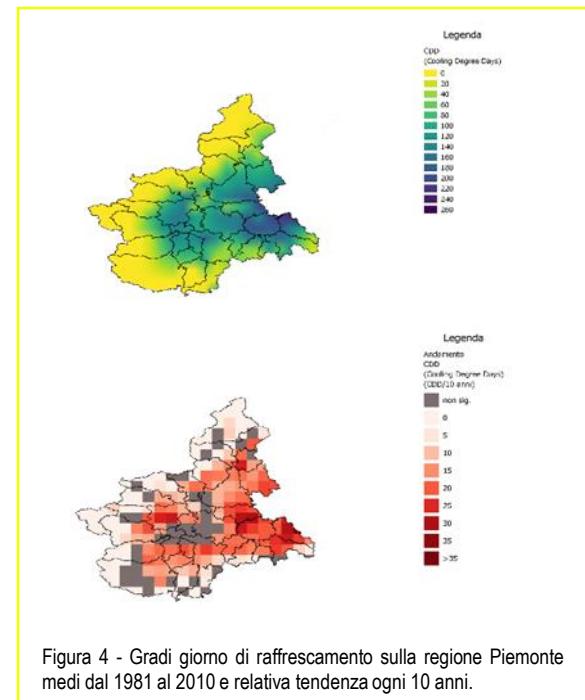


Figura 4 - Gradi giorno di raffrescamento sulla regione Piemonte medi dal 1981 al 2010 e relativa tendenza ogni 10 anni.

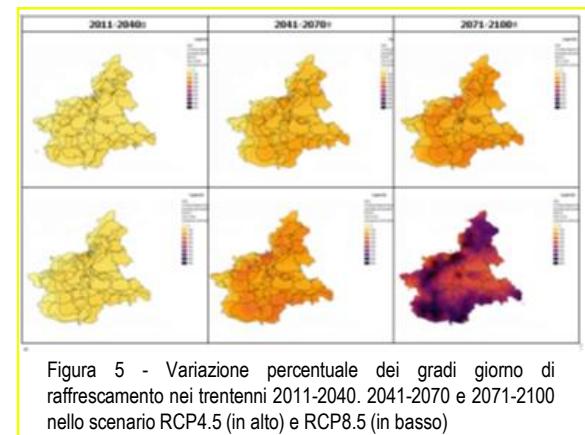


Figura 5 - Variazione percentuale dei gradi giorno di raffrescamento nei trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nello scenario RCP4.5 (in alto) e RCP8.5 (in basso)



## Numeri e messaggi chiave

I gradi giorno di riscaldamento diminuiscono ovunque sulla regione, sia analizzando i dati osservati sia gli scenari futuri. Questo comporta una diminuzione del fabbisogno energetico e una riduzione delle emissioni di gas climalteranti. Anche altri fattori, oltre al contesto climatico, concorrono alla variazione dei consumi energetici in campo residenziale, quali l'incremento dell'efficientamento energetico, la crescita demografica, l'incremento delle superfici residenziali abitabili, le modifiche dei comportamenti individuali in relazione al comfort. La diminuzione del fabbisogno è più significativa con scenari emissivi corrispondenti a un incremento maggiore della temperatura. Tale diminuzione porta ad una variazione della classe energetica prevalentemente nelle zone di media montagna.

### Descrizione

L'indicatore proposto è un indicatore climatico che rappresenta un proxy dei consumi energetici nel periodo invernale per il riscaldamento degli edifici. L'indicatore è definito come "Gradi Giorno di riscaldamento" e rappresenta una sommatoria termica dei giorni con temperatura media superiore a 20°C.

### Scopo

I gradi giorno di riscaldamento sono un parametro empirico utilizzato dalla normativa per suddividere il territorio nazionale in sei fasce climatiche. Ad ogni fascia climatica corrisponde un diverso fabbisogno termico degli edifici e, di conseguenza, una diversa richiesta di energia termica.

### Frequenza rilevazione dati

Giornaliera

### Unità di misura

Gradi centigradi (°C)

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

Capoluoghi di provincia: a partire dalla data di installazione della stazione di riferimento al 2020.

Comunale: Torino 1971-2000 e variazione nei tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100

Regionale: dal 1958 al 2018 e variazioni tre trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 rispetto al clima attuale (periodo 1971-2000).

### Copertura spaziale

Regionale, comunale (Torino)

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

DPR412/93, D.P.R. 74/2013

### Metodologia di elaborazione

E' calcolato come la somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente riscaldato (conventionalmente 20°C) e la temperatura media esterna nel periodo 15 ottobre - 15 aprile. La differenza è conteggiata solo se positiva.

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



## Fonte e accessibilità

Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale e altri dataset di temperatura.

- <https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/selezione-gradi-giorno/selezione-gradi-giorno.html>
- Piano Energetico Ambientale della Regione Piemonte [https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-03/pear\\_def\\_dgr\\_14\\_12\\_2018.pdf](https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2019-03/pear_def_dgr_14_12_2018.pdf)

## Qualità dell'informazione

L'indicatore è calcolato su dati meteorologici sottoposti a procedura di validazione, pertanto la qualità dell'informazione si ritiene elevata.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore gradi giorno di riscaldamento non tiene conto delle temperature estreme che sono maggiormente legate al disagio percepito dall'individuo, per questa valutazione è possibile affiancare un indicatore di disagio bioclimatico.

## Riferimenti bibliografici

1. SCIA - Sistema nazionale di raccolta, elaborazione e diffusione di dati Climatologici di Interesse Ambientale [www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/documentazione.html](http://www.scia.isprambiente.it/wwwrootscia/documentazione.html)
2. F. Baffo, F. Desiato, F. Lena, B. Suatoni, A. Toreti, M. Bider, C. Cacciamani, G. Tinarelli, 2014: «Criteri di calcolo degli indicatori meteoclimatici», APAT, ARPA Emilia Romagna e ARIANET s.r.l.
3. Desiato F., Fioravanti G., Fraschetti P., Perconti W., Toreti A., 2011: "Climate indicators for Italy: calculation and dissemination". Adv. Sci. Res., 6, 147-150.
4. F. Desiato, G. Fioravanti, P. Fraschetti, W. Perconti, A. Toreti, Valentina Pavan «Gli indicatori del clima in Italia nel 2010», ISPRA e ARPA Emilia-Romagna

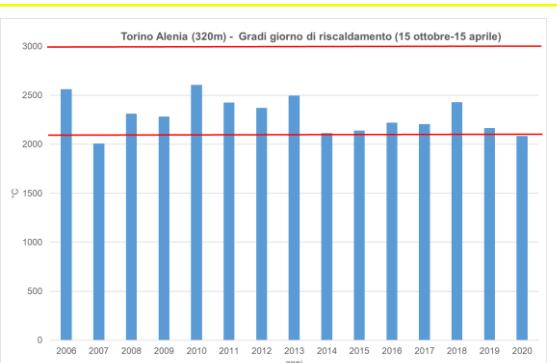


Figura 2 - Gradi giorno di riscaldamento per la provincia di Torino dalla data di installazione della stazione con l'evidenza dei valori corrispondenti alle fasce climatiche

## Commento al trend



L'indicatore proposto è un indicatore climatico, che rappresenta un proxy dei consumi energetici. La figura 1 mette bene in evidenza questa correlazione, infatti ad anni più freddi corrispondono consumi di gas più elevati. Nella figura 2 si riporta un esempio di indicatore gradi giorno di riscaldamento per la provincia di Torino dalla data di installazione della stazione con l'evidenza dei valori corrispondenti alle fasce climatiche. Questo tipo di elaborazione è disponibile per tutti i capoluoghi di provincia della regione. In seguito all'aumento delle temperature conseguenti al riscaldamento globale, la tendenza dei gradi giorno è alla diminuzione, come già si evince oggi dall'indicatore calcolato sui dati osservati ([www.arpa.piemonte.it/reporting/indicatori-on-line/componenti-ambientali/clima\\_gradi-giorno-di-riscaldamento](https://www.arpa.piemonte.it/reporting/indicatori-on-line/componenti-ambientali/clima_gradi-giorno-di-riscaldamento)). Questo comporta una diminuzione del fabbisogno energetico nel periodo invernale per il riscaldamento, con una conseguente riduzione delle emissioni.



Figura 1 - Gradi giorno di riscaldamento e consumi di gas naturale per il riscaldamento per la città di Torino anni 2014-2015

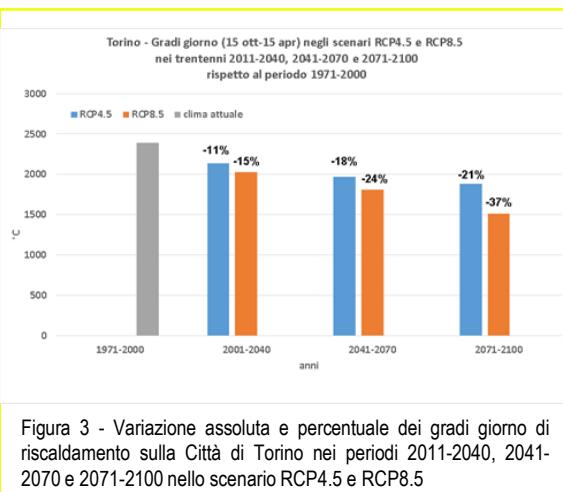


Figura 3 - Variazione assoluta e percentuale dei gradi giorno di riscaldamento sulla Città di Torino nei periodi 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nello scenario RCP4.5 e RCP8.5

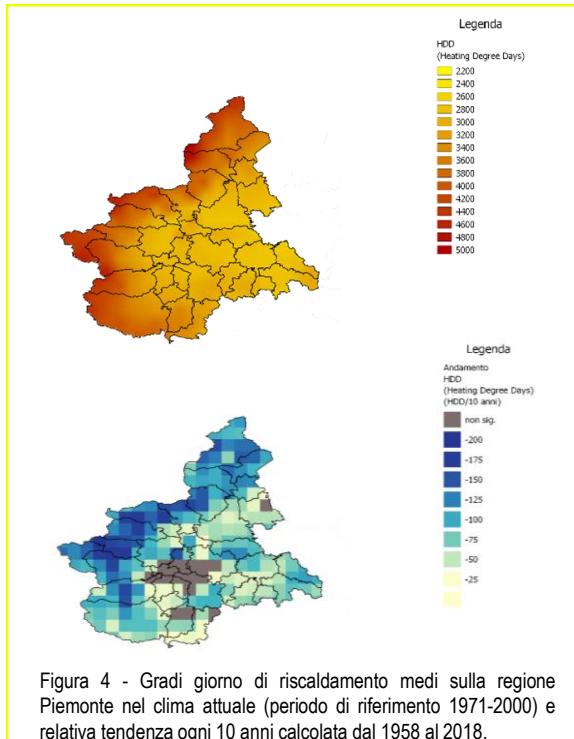


Figura 4 - Gradi giorno di riscaldamento medi sulla regione Piemonte nel clima attuale (periodo di riferimento 1971-2000) e relativa tendenza ogni 10 anni calcolata dal 1958 al 2018.

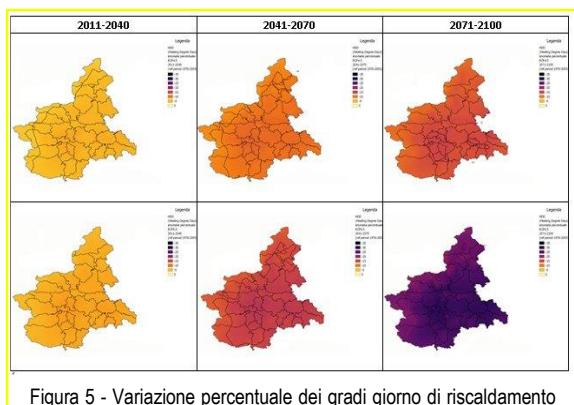


Figura 5 - Variazione percentuale dei gradi giorno di riscaldamento nei trentenni 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2100 nello scenario RCP4.5 (in alto) e RCP8.5 (in basso).

### Commento al trend



Analizzando gli scenari futuri si può notare in figura 3 come potrebbero variare i gradi giorno nella città di Torino. Negli scenari considerati la diminuzione dei gradi giorno nel trentennio 2071-2100 potrà oscillare tra il 21% e il 37%. La diminuzione attesa è tale da comportare una variazione di fascia climatica in alcune zone limitate della pianura del Piemonte, in particolare nello scenario RCP 8.5. Nella zona prealpina invece si passerebbe dalla fascia climatica F a quella E per alcune zone delle Alpi Occidentali, nello scenario RCP4.5, e per tutte le zone nello scenario RCP 8.5 (Fig.5).

### Referenti:

Mariaeleno Nicolella – ARPA Piemonte  
[m.nicolella@arpa.piemonte.it](mailto:m.nicolella@arpa.piemonte.it)

Barbara Cagnazzi – ARPA Piemonte  
[b.cagnazzi@arpa.piemonte.it](mailto:b.cagnazzi@arpa.piemonte.it)

# CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA NEL MESE DI LUGLIO



## Numeri e messaggi chiave

L'andamento delle temperature di luglio, statisticamente il mese più caldo in Lombardia, influisce sui consumi energetici, in particolare nei settori residenziale e terziario, sensibili al miglioramento del benessere all'interno degli edifici. In un contesto di crescente consumo energetico, sono evidenti picchi di consumo nei mesi più caldi. Tale evidenza è complementare al calo dei consumi di gas naturale nei mesi freddi. Tuttavia altri fattori, non riconducibili al cambiamento climatico, influenzano la domanda energetica, tra i più significativi: l'aumento demografico nelle aree urbane, l'efficientamento energetico, la produzione industriale e attualmente gli effetti della pandemia da COVID-19.

### Descrizione

L'energia elettrica rappresenta il terzo vettore in Lombardia per gli usi energetici finali. Nell'anno, il massimo consumo mensile si registra frequentemente in luglio, mese più caldo in Lombardia.

### Scopo

Sebbene la fonte energetica di tipo elettrico sia di primario utilizzo nel settore industriale, il consumo del mese di luglio fa emergere il contributo del terziario e del residenziale finalizzato al mantenimento del benessere all'interno degli edifici.

### Frequenza rilevazione dati

Mensile

### Unità di misura

Consumi di energia elettrica: GWh

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2003-2020

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

I consumi di energia elettrica vengono resi pubblici da Terna S.p.A. attraverso report mensili sul proprio sito web. Da tali report sono stati estratti i consumi mensili totali (somma dei settori industriale, terziario e residenziale) attribuiti alla Lombardia, inclusivi anche di alcuni impianti industriali dislocati in realtà in Emilia-Romagna. I dati di temperatura media di luglio sono ricavati dal dataset ERA5 mediando su un'area che corrisponde approssimativamente alla pianura lombarda.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# CONSUMI DI ENERGIA ELETTRICA NEL MESE DI LUGLIO

## Fonte e accessibilità

- Infrastrutture Lombarde S.p.A., <http://www.energialombardia.eu>
- Terna S.p.A. [https://www.terna.it/it/sistema\\_elettrico/pubblicazioni/rapporto-mesile](https://www.terna.it/it/sistema_elettrico/pubblicazioni/rapporto-mesile)
- Copernicus, ECMWF  
<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form>

## Qualità dell'informazione

Il dato presenta un'ottima affidabilità essendo calcolato e successivamente verificato da Terna, società responsabile in Italia della trasmissione e del dispacciamento dell'energia elettrica sulla rete ad alta e altissima tensione su tutto il territorio nazionale.

## Limitazioni e possibili azioni

L'indicatore ingloba tutti i settori coinvolti nell'utilizzo della risorsa energetica e risulta influenzato da particolari situazioni economiche e sociali, come ad esempio la contrazione della produzione industriale del 2009-2010 o gli attuali effetti della pandemia da COVID-19. Sarebbe opportuno quindi scorporare i dati di produzione industriale.

## Riferimenti bibliografici

1. Infrastrutture Lombarde S.p.A
2. Terna S.p.A.
3. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).

## Commento al trend



L'indicatore mostra oscillazioni dovute a diversi fattori, tra i più importanti sicuramente risulta l'andamento della produzione industriale (Fig.1). Tuttavia, risulta evidente una correlazione tra l'andamento della temperatura e i picchi di consumo, come ad esempio nel 2015. A causa quindi di temperature medie più elevate, tali picchi sono riconducibili ad un maggior utilizzo degli impianti di raffrescamento. Nel complesso, il trend del consumo risulta in rialzo, ma gli effetti dell'impatto climatico risultano più evidenti solo in alcuni anni, in particolare in quelli in cui la temperatura media è risultata maggiore di 26 °C. Per quanto riguarda il 2020, si nota un crollo anomalo dei consumi di aprile (Fig. 1), effetto delle misure di contenimento della pandemia da COVID-19 ma una ripresa dei consumi a luglio (allentamento delle precedenti restrizioni), con consumi paragonabili o superiori a quelli degli anni precedenti con temperature medie simili.

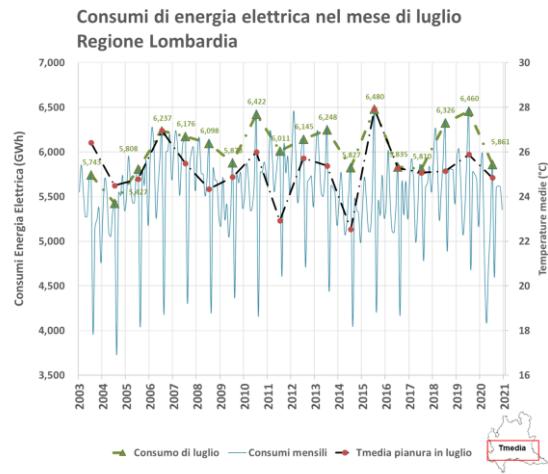


Figura 1 - Consumo mensile di energia elettrica in Lombardia, anni 2003-2020. In linea tratteggiata, il consumo e le temperature medie in pianura del mese di luglio.

## Consumo energia elettrica in luglio Temperatura media luglio

Anno	(GWh)	(°C)
2003	5.743	26,4
2004	5.427	24,5
2005	5.808	24,8
2006	6.237	27,0
2007	6.176	25,5
2008	6.098	24,3
2009	5.878	24,9
2010	6.422	26,0
2011	6.011	22,9
2012	6.145	25,7
2013	6.248	25,4
2014	5.827	22,5
2015	6.480	27,9
2016	5.835	25,3
2017	5.810	25,1
2018	6.326	25,1
2019	6.460	25,9
2020	5.861	24,8

Tabella 1 - Dettaglio del consumo di energia elettrica e le temperature medie in pianura dello specifico mese di luglio. Copertura temporale 2003-2020.

## Referenti:

Orietta Cazzuli – ARPA Lombardia  
[o.cazzuli@arpalombardia.it](mailto:o.cazzuli@arpalombardia.it)

Antioco Vargiu – ARPA Lombardia  
[a.vargiu@arpalombardia.it](mailto:a.vargiu@arpalombardia.it)

Matteo Zanetti – ARPA Lombardia  
[ma.zanetti@arpalombardia.it](mailto:ma.zanetti@arpalombardia.it)



## Numeri e messaggi chiave

Un aumento della temperatura media invernale induce una diminuzione del periodo di attivazione dei sistemi di riscaldamento residenziale che si traduce in una minor domanda di gas naturale per il settore residenziale. Sono considerati anche altri fattori, oltre al contesto climatico, che concorrono alla variazione dei consumi energetici in campo residenziale, quali l'incremento dell'efficientamento energetico, la crescita demografica, l'incremento delle superfici residenziali abitabili. Tale indicatore è complementare all'indicatore dei consumi di energia elettrica per la climatizzazione residenziale nel mese di luglio.

### Descrizione

Il gas naturale è il primo vettore in Lombardia col 35% degli usi energetici finali. Poiché il consumo varia con la stagionalità termica, specie quella invernale, l'indicatore è riferito al solo consumo del settore residenziale.

### Scopo

Essendo l'indicatore strettamente correlato alla stagionalità termica invernale, le oscillazioni annuali e la tendenza sul lungo periodo rendono possibile una buona valutazione della modifica dei consumi energetici in relazioni ai cambiamenti climatici.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale per i consumi di gas, mensile per la temperatura.

### Unità di misura

Consumi di gas: ktep.

### Periodicità di aggiornamento

Annuale

### Copertura temporale

2000-2018

### Copertura spaziale

Regionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

### Metodologia di elaborazione

Per stimare il consumo annuo di gas naturale ad uso residenziale, il consumo annuo totale registrato dal distributore SNAM Rete Gas è stato suddiviso in usi cittadini e del terziario, autotrazione, industria e termoelettrico. In tale suddivisione influiscono anche parametri quali: la superficie residenziale annua, i rendimenti medi degli impianti di riscaldamento, i consumi legati ad altri vettori energetici. Il dato di temperatura media invernale è ottenuto come media delle temperature di gennaio, febbraio, marzo, novembre e dicembre per ciascun anno, sull'area del dataset ERA5 della pianura lombarda.

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Describe il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

- Basato su standard nazionali/internazionali
- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio



# CONSUMI DI GAS NATURALE NEL SETTORE RESIDENZIALE

## Fonte e accessibilità

- Infrastrutture Lombarde S.p.A.

<http://www.energialombardia.eu>

- Copernicus, ECMWF

<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels-monthly-means?tab=form>

## Qualità dell'informazione

L'indicatore, sebbene stimato, risulta di buona qualità grazie ad una consolidata metodologia di calcolo. Inoltre tutti i dati provengono da fonti affidabili e riconosciute.

## Limitazioni e possibili azioni

Le limitazioni riguardano la stima di altri fattori che incidono nel consumo finale, come la densità demografica o la superficie residenziale. Questi fattori possono anche servire per definire indici specifici, come il consumo residenziale al m<sup>2</sup>.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti climatici
2. Infrastrutture Lombarde S.p.A,  
[http://www.energialombardia.eu/metodologia\\_bilancio](http://www.energialombardia.eu/metodologia_bilancio)

## Commento al trend



L'indicatore mostra evidenti oscillazioni annuali, in maggior misura determinati da alternanza tra mesi invernali più freddi e altri più miti (Tab.1). In riferimento a questo, sono evidenti i picchi massimi di consumo del 2005 e del 2010 (Fig.1), così come quello minimo del 2014. Nel complesso, risulta altresì evidente la decrescita negli ultimi 5 anni, valutabile all'incirca del 10% rispetto alla media degli anni intorno al 2010. E' probabile che questo trend negativo sia influenzato anche da un graduale miglioramento dell'efficientamento energetico. Un fattore che al contrario limita il trend di calo è la transizione energetica verso un crescente utilizzo di questa risorsa.

## Referenti:

Orietta Cazzuli – ARPA Lombardia  
[o.cazzuli@arpalombardia.it](mailto:o.cazzuli@arpalombardia.it)

Antioco Vargiu – ARPA Lombardia  
[a.vargiu@arpalombardia.it](mailto:a.vargiu@arpalombardia.it)

Matteo Zanetti – ARPA Lombardia  
[ma.zanetti@arpalombardia.it](mailto:ma.zanetti@arpalombardia.it)

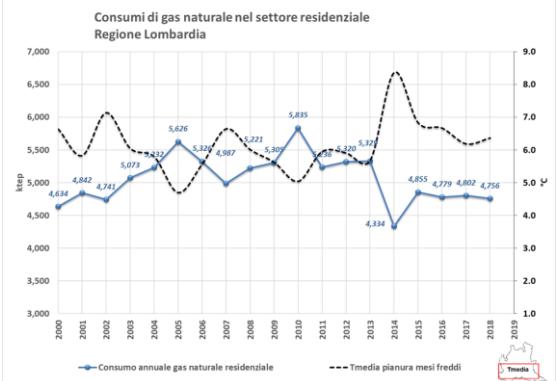


Figura 1 - Consumo annuo di gas naturale in Lombardia per uso residenziale, anni 2000-2018

Anni	Consumi gas naturale (ktep)	Tmedia in pianura (°C)
2000	4.634	6,6
2001	4.842	5,8
2002	4.741	7,1
2003	5.073	6,0
2004	5.232	5,8
2005	5.626	4,7
2006	5.326	5,6
2007	4.987	6,6
2008	5.221	6,0
2009	5.305	5,6
2010	5.835	5,0
2011	5.236	5,9
2012	5.320	5,9
2013	5.329	5,7
2014	4.334	8,4
2015	4.855	6,8
2016	4.779	6,7
2017	4.802	6,2
2018	4.756	6,4

Tabella 1 - Dettaglio del consumo annuo di gas naturale per uso residenziale in Lombardia in relazione alle temperature medie invernali. Temperature mediate su area di pianura. Copertura temporale 2000-2018.

## 6.14 INSEDIAMENTI URBANI



# FENOMENI ALLUVIONALI E DI ALLAGAMENTO IN AREA URBANA

## Fattori climatici

Intensità delle precipitazioni e modificazioni del regime pluviometrico nel tempo, con particolare riguardo ai fenomeni intensi e concentrati [1, 3].

## Altri fattori

Assetto geologico-strutturale; assetto morfologico e idraulico degli abitati; modifiche antropiche del territorio quali disboscamenti, sbancamenti, cementificazioni e alterazioni del reticolo idrografico [1, 3].

## Caratterizzazione impatto



Intensità e distribuzione nello spazio e nel tempo delle precipitazioni, associate all'assetto geologico e alle caratteristiche idrauliche delle aree antropizzate hanno un impatto diretto sui fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana. In particolare, all'aumento di frequenza di fenomeni pluviometrici aventi caratteristiche estreme di concentrazione e intensità nel tempo risulterebbe associato a un incremento degli eventi alluvionali alla scala locale e dell'urbanizzato.



L'aumento di frequenza ed intensità dei fenomeni estremi di precipitazioni concentrate nel tempo determina un forte impatto sul territorio, poiché ha l'effetto di esaltare i difetti di pianificazione del territorio da parte dell'uomo quali le alterazioni ed obliterazioni del reticolo idrografico, i restringimenti delle sezioni di deflusso dei corsi d'acqua, specialmente se in presenza di una carente manutenzione degli alvei.

Gli effetti negativi si producono in termini di danni economici, al patrimonio pubblico e privato, alle infrastrutture e determinano in alcuni casi anche la perdita di vite umane.

## Relazione causa-effetto



Gli effetti negativi di alluvioni prodotte da eventi piovosi intensi e concentrati derivano dalla sovrapposizione del fattore antropico su quello climatico: discernere il contributo dell'uno da quello dell'altro nella genesi dei fenomeni di dissesto rappresenta uno degli aspetti chiave dell'indicatore.



Alluvione di Taranto, 15-16 ottobre 2015. Foto: VV.FF.

## Scenario futuro



L'impatto sul territorio cittadino e nazionale della modifica del regime pluviometrico indotta dai cambiamenti climatici è stato già studiato da molti ricercatori. In assenza di politiche di adattamento e di mitigazione del rischio al quale beni e persone sono esposti, diversi autori [1, 3] individuano il rischio concreto di un aumento del numero e conseguente aggravamento degli eventi alluvionali e di allagamento sia in ambito nazionale sia urbano, cui corrisponderebbe, per la società, un inevitabile incremento dei danni e dei costi per il ripristino dei luoghi interessati dai dissesti [1, 2, 3].



# NUMERO DI EVENTI ALLUVIONALI E DI ALLAGAMENTO

## Numeri e messaggi chiave

La frequente occorrenza di fenomeni con precipitazioni intense, unitamente all'assetto geologico e alle caratteristiche idrologiche delle aree antropizzate ha un nesso diretto coi fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana, comportando impatti sempre più devastanti in quei settori che più sono stati trasformati nelle città. Da tale indicatore, che esprime il numero di eventi occorsi nelle aree urbane nel periodo 2000-2018 ponendo in evidenza le città più colpite e le loro principali criticità, si evidenzia come circa il 50% dei capoluoghi catalogati ha subito almeno 2 eventi e le città più colpite siano Genova, Catania, Milano e Roma.

### Descrizione

L'indicatore analizza le conseguenze degli eventi idrometeorologici più significativi, legate all'effetto combinato dei cambiamenti del clima e delle modificazioni antropiche del territorio, catalogando quelli occorsi nel periodo 2000-2018.

### Scopo

Fornire un archivio aggiornato degli eventi in area urbana costruendo una casistica potrà fornire, assieme al tentativo di selezionare i fattori naturali rispetto a quelli legati alle alterazioni antropiche del territorio, elementi utili all'individuazione delle modificazioni climatiche anche al fine della scelta di più adeguate politiche di adattamento.

### Frequenza rilevazione dati

Annuale

### Unità di misura

Numero eventi (n.)

### Periodicità di aggiornamento

1 anno

### Copertura temporale

2000-2018

### Copertura spaziale

Nazionale

### Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

- L. 183/89
- L. 267/98
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE
- Direttiva Acque 2000/60/CE
- D. Lgs. 49/2010

### Metodologia di elaborazione

Vengono reperite informazioni bibliografiche e cronachistiche per la catalogazione degli eventi alluvionali e di allagamento, con particolare riguardo ai loro caratteri pluviometrici e agli effetti al suolo. A partire da tali informazioni viene elaborata una mappa che mostra la localizzazione delle città che hanno manifestato maggiori criticità nell'arco temporale analizzato (Fig.1).

### Criteri di selezione

#### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale

- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale

- Semplice e facile da interpretare

- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche

Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi

- Fornisce una base per confronti a livello internazionale

Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

#### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota

- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)

- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici

- Buona copertura spaziale

- Copertura temporale > 10 anni

#### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici

Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione

- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili

- Comparabile nel tempo

- Comparabile nello spazio

# NUMERO DI EVENTI ALLUVIONALI E DI ALLAGAMENTO



## Fonte e accessibilità

- POLARIS Project (2018) – Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione Italiana da Frane e Inondazioni, pubblicato dall'IRPI (CNR).
- ISPRA (2019) - Gli indicatori del clima in Italia nel 2018. Rapporto Stato dell'Ambiente, 88/2019.
- ISPRA (ex APAT), Annuario dei Dati Ambientali (ADA), Varie Edizioni, Dati 2002-2018.
- ISPRA (ex APAT), Qualità delle Aree Urbane (RAU), Varie Edizioni, Dati 2000-2018.
- Leggi, Decreti, Ordinanze dello Stato e delle Regioni.
- Il Giornale della Protezione Civile (Quotidiano on-line).
- Rapporti Tecnici pubblicati da ISPRA, Regioni, Comuni, ARPA.
- Siti internet di testate giornalistiche sia nazionali che locali.

## Qualità dell'informazione

L'indicatore, di facile comprensione e contenente dati comparabili nel tempo e nello spazio, ha un'estesa copertura spaziale e viene aggiornato regolarmente, anche se la qualità dell'informazione potrebbe ridursi andando a ritroso nel tempo.

## Limitazioni e possibili azioni

La significatività dell'indicatore è elevata per l'impatto socio-economico degli eventi, ma presenta limitazioni dovute alla scelta di esaminare solo gli eventi in area urbana. Ulteriori limiti dovuti alla difficoltà di discernere i fattori naturali da quelli antropici potranno essere superati grazie all'ampliamento della serie di dati storici.

## Riferimenti bibliografici

1. Berti D., Lucarini M. (2019) – Eventi alluvionali in ambiente urbano. In: Qualità delle Aree Urbane (RAU XV, 2019).
2. MATTM, 2018. Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (Versione di Giugno).
3. IPCC (2019) - Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. August 2019.



Figura 1 – Numero di eventi alluvionali e di allagamento in area urbana, catalogati nel periodo 2000-2018.

## Commento alla mappa



La mappa dell'Italia (Fig. 1) illustra l'ubicazione degli eventi analizzati, al fine di mostrare una immediata localizzazione dei siti che hanno manifestato una maggiore criticità nel periodo 2000-2018. Tuttavia, la serie storica disponibile non rende ancora possibile effettuare valutazioni di trend affidabili e definitivi, che necessitano invece di un'osservazione più estesa nel tempo.



# NUMERO DI EVENTI ALLUVIONALI E DI ALLAGAMENTO

5-10 Eventi	Numero Eventi	2-4 Eventi	Numero Eventi	1 Evento	Numero Eventi
Genova	10	Torino	4		
		Carrara, Messina, Vicenza	3		
Catania, Milano, Roma	5	Alessandria, Benevento, Cagliari, Catanzaro, Como, Crotone, Imperia, La Spezia, Lucca, Modena, Napoli, Olbia, Parma, Perugia, Pescara, Pordenone, Reggio Calabria, Rimini, Siracusa, Taranto, Varese, Vibo Valentia	2	Agrigento, Ancona, Arezzo, Aosta, Bari, Belluno, Bergamo, Biella, Chieti, Cremona, Grosseto, Lecce, Livorno, Pavia, Piacenza, Pisa, Salerno, Savona, Venezia, Verbania, Verona	1

Tabella 1 – Aggregazione degli eventi alluvionali e di allagamento in ambiente urbano in base a tre classi di frequenza principali.

## Commento alla tabella

La tabella 1 evidenzia già la presenza di numerosi punti di crescente pericolosità geologica dell'assetto idraulico cittadino, che sono proprio quelli dove l'intervento antropico ha maggiormente alterato i precedenti equilibri. In base ai dati disponibili, si nota un aumento di frequenza degli eventi di inondazione e allagamento a scala urbana proprio in questi punti critici dell'assetto cittadino, corrispondenti a restringimenti delle sezioni di deflusso dei corsi d'acqua, tombinamenti e tombamenti, sottopassi, rii minori privi di manutenzione, ecc. Le città più colpite risultano essere Milano, Genova, Roma e Catania, con 25 eventi che rappresentano circa  $\frac{1}{4}$  di tutti quelli censiti nel periodo 2000-2018.

Dunque, in base a tale serie, si può osservare una più marcata occorrenza di "alluvioni urbane" determinate da precipitazioni concentrate in aree ristrette ed in brevi archi di tempo, anche se sul ruolo del cambiamento climatico sarebbe necessario estendere maggiormente la serie storica dei dati.



Foto: Franco Iozzoli

## Referenti:

Mauro Lucarini – ISPRA  
[mauro.lucarini@isprambiente.it](mailto:mauro.lucarini@isprambiente.it)

Domenico Berti – ISPRA  
[domenico.berti@isprambiente.it](mailto:domenico.berti@isprambiente.it)

## 6.15 PATRIMONIO CULTURALE



# DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI

## Fattori climatici

Precipitazioni, Umidità Relativa [1].

## Altri fattori

Inquinanti atmosferici:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ .

## Caratterizzazione impatto



Le precipitazioni rappresentano il principale fattore climatico che influisce direttamente sul fenomeno di recessione superficiale dei beni culturali lapidei. L'acqua piovana, sia in un'atmosfera non inquinata che in presenza di sostanze inquinanti, favorisce la dissoluzione chimica delle superfici di natura carbonatica e la conseguente perdita di materiale.

Dal punto di vista della recessione superficiale, le precipitazioni abbondanti, in grado di dilavare la superficie di un materiale, potrebbero risultare meno pericolose delle piogge leggere, che invece attivano e trattengono, per più tempo, le sostanze inquinanti aggressive sulla superficie del bene [2].



Le precipitazioni cumulate favoriscono il processo di dissoluzione chimica del materiale lapideo, quindi il danno. Nelle aree maggiormente caratterizzate dalle precipitazioni (presso le catene montuose) la recessione superficiale potrebbe aumentare; viceversa, nelle zone caratterizzate da minori precipitazioni, il danno potrebbe risultare minore.

## Relazione causa-effetto



La dissoluzione chimica dei materiali lapidei è attribuibile all'azione sinergica dei fattori climatici e dell'inquinamento atmosferico. Le precipitazioni rappresentano il mezzo attraverso il quale le sostanze inquinanti, contenute nell'atmosfera, reagiscono chimicamente con i materiali causandone il deterioramento.



Foto: Marei Sellin (Pixabay)

## Scenario futuro



Il potenziale danno causato dai cambiamenti climatici al patrimonio culturale di natura calcarea è stato analizzato nel progetto *Noah's Ark* [3].

In tale studio sono state elaborate le mappe di recessione superficiale a livello europeo per il periodo 2070-2099.

In questo scenario futuro, la recessione superficiale stimata nell'Europa Meridionale, inclusa l'Italia, dovrebbe registrare, in generale, una diminuzione anche se, nelle aree montuose (Alpi e Appennini), la perdita di materiale potrebbe aumentare rispetto al trentennio di riferimento (1961-1990), in quanto si tratta di zone caratterizzate da maggiori precipitazioni.

# RECESSIONE SUPERFICIALE



## Numeri e messaggi chiave

La recessione superficiale è stata calcolata per il materiale calcareo per il 2018 ed è compresa tra 4,5 e 7,8 µm: i dati ottenuti sono stati confrontati con il valore soglia ("tolerable rate of corrosion") pari a 8 µm stabilito, per il 2020, dall'*International Co-operative Programme on Effects on Materials including Historic and Cultural Monuments (ICP Materials)* [6]. Il valore soglia, individuato sulla base di considerazione tecnico-economiche, è definito in letteratura come il livello massimo per il quale si verifica, per uno specifico materiale, un danno considerato tollerabile.

## Descrizione

La recessione superficiale viene utilizzata per quantificare la perdita di materiale dei beni culturali lapidei in funzione delle precipitazioni cumulate e degli inquinanti atmosferici.

## Scopo

L'obiettivo dell'indicatore è quello di stimare, a livello nazionale, la recessione superficiale per i beni culturali di natura calcarea. L'approccio consente di individuare le aree che, dal punto di vista climatico e ambientale, possono essere ritenute potenzialmente più pericolose per il patrimonio culturale italiano.

## Frequenza rilevazione dati

Annuale

## Unità di misura

µm

## Periodicità di aggiornamento

Annuale

## Copertura temporale

2018. Non ci sono serie storiche al momento disponibili.

## Copertura spaziale

Nazionale

## Riferimenti/obiettivi fissati dalla normativa

Nessun riferimento/obiettivo fissato dalla normativa.

## Metodologia di elaborazione

La recessione superficiale è stata calcolata applicando la seguente funzione dose-risposta presente in letteratura:

$$R = 4 + 0.0059[\text{SO}_2] \text{ RH}_{60} + 0.054\text{Rain}[\text{H}^+] + 0.078 [\text{HNO}_3] \text{ RH}_{60} + 0.0258 \text{ PM}_{10}$$

con R= recessione superficiale (µm); Rain = precipitazioni (mm/anno); RH<sub>60</sub> = misura dell'umidità relativa quando l'umidità relativa (RH) è > 60, altrimenti RH<sub>60</sub> = 0; [H<sup>+</sup>] = concentrazione media annua di H<sup>+</sup> nelle precipitazioni (mg/l); [SO<sub>2</sub>], [HNO<sub>3</sub>], PM<sub>10</sub>= concentrazione media annua (µg/m<sup>3</sup>) di biossido di zolfo, acido nitrico e particolato atmosferico [4].

## Criteri di selezione

### Rilevanza - utilità

- Portata nazionale/applicabile a temi ambientali a livello regionale di significato nazionale
- Descrive il trend in atto e l'evolversi della situazione ambientale
- Semplice e facile da interpretare
- Sensibile ai cambiamenti nell'ambiente/ collegato alle attività antropiche
- Fornisce un quadro rappresentativo di condizioni ambientali, pressioni sull'ambiente, risposte della società, obiettivi normativi
- Fornisce una base per confronti a livello internazionale
- Ha una soglia o un valore di riferimento con il quale poterlo confrontare, in modo che si possa valutare la sua significatività

### Misurabilità

- Documentato e di qualità nota
- Aggiornato a intervalli regolari secondo fonti e procedure affidabili (tempestività e puntualità)
- Facilmente disponibile o reso disponibile a fronte di un ragionevole rapporto costi/benefici
- Buona copertura spaziale
- Copertura temporale > 10 anni

### Solidità scientifica

Basato su standard nazionali/internazionali

- Ben fondato in termini tecnici e scientifici
- Possiede elementi che consentono di correlarlo a modelli economici, previsioni e sistemi di informazione
- Prevede metodi di misura e raccolta dati attendibili e affidabili
- Comparabile nel tempo
- Comparabile nello spazio

# RECESSIONE SUPERFICIALE



## Fonte e accessibilità

Per il calcolo dell'indicatore di recessione superficiale sono stati utilizzati i dati di concentrazione degli inquinanti atmosferici e climatici ottenuti dal modello dell'EMEP ([EMEP MSC-W model](#)) con una risoluzione di  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  [5].

I dati di input sono accessibili sul sito:

[https://www.emep.int/mscw/mscw\\_moddata.html](https://www.emep.int/mscw/mscw_moddata.html)

## Qualità dell'informazione

Il calcolo dell'indicatore è stato ottenuto da dati di input stimati mediante un modello di dispersione atmosferico, quindi la qualità dell'informazione può risentire dell'incertezza associata ai dati di partenza.

## Limitazioni e possibili azioni

La funzione applicata per il calcolo della recessione superficiale consente una stima del danno che, tuttavia, può non rendere completamente conto della complessità dei processi di degrado strettamente connessi alle caratteristiche chimico-fisiche dei materiali costituenti il patrimonio culturale.

## Riferimenti bibliografici

1. MATTM, 2015. Strategia Nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.
2. Camuffo D., Del Monte M., Sabbioni C., "Influenza delle precipitazioni e della condensazione sul degrado superficiale dei monumenti in marmo e calcare", 1986, Ministero per I beni e le attività culturali-Bollettino d'Arte, 15-36.
3. Bonazza A., Messina P., Sabbioni C., Grossi C. M., Brimblecombe P., "Mapping the impact of climate change on surface recession of carbonate buildings in Europe", Science of the Total Environment, 407 (2009) 2039 – 2050.
4. MULTI-ASSESS. Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage. Deliverable 02. Publishable Final Report; 2007.
5. Spezzano P., "Mapping the susceptibility of UNESCO World Cultural Heritage sites in Europe to ambient (outdoor) air pollution", Science of the Total Environment, 754, 2021, 142345.
6. CLRTAP (2014). Chapter of Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution.

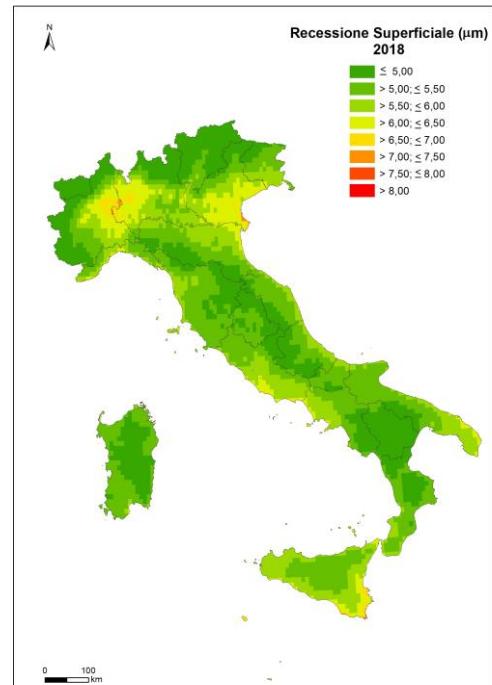


Figura 1 – Recessione superficiale a livello nazionale

## Commento alla mappa

La recessione superficiale dei materiali lapidei calcolata per il 2018 (Fig. 1) è compresa tra 4,5 e 7,8  $\mu\text{m}$ ; i valori più alti (tra 7 e 7,8  $\mu\text{m}$ ) sono stati stimati nel Nord Italia, area caratterizzata da precipitazioni più intense e in Sicilia, in cui sono state stimate concentrazioni di  $\text{SO}_2$  più alte rispetto al resto della penisola.

## Referente:

Raffaella Gaddi – ISPRA

[raffaella.gaddi@isprambiente.it](mailto:raffaella.gaddi@isprambiente.it)

# 7. PROGETTI NAZIONALI SUL TEMA DEGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI: ELEMENTI CONOSCITIVI E APPROCCI ALLA COSTRUZIONE DI INDICATORI

## 7.1. INTRODUZIONE

Il quadro conoscitivo sui fenomeni potenzialmente correlabili ai cambiamenti climatici sul nostro territorio, basato sull'analisi degli impatti chiave e indicatori prioritari disponibili in ambito SNPA è stato integrato con una selezione di buone pratiche, messe in atto da soggetti interni ed esterni al Sistema. La selezione ha l'obiettivo di fornire alcuni esempi di come gli indicatori siano stati tradotti in misure messe in atto a livello locale per far fronte agli effetti dei cambiamenti climatici. Il percorso di rilevamento, condiviso con i soggetti direttamente coinvolti nell'attuazione delle iniziative, ha riguardato i progetti realizzati o in corso di realizzazione nell'ultimo biennio a livello locale in Italia ed è stato effettuato a partire da un'analisi dei principali sostegni finanziari alla ricerca sul tema degli impatti dei cambiamenti climatici.

Le progettualità rilevate coprono una serie di settori (agricoltura, pesca, dissesto idrogeologico; foreste, insediamenti urbani, risorse idriche, zone costiere, ecc.) e diversi impatti legati al clima (siccità, temperature estreme, inondazioni, scarsità d'acqua, ecc.). Successivamente i progetti sono stati selezionati in base a una serie di criteri (Figura 11) armonizzati con quelli usati dalla Piattaforma Europea Climate-ADAPT.

<b>INNOVATIVITÀ DELL'AZIONE</b>	<b>REPLICABILITÀ DELL'AZIONE</b>
I progetti devono essere espressione di soluzioni innovative che hanno la finalità di ridurne la vulnerabilità agli effetti negativi dei cambiamenti del clima, limitare i danni derivanti dagli impatti presenti e futuri e cogliere le eventuali opportunità	I progetti devono essere facilmente esportabili e ripetibili in altre realtà locali
<b>MISURABILITÀ</b>	<b>COERENZA CON GLI STRUMENTI DI PROGRAMMAZIONE</b>
I progetti devono aver prodotto risultati misurabili nel campo della riduzione della vulnerabilità, dello studio o della mitigazione dei danni derivanti dagli impatti dei cambiamenti climatici	I progetti devono essere coerenti con gli obiettivi adottati dalle strategie e dai piani di azione per l'adattamento ai cambiamenti climatici adottati a livello nazionale o regionale
<b>APPROCCI MULTISETTORIALI</b>	<b>COPERTURA TERRITORIALE</b>
I progetti che adottano un approccio multisettoriale rappresentano casi di particolare interesse poiché permettono di identificare azioni di adattamento con ricadute positive su settori diversi e di capitalizzare sinergie tra azioni di adattamento rivolte a settori specifici	La selezione dei progetti dovrebbe garantire una rappresentanza equilibrata dei diversi territori

Figura 11 – Criteri di selezione delle buone pratiche

Nel Rapporto è presentato un numero ristretto di buone pratiche, rispetto a quelle selezionate, privilegiando i progetti che hanno posto l'attenzione sugli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici, elaborando modelli, migliorando la gestione dei rischi, per arrivare all'elaborazione e attuazione di azioni di adattamento.

In merito alla valutazione degli impatti, *Pastoralp* ha identificato i maggiori impatti attuali e attesi (clima, biodiversità, produzione foraggera, comunità locali) causati dal cambiamento climatico in due aree protette alpine, selezionando le strategie di adattamento necessarie per supportare le politiche gestionali locali e regionali. Il progetto *Mitimpact* si è occupato degli effetti dell'ozono sulle foreste valutando lo stato attuale degli ecosistemi e dei loro servizi, nonché la loro vulnerabilità a medio e a lungo termine, per arrivare a definire soglie appropriate per la protezione delle foreste e proporre strategie efficaci per limitare ed attenuare gli impatti del cambiamento climatico.

Il progetto *Climefish* ha valutato gli impatti dell'aumento delle temperature sulla pesca in mare, in acque dolci e sull'acquacoltura in casi studio distribuiti dal Mediterraneo ai laghi artici del Nord della Norvegia. In tutte le aree oggetto dello studio sono stati applicati modelli previsionali per costruire scenari di cambiamento, sviluppando linee guida sito-specifiche condivise con i portatori di interesse e un sistema di supporto alle decisioni.

Il progetto LIFE *Desert-Adapt* ha elaborato una strategia integrata di gestione del territorio progettata per contrastare la degradazione ed il rischio di desertificazione in aree mediterranee (tra cui tre siciliane). Il modello di adattamento proposto è basato su un approccio ecosistemico che combina obiettivi e misure di adattamento e miglioramento dei servizi ecosistemici con strategie di sviluppo socioeconomico.

L'impatto dei cambiamenti e della variabilità climatica sulle aree costiere e di transizione è stato affrontato dal progetto *Change we care* definendo metodi di analisi e misure di adattamento agli impatti su regimi idrici, intrusione di sale, turismo, biodiversità ed ecosistemi agricoli in cinque siti pilota. Gli impatti sulle zone costiere sono stati al centro anche del progetto *iDEAL*, che ha applicato alle basi di dati un'analisi decisionale multi-criterio (MCDA), in cui le azioni alternative vengono valutate e classificate tramite indicatori selezionati attraverso un processo di coinvolgimento di stakeholders e decisori.

LIFE ASTI ha realizzato una piattaforma che utilizza un set di sistemi di previsione delle ondate di calore, compresi gli indici bioclimatici termici e il grado di riscaldamento e raffreddamento per stimare la domanda energetica degli edifici. A questi si accompagna un sistema di allarme per supportare le autorità locali nella gestione degli eventi estremi.

Il progetto MED-STAR ha affrontato il crescente rischio di incendio derivante dai cambiamenti climatici perseguiendo il miglioramento della capacità delle amministrazioni di prevenirlo e gestirlo in aree a elevata presenza antropica e di rilevante interesse naturalistico, coinvolgendo le Regioni Sardegna, Liguria e Toscana.

Il progetto LIFE *SimetoRES* si pone come risultato lo sviluppo di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, con particolare riferimento al rischio alluvione, basate su interventi che mirino a rafforzare la resilienza delle comunità della Valle del Simeto ai cambiamenti climatici, attraverso specifiche azioni di informazione, formazione e sensibilizzazione. L'iniziativa mira inoltre a promuovere l'adozione di infrastrutture verdi e blu per la gestione dei deflussi meteorici in ambito urbano.

L'obiettivo prioritario di *ProteCH2save* è rafforzare la resilienza del patrimonio culturale nei confronti di eventi estremi correlati ai cambiamenti climatici attraverso la realizzazione di strumenti utili ai gestori

del patrimonio e alle autorità delle comunità locali per predisporre misure di preparazione e piani di emergenza.

Le strategie di adattamento per l'agricoltura sono al centro del progetto LIFE ADAPT2CLIMA, che ha sviluppato uno strumento di supporto alle decisioni che consentirà di simulare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla produzione agricola e l'efficacia delle opzioni di adattamento scelte per ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici nelle tre maggiori isole del Mediterraneo: Creta, Sicilia e Cipro.

Il progetto *UrbanProof* mira ad aumentare la resilienza dei Comuni ai cambiamenti climatici dotandoli di uno strumento web (il *toolkit "UrbanProof"*) in grado di supportare il processo decisionale relativo alle strategie e alle azioni di adattamento locali da intraprendere. Inoltre all'interno del progetto è ampiamente valorizzato anche il ruolo del verde pubblico e sono state implementate alcune misure locali di adattamento "green" e "soft" su piccola scala come azioni dimostrative.

Le azioni analizzate, che affrontano concretamente la questione climatica, evidenziano nel complesso una più attenta ed efficace considerazione del clima locale nella progettazione, pianificazione e gestione del territorio e testimoniano in modo tangibile l'avvio di un passaggio dalle strategie alle azioni per rendere il territorio più resiliente.

Le buone pratiche selezionate verranno pubblicate sulla Piattaforma nazionale sull'adattamento ai cambiamenti climatici in modo da essere a disposizione di tutto il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente e di un pubblico più vasto.

La selezione potrà essere implementata con nuove progettualità, con l'obiettivo di raggiungere il più possibile una copertura adeguata dei settori, degli impatti e delle diverse aree di attuazione.

## Descrizione

Il progetto ha lo scopo di testare una strategia integrata di gestione del territorio progettata per contrastare la degradazione ed il rischio desertificazione in aree Mediterranee esposte ad un progressivo inaridimento, conseguenza dei Cambiamenti Climatici. La strategia proposta definita "Modello di adattamento alla Desertificazione" (DAM) è un approccio ecosistemico che combina obiettivi e misure di adattamento e miglioramento dei servizi ecosistemici con strategie di sviluppo socioeconomico. Tale approccio si basa su tre pilastri che devono essere combinati nella pianificazione della gestione territoriale. L'Adattamento Economico: le aree più adeguate vengono assegnate per una produzione agricola resiliente, basata su diversificazione (almeno 8 diverse fonti di reddito), adattamento (uso di specie locali adattate alle condizioni climatiche regionali), sostenibilità e ripristino (uso di misure appropriate per evitare la degradazione ecosistemica), minimizzazione di tecniche di agricoltura intensiva. L'Adattamento Ambientale: il piano di gestione del territorio prevede un mosaico che alterni aree agricole e naturali che favoriscano la biodiversità e supportino i servizi ecosistemici dell'intera area. L'Adattamento Sociale: il DAM prevede azioni inclusive della popolazione locale per aumentare la consapevolezza del valore della propria terra e per dare un senso di efficacia collettiva e responsabilità comune.

## Localizzazione

Le azioni di implementazione del Progetto sono condotte in diverse aree localizzate in Italia (Regione Sicilia, province Caltanissetta, Caltagirone e isola di Lampedusa), in Spagna (Regione di Extremadura), in Portogallo (Regione di Alentejo).

## Durata

01.07.2017 - 01/09/2022

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Siccità

## Tipologia azione

Soft

## Parole chiave

Desertificazione, cambiamenti climatici, land neutrality, gestione sostenibile, co-creazione, produzione sostenibile, servizi ecosistemici.

## Strumento di finanziamento

Desert-Adapt è sviluppato all'interno del sottoprogramma LIFE+ Azione Clima, priorità Adattamento climatico.



Figura 1 - I 10 siti dimostrativi localizzati nelle diverse Municipalità che coprono 1000 ettari



# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

LIFE DESERT- ADAPT - PREPARARE LE AREE A RISCHIO DESERTIFICAZIONE ALL'INCREMENTO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

## Risultati

Il progetto porterà benefici in particolare agli agricoltori locali, con opportunità di reddito provenienti da nuove combinazioni di prodotti e servizi ecosistemici ed attraverso la promozione cooperativa organizzata, le vendite ed il marketing. Anche la biodiversità locale beneficerà degli interventi del progetto i quali apporteranno un aumento della complessità strutturale della vegetazione e dell'attrazione per gli impollinatori, ed una riduzione degli impatti su suolo ed ambiente. Altri risultati includono la preparazione degli agricoltori all'acquisizione di varie certificazioni.

## Modalità di realizzazione

Il progetto nella sua fase pilota si basa su una stretta sinergia tra promotori e stakeholders partners dell'iniziativa, che sono rappresentati da aziende del settore agricolo, agroforestale, vivaistico e di ingegneria forestale ed enti pubblici quali i comuni. Il denominatore comune degli stakeholders è l'essere referenti per una porzione di territorio in aree a rischio desertificazione o soggette a degradazione. Il progetto prevede una collaborazione stretta tra tecnici e stakeholders per costruire insieme un percorso di adattamento ai cambiamenti climatici e di gestione del rischio desertificazione che si basi sulle conoscenze, capacità, motivazioni dei gestori locali.

## Rapporto costi/benefici

Il progetto prevede la valutazione dei costi/benefici del piano di azione attuato dagli stakeholder. Il fine specifico di tale rapporto costi/benefici è l'introduzione del concetto di servizio ecosistemico nel computo delle azioni analizzate per il rapporto.

## Criticità

L'analisi delle criticità è uno degli obiettivi fondamentali del progetto, quelle evidenziate verranno inserite in un piano di proposte di risoluzione/facilitazione che possa fornire supporto soprattutto ai tavoli decisionali a più livelli. Sono state differenziate in criticità strutturali, legate quindi alla struttura giuridico amministrativa delle diverse regioni, in criticità operative legate a diversi fattori specifici.

## Trasferibilità

Il progetto prevede una fase di replicazione volta alla trasferibilità delle azioni intraprese, che comincerà nell'autunno 2021. A tal fine si stanno sviluppando i materiali e i tools necessari per supportare i partners nella loro azione di replicazione.



Figura 2 – Modello di Adattamento alla Desertificazione



Foto: Simona Castaldi - Università degli Studi della Campania

## RIFERIMENTI

### Partner

Il partenariato del progetto include 19 partners di diverse regioni europee (Italia, Portogallo, Spagna e Olanda). Il ruolo di coordinamento è svolto dall'Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli".

### Referente

Simona Castaldi - Università degli Studi della Campania

### Sito web

[www.desert-adapt.it](http://www.desert-adapt.it)

## Descrizione

LIFE SimetoRES mira ad aumentare la resilienza contro gli impatti dei cambiamenti climatici (CC) nell'area urbanizzata della valle del fiume Simeto.

Il principio su cui si basa il progetto è che l'adattamento urbano al CC può essere ottenuto mediante un approccio top-down e bottom up che operano simultaneamente. La componente top-down indica che le azioni di adattamento urbano devono essere sostenute, soprattutto quelle a breve termine, dai decisori pubblici, dagli operatori tecnici e dalle parti interessate in genere, promuovendo la costruzione di infrastrutture blu-verdi (BGIs), come buone pratiche per la gestione dei deflussi in ambito urbano, e riprogettando le aree esistenti in modo più «green». L'approccio dal basso si basa su un necessario aumento della consapevolezza sugli impatti del CC che diventa fondamentale per gli effetti a lungo termine. Infine, la componente di pianificazione partecipativa basata sul partenariato preoperativo dell'Accordo sul fiume Simeto (SRA), agevolerà la replicabilità e trasferibilità delle migliori pratiche di gestione delle acque piovane nelle aree urbane. Gli approcci contemplati si adattano perfettamente alla pianificazione regionale delle risorse idriche, che prevede la partecipazione pubblica come passo essenziale verso una più efficiente attuazione delle misure.

## Localizzazione

Paternò (CT), Ragalna (CT), Santa Maria di Licodia (CT) e Catania (Università).

## Durata

15.06.2018 - 15.12.2021

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Aumento del rischio geologico e idraulico e dei danni ad essi legati.

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Adattamento ai cambiamenti climatici, difesa dagli allagamenti, sensibilizzazione al rischio, area urbana, scuole.

## Strumento di finanziamento

LIFE



Figura 1 - Il progetto prevede sia attività specifiche per il perseguimento degli obiettivi, sia attività legate alla sua gestione, al monitoraggio dei risultati e alla disseminazione a livello nazionale e internazionale dei risultati

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

LIFE SIMETORES - URBAN ADAPTATION AND COMMUNITY LEARNING FOR A RESILIENT SIMETO VALLEY

## Risultati

Il progetto LIFe Simetores si pone come risultato lo sviluppo di strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, con particolare riferimento al rischio alluvione, basate su interventi che mirino a rafforzare la resilienza delle comunità della Valle del Simeto ai cambiamenti climatici, attraverso specifiche azioni di informazione, formazione e sensibilizzazione. L'iniziativa mira inoltre a promuovere l'adozione di infrastrutture verdi e blu per la gestione dei deflussi meteorici in ambito urbano.

## Modalità di realizzazione

La partnership del progetto vede coinvolti diversi soggetti tra cui alcune Amministrazioni e l'Università di Catania che fornirà supporto tecnico scientifico per tutte le attività, il Patto di Fiume Simeto e il Presidio Partecipativo del Patto di Fiume Simeto, la cui partecipazione consentirà di allargare le ricadute su tutti i comuni che aderiscono al Patto, nonché di garantire il carattere partecipativo del progetto.

## Rapporto costi/benefici

Non è disponibile l'analisi costi/benefici.

## Criticità

Non sono state rilevate criticità nelle fasi di elaborazione e realizzazione del progetto al momento completate.

## Trasferibilità

Le azioni implementate dal progetto sono trasferibili in altri contesti, a vari livelli. Nell'ambito dell'iniziativa le attività di disseminazione sono proprio finalizzate a facilitare tale processo.



Foto: <http://lifesimetores.it/>

**PROGETTO "LIFE SIMETORES" \*\*\*  
IN PILLOLE**

UNA VALLE DEL SIMETO RESILIENTE!

**#4 OBIETTIVI**

**PROGETTO "SIMETO-RES"**

- Promozione delle infrastrutture blu-verdi per la corretta gestione dei deflussi in ambito urbano;
- Educare all'adattamento ai cambiamenti climatici, evidenziandone l'importanza delle azioni di adattamento e mitigazione e incrementando la consapevolezza dei rischi in ambiente urbano,  
*in sinergia con le scuole del territorio*
- Informare e formare il mondo delle professioni tecniche, sulle buone pratiche per la gestione e progettazione delle infrastrutture verdi.

[www.lifesimetores.it](http://www.lifesimetores.it)

**3 MILIONI DI €**

PRESIDIO PARTECIPATIVO DEL PATTO DI FIUME SIMETO

Foto: <http://lifesimetores.it/>

## RIFERIMENTI

### Partner

Comuni di Paternò (CT), Ragalna (CT), Santa Maria di Licodia (CT) e Università di Catania - Dipartimento di Ingegneria Civile e Architettura

### Referente

Gianfranco Ursino - Comune di Paternò (CT)

### Sito web

<http://lifesimetores.it/>

## Descrizione

Il progetto intende analizzare i rischi climatici sperimentati dalle aree costiere e di transizione contribuendo a una migliore comprensione dell'impatto della variabilità climatica e dei cambiamenti sui regimi idrici, intrusione di sale, turismo, biodiversità ed ecosistemi agricoli che interessano l'area di cooperazione. L'obiettivo principale è definire un paradigma per trasferire efficaci metodi di analisi e misure di adattamento per cinque siti pilota ad altri sistemi che affrontano problemi simili su scala transfrontaliera, e fornire così ai responsabili decisionali e comunità costiere opzioni di pianificazione integrate, condivise e basate sull'approccio eco-sistemico.

## Localizzazione

In base alle caratteristiche dei diversi siti pilota, le misure di intervento potranno riguardare diverse scale geografiche a vari livelli amministrativi, a partire da zone circoscritte all'interno di un singolo Comune fino a bacini idrografici transfrontalieri



## Durata

01.01.2019 – 31.12.2021

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Riduzione/perdita di habitat e di biodiversità

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Cambiamento climatico, ambienti costieri e di transizione, misure di adattamento, processi partecipativi

## Strumento di finanziamento

INTERREG

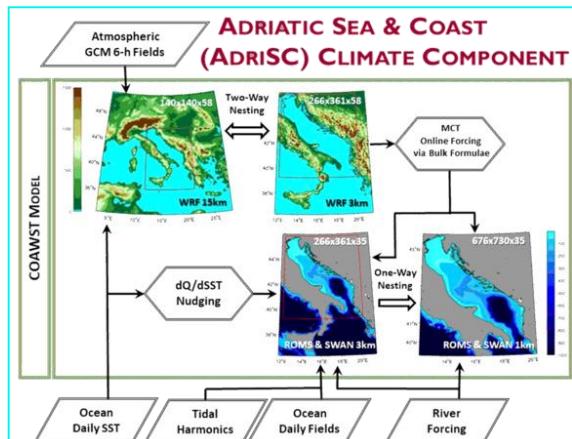


Figura 1: interfaccia web per l'accesso ai dati giornalieri dei parametri atmosferici e oceanici provenienti dal modello climatico ad alta risoluzione AdriSC (Mare e Costa Adriatica) (1987-2017). Fonte: [https://vrtlac.izor.hr/ords/adrisc/interface\\_form](https://vrtlac.izor.hr/ords/adrisc/interface_form)

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

CHANGE WE CARE

## Risultati

Le attività sono ancora in corso. A febbraio 2021 risultano completate le fasi di caratterizzazione dello stato attuale, mentre sono in corso le attività di proiezione degli scenari di cambiamento climatico nei siti pilota e i processi partecipativi per l'identificazione di misure di adattamento.

## Modalità di realizzazione

Collaborazione tra 11 partners Italiani e Croati e coinvolgimento di stakeholders in eventi pubblici e processi partecipativi.

## Criticità

Alcuni ritardi e variazioni nello svolgimento delle attività sono occorsi a causa della pandemia di covid-19 e delle relative misure di contenimento, che hanno impattato alcune attività in campo e gli eventi pubblici.

## Trasferibilità

CHANGE WE CARE si focalizza su cinque siti pilota molto diversi per caratteristiche, criticità e quadro giurisdizionale, con solide connessioni al contesto EUSAIR e a numerose iniziative Nazionali (Tavolo Nazionale per l'Erosione Costiera - TNEC) ed Internazionali (Mediterranean Strategy for Sustainable Development - MSSD, BLUEMED Initiative on Blue Growth in the Mediterranean, Bologna Charter Joint Action Plan). In questo modo il Progetto si propone l'obiettivo di creare, oltre ad una base comune di conoscenza e metodologia a livello di bacino Adriatico, un paradigma di analisi e proiezione dei processi climatici immediatamente esportabile nel contesto Nazionale ed Europeo, nonché facilmente riproducibile in altri contesti geografici.



Foto: facebook.com/changewecare

## RIFERIMENTI

### Partner

Cnr-Ismar; Regione Emilia-Romagna; Ente di Gestione per i Parchi e la biodiversità-Delta Del Po; ISPRA; Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia; Regione Veneto; Universita di Zagabria; Javna Ustanova za Upravljanje Zaštićenim Dijelovima Prirode Dubrovačko-Neretvanske Županije; Institut za Oceanografiju i Ribarstvo; Javna Ustanova Rera S.D. za Koordinaciju i Razvoj Splitsko Dalmatinske Županije; Javna Ustanova Park Prirode Vransko Jezero.

### Referente

Davide Bonaldo – CNR - ISMAR

### Sito web

<https://www.italy-croatia.eu/web/changewecare>



Foto: facebook.com/changewecare

## Descrizione

La prevenzione e la riduzione degli effetti climatici più diffusi che interessano le regioni di Italia e Croazia, dovrebbero essere supportate da un settore pubblico ben organizzato nel campo dei dati e delle informazioni e della loro elaborazione integrata. L'adattamento ai cambiamenti climatici, insieme alla mitigazione, è uno sforzo a lungo termine che richiede responsabili alternative date da un sistema di supporto decisionale capace di ponderare decisioni basate sulla conoscenza. Partendo da questi presupposti, il progetto INTERREG iDEAL capitalizza il processo decisionale sviluppato dall'Università IUAV di Venezia nell'ambito dell'esperienza TERRE (Sud-Est Europa, 2012-2014). Questa soluzione si basa su un'analisi decisionale multi-criterio (MCDA), in cui le azioni alternative vengono valutate e classificate tramite indicatori, selezionati attraverso un processo di coinvolgimento di Stakeholders e decisori. La metodologia e la logica alla base della buona pratica risulta adattabile a supportare i piani di azioni volte all'adattamento climatico. Quindi, è necessario ridefinire scenari, obiettivi e criteri seguendo le nuove priorità dei decisori, mantenendo la struttura per supportare i decisori durante il processo decisionale, dalle azioni alternative e dalla valutazione. Più specificamente, il progetto mira a integrare le osservazioni ambientali-climatiche con questioni socio-economiche, per consentire ai decisori di valutare le alternative in base ai propri obiettivi soggettivi. In questo modo, le strategie di adattamento climatico vengono proposte sulla valutazione quantitativa e qualitativa dell'analisi del clima e valutate dalle priorità di decisori e stakeholders (anche attraverso analisi e strumenti ICT). I risultati di questo processo portano a indicatori e informazioni geografiche che definiscono lo stato della vulnerabilità climatica delle aree in oggetto.

## Localizzazione

L'attività ha coinvolto aree comunali (Comune di Pesaro, Comune di Misano Adriatico), aree provinciali e un parco regionale (Parco naturale regionale "Dune costiere da Torre Canne a Torre S. Leonardo").

## Durata

01.03.2018 - 30.09.2019

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Aumento dei danni alle infrastrutture e dei disservizi a causa di un evento meteorologico estremo/mareggiate o di una conseguenza (frane/alluvioni).

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Nature based solution

## Strumento di finanziamento

INTERREG

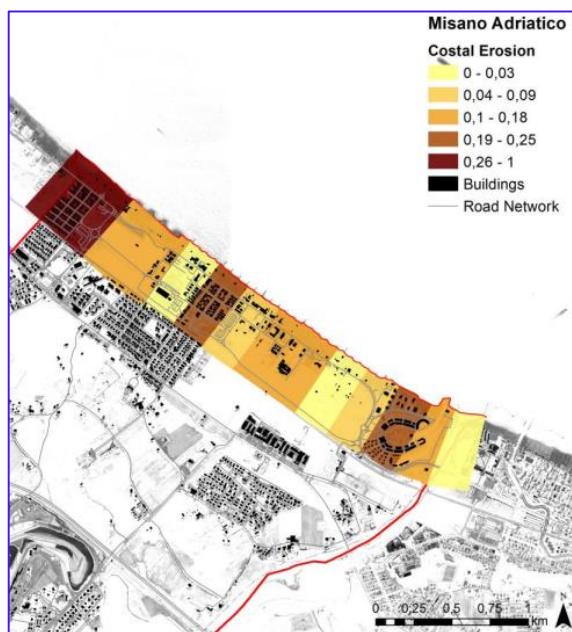


Figura 1 - Mappa del rischio di erosione costiera (dettaglio). Fonte: Progetto iDEAL WP3 Definition and monitoring of climate adaptation plans. Activity 3.1 climate vulnerability and risk analysis.

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## IDEAL - DECISION SUPPORT FOR ADAPTATION PLAN

### Risultati

Il progetto ha raggiunto come risultato finale la definizione di 5 piani d'azione di adattamento climatico, approvati ed adottati dai partner di progetto, inoltre il progetto ha sviluppato una metodologia sia di coinvolgimento delle parti interessate, sia di valutazione delle possibili alternative d'azione.

### Modalità di realizzazione

Il progetto ha attivato necessariamente collaborazioni sia tra i vari partner di progetto, sia tra gli attori dei singoli territori coinvolti (anche a scale differenti). Infatti, la gestione dell'adattamento climatico riveste vari ambiti, che ricadono amministrativamente su livelli diversi. Inoltre, è stato necessario attivare un processo più ampio di coinvolgimento degli attori sociali, che attraverso le loro istanze e i loro comportamenti agiscono nei confronti dell'adattamento.

### Rapporto costi/benefici

Complessivamente il rapporto costi e benefici della pratica è positivo.

### Criticità

Le criticità maggiori si sono riscontrate proprio sulla convergenza di attori istituzionali e locali diversi, che non sempre hanno modo di dialogare. La molteplicità di ambiti e sinergie se da un lato arricchisce il processo dall'altro lo rallenta e lo complica, introducendo logiche, obiettivi ed azioni anche conflittuali, che richiedono lunghi tempi di contrattazione.

### Trasferibilità

La pratica e le metodologie applicate sono ampiamente replicabili e trasferibili, ne è un esempio il fatto stesso che il progetto è stato testato su entità ed aree territoriali molto diverse tra loro.

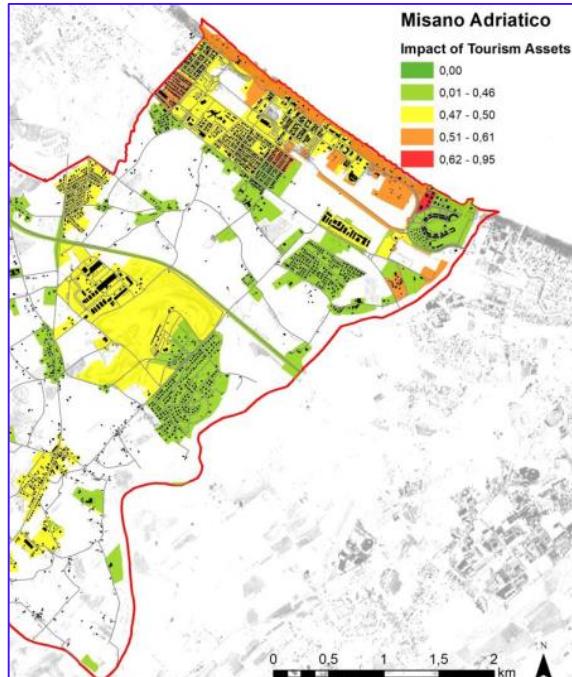


Figura 2 - Mappa del rischio. Impatti sul settore turismo (dettaglio).  
Fonte: Progetto iDEAL WP3 Definition and monitoring of climate adaptation plans. Activity 3.1 climate vulnerability and risk analysis.

## RIFERIMENTI

### Partner

IRENA – Istrian Regional Energy Agency L.T.D., Università Iuav di Venezia, Comune di Pesaro, Comune di Misano Adriatico, City of Dubrovnik Development Agency Dura, Parco Naturale Regionale "Dune Costiere da Torre Canne a Torre S. Leonardo".

### Referente

Giulia Lucertini - IUAV

### Sito web

<https://www.italy-croatia.eu/web/ideal>

## Descrizione

Si prevede che l'effetto combinato del cambiamento climatico globale e della rapida urbanizzazione renderà i residenti delle aree urbane più vulnerabili a una serie di problemi ambientali fortemente legati all'effetto isola urbana di calore (UHI), aggravati dall'aspettato aumento degli eventi estremi di calore dovuto ad una temperatura media planetaria sempre più alta. L'area urbana di Salonicco copre 112 km<sup>2</sup> e ha una popolazione di circa 790 000 abitanti, mentre quella di Roma, che si estende oltre i limiti amministrativi della città, copre circa 1.287 km<sup>2</sup> per più di 2,8 milioni di residenti. Le persone anziane (dai 65 anni in su), più sensibili alle onde e agli eventi estremi di calore, rappresentano il 12% della popolazione di Salonicco e il 20% di quella di Roma, che è una delle prime città europee ad aver introdotto un sistema di allarme sanitario da calore (HWW). Sulla base di questo sistema, la regione Lazio ha sviluppato un piano di prevenzione delle onde di calore che include la sorveglianza da parte dei medici di base dei gruppi di persone suscettibili.

Il progetto LIFE ASTI mira a disegnare, implementare, dimostrare e quindi validare un sistema integrato di previsione della UHI a Salonicco e Roma basato sullo stato dell'arte dei modelli numerici. LIFE ASTI intende inoltre definire strumenti di divulgazione che permettano agli utenti finali un accesso più facile alle informazioni relative alla UHI, sia attraverso applicazioni ICT in tempo reale sia mediante una accurata valutazione dell'impatto dei futuri scenari di cambiamento climatico, nonché con la promozione di attività di mitigazione del fenomeno (tetti verdi, aree di ventilazione, ecc.) nelle aree urbane. I sistemi di modellazione sviluppati per le due città, insieme a guide di buone pratiche e piani strategici di adattamento e mitigazione, potranno essere adattati ad altre aree urbane della UE. A tale proposito, il progetto prevede una serie di attività legate alla sensibilizzazione delle autorità per favorire l'implementazione delle misure di adattamento e mitigazione elaborate. LIFE ASTI contribuisce alla strategia greca di adattamento ai cambiamenti climatici del 2016 insieme alla decisione ministeriale del 2017 sui piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici.

## Localizzazione

Roma

## Durata

01.09.2019 – 31.08.2022

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Incremento della morbilità, della mortalità in relazione alle ondate di calore.

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Heat Waves, Urban Climate, Health, Urban Heat Island

## Strumento di finanziamento

LIFE

Indice di disagio/ Universal Thermal Climate Index (°C)

Mappa interattiva del valore Massimo di UTCI valore massimo previsto dal modello nelle 24 ore.

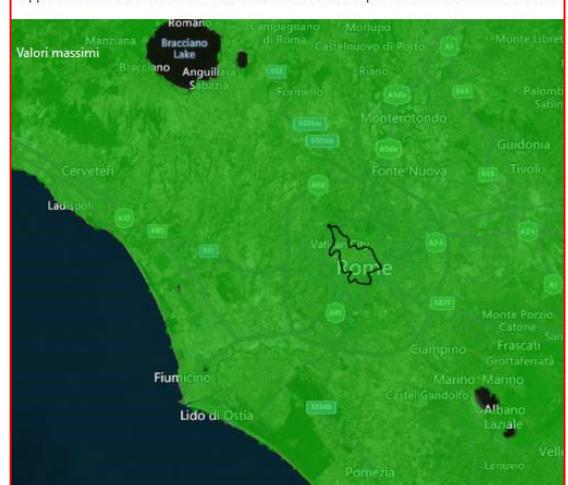


Figura 1 - Sistema di allerta Isola di Calore urbano. Dettaglio della Mappa interattiva del valore Massimo di UTCI valore massimo previsto dal modello nelle 24 ore per la città di Roma.  
<https://app.lifeasti.eu/romedashboard>

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## LIFE ASTI - IMPLEMENTATION OF A FORECASTING SYSTEM FOR URBAN HEAT ISLAND EFFECT FOR THE DEVELOPMENT OF URBAN ADAPTATION STRATEGIES

### Risultati

Finora, è stata progettata, implementata e validata a Roma (Italia) e Salonicco (Grecia) una piattaforma che utilizza un set di sistemi di previsione dell'isola di calore basata sullo stato dell'arte dei modelli numerici. I sistemi di modellazione forniranno alle parti interessate diversi prodotti di previsione ad alta risoluzione relativi all'isola di calore, compresi gli indici bioclimatici termici e il grado di riscaldamento e raffreddamento per stimare la domanda energetica degli edifici. Inoltre, un sistema di allarme sviluppato e testato operativamente in entrambe le città supporterà le autorità locali nella gestione degli eventi estremi.

### Modalità di realizzazione

Il progetto aiuterà nell'ottimizzazione del piano comunale di protezione civile che attualmente prevede azioni in caso di allarmi di ondate di calore estreme sensibilizzando ed incoraggiando le autorità ad applicare strategie di adattamento urbano ed iniziative di mitigazione.

### Rapporto costi/benefici

LIFE ASTI sta contribuendo con successo agli obiettivi generali della strategia di adattamento dell'UE sviluppando politiche per un migliore adattamento all'impatto della UHI (specialmente durante le ondate di calore), supportando la riduzione del rischio di calore nelle aree metropolitane, introducendo servizi di prevenzione del calore e migliorando l'attuazione delle linee guida sull'efficienza energetica nelle città europee. Le due città mediterranee sono state scelte come primi casi studio per fornire una copertura geografica rappresentativa, riflettere le diverse condizioni ambientali e sostenere una delle principali priorità politiche dell'UE per le forze congiunte e la cooperazione transnazionale.

### Criticità

Aumentare la consapevolezza e incoraggiare le autorità ad applicare strategie di adattamento urbano e iniziative di mitigazione.

### Trasferibilità

I sistemi di modellazione, le guide di buone pratiche ed i piani strategici efficienti per mitigare gli effetti dell'isola di calore possono essere adattati e replicati in altre aree urbane della UE che affrontare gli stessi effetti negativi della UHI.

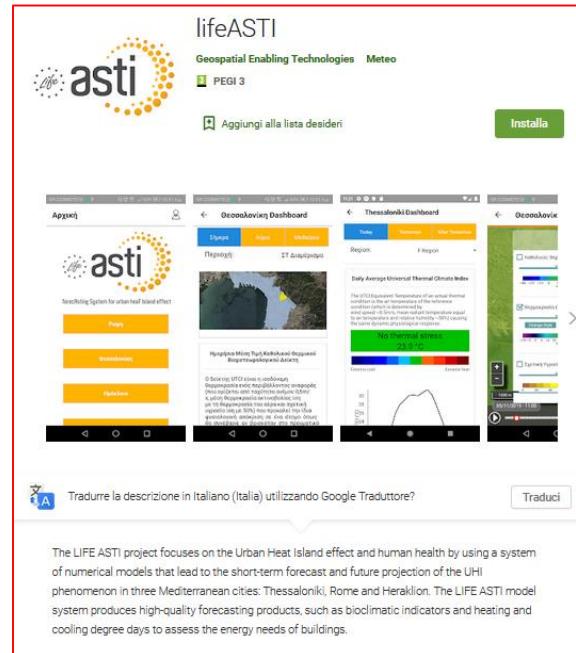


Figura 2 - Sistema di allerta Isola di Calore urbano. App Android.

### RIFERIMENTI

#### Partner

Aristotle University of Thessaloniki, ASL Roma 1, Geospatial Enabling Technologies Ltd, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (CNR-ISAC), Municipality of Thessaloniki, SYMPRAKIS.

#### Referenti

Stefania Argentini, Giampietro Casasanta  
CNR-ISAC

#### Sito web

<https://lifeasti.eu/>

## Descrizione

MED-Star affronta la sfida di potenziare le capacità di previsione, prevenzione e soppressione degli incendi nell'area di cooperazione, per proteggere e valorizzare le risorse ambientali, culturali e turistiche dello spazio del Programma Italia - Francia Marittimo.

Obiettivo generale del progetto è contribuire al miglioramento della capacità delle istituzioni pubbliche coinvolte di prevenire e gestire, in forma congiunta, il crescente rischio di incendio derivante dai cambiamenti climatici, in aree a elevata presenza antropica e di rilevante interesse naturalistico, anche attraverso opportune azioni di adattamento.

La strategia di intervento prevede la realizzazione di piani di azione congiunti su reti di monitoraggio e piattaforme di condivisione dati, sulla previsione e prevenzione degli incendi, sulla pianificazione strategica e la gestione, compresi i piani di adattamento ai cambiamenti climatici. L'approccio transfrontaliero è essenziale per l'integrazione dei sistemi pubblici di gestione del rischio e per una più efficace cooperazione tra le amministrazioni competenti in materia di rischio incendi. Il partenariato di progetto è quindi particolarmente esteso e comprende i soggetti rilevanti e competenti in tema di prevenzione e lotta al rischio incendi delle Regioni dello spazio di cooperazione transfrontaliero.

## Localizzazione

Spazio Marittimo (Italia: Regioni Toscana, Liguria, Sardegna; Francia: Corsica e Regione Provenza - Alpi Costa-Azzurra).

## Durata

01.05.2019 - 01.12.2022

#### Impatto su cui agisce l'azione settoriale

#### Aumento del rischio di incendio

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Previsione e prevenzione, monitoraggio, adattamento e mitigazione del rischio incendi; modelli innovativi di governance; comunicazione del rischio

## Strumento di finanziamento

MED-Star è finanziato nell'ambito del Programma di cooperazione transfrontaliera Interreg Italia-Francia Marittimo 2014-2020.



# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

MED-STAR - STRATEGIE E MISURE PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI INCENDIO NELL'AREA MEDITERRANEA

## Risultati

Il progetto sta realizzando: lo sviluppo di modelli innovativi di governance, realizzando piani congiunti di prevenzione; la creazione di un sistema congiunto di monitoraggio e coordinamento per la lotta contro gli incendi; lo sviluppo di azioni di comunicazione, sensibilizzazione e formazione rivolte alla popolazione residente, ai turisti e agli operatori del settore.

## Modalità di realizzazione

Il progetto si basa su un approccio transfrontaliero che ha permesso l'integrazione dei sistemi pubblici di gestione del rischio e una più efficace cooperazione tra le amministrazioni competenti in materia di rischio incendi. Il partenariato di progetto, particolarmente esteso, lavora allo sviluppo di piani di azione congiunti, progettazione e realizzazione di una piattaforma tecnologica e alla condivisione di dati.

## Rapporto costi/benefici

Il PAC sulla previsione degli incendi conterrà linee guida e procedure per una più corretta pianificazione delle fasi che portano all'emissione dei bollettini di previsione della pericolosità, nonché alla standardizzazione dei loro contenuti.

Il PAC sulla prevenzione degli incendi suggerirà alle amministrazioni l'adozione di interventi di formazione e/o di prevenzione strutturale.

## Criticità

Le criticità maggiori si sono riscontrate a causa dell'emergenza sanitaria, che ha reso necessario rimodulare e, in parte, rinviare le attività.

## Trasferibilità

I Piani di azione Congiunti e il sistema della piattaforma transfrontaliera che rende accessibili dati di interesse comune (ad es. previsioni meteorologiche, indici e indicatori di pericolosità, dati satellitari, database incendi storici, ecc.) sono ampiamente replicabili e trasferibili.



Foto: <http://interreg-maritime.eu/web/med-star>

## RIFERIMENTI

### Partner

Regione Sardegna (capofila); CNR IBE; UNISS; Regione Toscana; LAMMA; UNIFI; Region de PACA; INRAE; Conseil Dep. des Alps Maritimes; Regione Liguria; ANCI Liguria; Fondazione CIMA; Conseil Dep. de Corse; Université de Corse; Office national des forêts; CMCC.

### Referente

Antonio Pasquale Belloi - Regione Sardegna, Direzione generale della protezione civile

### Sito web

<http://interreg-maritime.eu/web/med-star>

## Descrizione

L'ozono, inquinante secondario originato per effetto delle radiazioni solari e dei cosiddetti precursori (ossidi di azoto), costituisce una delle maggiori problematiche nelle aree urbane, periurbane e rurali. Gli effetti di questo gas sulle piante sono la caduta prematura delle foglie, un più lento accrescimento e un loro generale indebolimento. Ne deriva una diminuzione della capacità delle foreste di fornire servizi ecosistemici come lo stoccaggio del carbonio atmosferico, la conservazione della biodiversità, la protezione del suolo e la regimazione delle acque.

Nelle Regioni interessate dal progetto Mitimpact sono attese nel futuro variazioni climatiche fra le più intense. Tali regioni, a seguito dell'elevato aumento delle temperature e dell'ozono, dovranno attivarsi nel rispondere all'impatto del cambiamento climatico in corso. Nello specifico, saranno tenute a impegnarsi in azioni di adattamento che permettano, negli anni a venire, la salvaguardia dell'ecosistema e dell'attrattività del territorio.

Il progetto ha permesso di comprendere l'estensione dei danni attualmente dovuti all'ozono sulle foreste valutando lo stato attuale degli ecosistemi e dei loro servizi, nonché la loro vulnerabilità a medio e a lungo termine, in funzione di proiezioni climatiche future. Le analisi svolte si sono rivelate utili per definire soglie appropriate per la protezione delle foreste e proporre strategie efficaci per limitare ed attenuare questi effetti (mitigazione). Il progetto ha contribuito inoltre, a colmare un'attuale carenza normativa inerente le soglie di protezione della vegetazione nei confronti del suo inquinante attualmente più critico, l'ozono, fornendo così alle Amministrazioni pubbliche parametri concreti di riferimento.

## Localizzazione

Provincia di Cuneo e Dipartimento Alpi Marittime (Francia)

## Durata

29.05.2017 – 27.10.2020

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Aumento dei danni alle infrastrutture e dei disservizi a causa di un evento meteorologico estremo/mareggiate o di una conseguenza (frane/alluvioni)

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Ozono, cambiamento climatico, foreste, modellizzazione, mitigazione degli impatti

## Strumento di finanziamento

INTERREG



Foto: GeographR

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## MITIMPACT

### Risultati

Definizione dell'impatto dei danni da ozono e del cambiamento climatico non solo sulla vegetazione e sull'ecosistema, ma anche sui servizi ecosistemici da esso forniti. Stima dei danni economici indotti dall'ozono e individuazione di pratiche ed azioni mitiganti valutandone l'impatto costi/benefici in termini oggettivi. Sensibilizzazione interna ed esterna all'ambito progettuale, con attenzione specifica sia per Enti e Istituzioni sia per il grande pubblico.

### Modalità di realizzazione

Oltre all'ottima collaborazione tra i partner di progetto sono state effettuate numerose azioni di divulgazione e sensibilizzazione a beneficio delle Comunità locali delle zone monitorate nonché a livello regionale, nazionale e transnazionale. Si sottolinea la partecipazione di importanti stakeholder coinvolti nella definizione delle azioni di mitigazione quali Regione Piemonte (Settore Foreste e Green economy), Città di Torino e degli omologhi sul lato francese.

### Rapporto costi/benefici

Buon rapporto costi benefici considerati i risultati ottenuti e la divulgazione operata sul territorio.

### Criticità

Non si sono incontrate particolari criticità.

### Trasferibilità

Le buone pratiche e le strategie di mitigazione e adattamento elaborate nell'ambito del progetto sono sicuramente trasferibili ad altri contesti in ambito europeo.

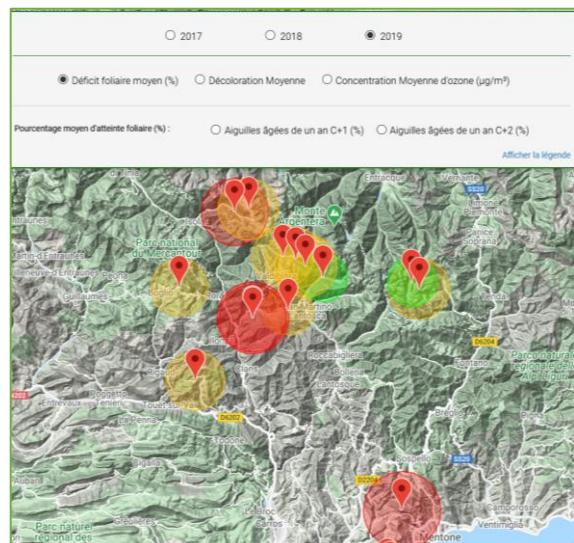


Figura 1 - Atlante cartografico del progetto MITIMPACT. Riquadro del layer "Deficit fogliare e scolorimento delle foglie tra il 2017 e il 2019".

### RIFERIMENTI

#### Partner

Istituto per le piante da legno e l'ambiente (I.P.L.A. S.p.a.), GIEFS, Arpa Piemonte, IPSP-CNR, GeographR.

#### Referente

Andrea Ebone - Istituto per le piante da legno e l'ambiente

#### Sito web

<http://www.mitimpact.com>

## Descrizione

Nell'ultimo secolo gli ecosistemi alpini sono andati incontro a un riscaldamento di circa 2°C e le proiezioni climatiche future indicano come trend generale un ulteriore innalzamento della temperatura fino a +3.3 °C entro la fine del secolo. A questo si aggiungono le previsioni di una riduzione delle precipitazioni estive e di quelle nevose e di una maggiore frequenza dei verificarsi di eventi estremi, come ad esempio periodi di siccità e ondate di calore. Questo porterà a conseguenze rilevanti sugli ecosistemi pascolivi in termini di perdita di biodiversità e di produzione foraggera, oltre ad impatti sui servizi ecosistemici ad essi collegati come ad esempio lo stoccaggio di carbonio, difesa all'erosione del suolo, ecc. Pertanto, a seguito anche di un progressivo abbandono a cui i territori montani sono andati incontro nell'ultimo secolo, i sistemi pastorali alpini sono da considerarsi ecosistemi altamente vulnerabili ai cambiamenti climatici e quindi necessitano di opportune strategie di adattamento nel breve-medio periodo che potranno essere applicate solo attraverso una reale condivisione con le comunità locali e i decisori politici.

In questo contesto, PASTORALP, progetto cofinanziato dal programma LIFE, ha come obiettivo la riduzione degli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi pastorali alpini, aumentandone la resilienza e riducendone la vulnerabilità.

In particolare, il progetto si propone di:

- individuare e testare opportune misure di adattamento cercando di mantenere la biodiversità locale;
- aumentare la consapevolezza delle comunità pastorali locali sui cambiamenti climatici (*capacity building*);
- promuovere strategie di gestione dei pascoli alpini che siano efficaci e sostenibili anche dal punto di vista socio-economico;
- fornire uno strumento di supporto ai decisori politici per l'investimento e l'applicazione delle strategie.

## Localizzazione

Valle d'Aosta, Piemonte, Parco Nazionale del Gran Paradiso (IT), Parc National des Ecrins (FR)

## Durata

01.10.2017 – 30.03.2022

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Variazione della produttività agricola, aumento della siccità agricola

## Tipologia azione

Grey

## Parole chiave

Pascolamento, foraggio, agroforestry, uso efficiente della risorsa idrica, gestione aziendale, carico animale, sistemi di pascolamento, uso del suolo

## Strumento di finanziamento

LIFE



Foto: Luciano Ramires Copyright PNGP

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## LIFE PASTORALP - PASTURES VULNERABILITY AND ADAPTATION STRATEGIES TO CLIMATE CHANGE IMPACTS IN THE ALPS

### Risultati

Tramite approcci multidisciplinari (basati su modellistica, approcci partecipativi, rilievi in campo) sono stati identificati i maggiori impatti attuali e attesi (clima, biodiversità, produzione foraggiera, comunità locali) causati dal cambiamento climatico in due aree protette alpine, mettendoli in relazione alla loro gestione. Opportune strategie di adattamento sono state identificate, testate e condivise tramite una piattaforma online e la redazione di un piano adattamento che potrà supportare le politiche gestionali locali e regionali ad oggi prese a riferimento.

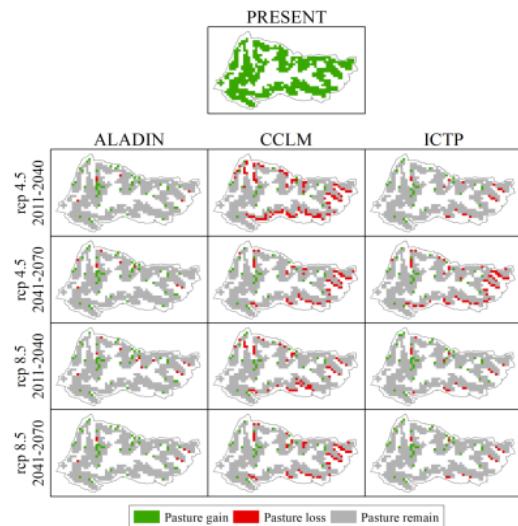


Figura 1 - Grid cell map representing the distribution of pastures across PNGP in the present and variations in the near (2011-2040) and far future (2041-2070) under RCP 4.5 and 8.5 RCP scenarios according to the three RCMs with respect to the present, as simulated by RF. Fonte: Deliverable C.4 Models calibrated and validated June, 2020

### Modalità di realizzazione

Sono state identificate 37 misure di adattamento di tipo tecnico e 24 strategie politiche. Le misure di adattamento di tipo tecnico prevedono una formazione mirata agli allevatori in modo da poter migliorare la gestione delle mandrie (ad esempio tramite pascolamento turnato, pascolo in bosco, acquisto di fieno e foraggio dal fondovalle, ecc.) e il ripristino di antichi bacini/sistemi idrici per aumentare la disponibilità idrica per l'abbeveramento del bestiame in periodi di siccità. Fra quelle politiche, verrà prodotto un piano di adattamento per i due parchi alpini che faccia da riferimento per i decisori politici per incentivi e investimenti nel medio e lungo periodo.

Inoltre è prevista la creazione di aree dimostrative permanenti per dare maggiore visibilità delle strategie adottate.

### Rapporto costi/benefici

Ad eccezione degli investimenti per costruire/ripristinare infrastrutture per la raccolta dell'acqua, l'applicazione delle altre pratiche non comporta elevati costi rispetto ai benefici che se ne ottengono.

### Criticità

Necessità di monitorare la risorsa foraggiera disponibile, attuare una pianificazione sia a grande scala che sito specifica.

### Trasferibilità

Per ogni strategia identificata è stata analizzata la sua potenziale replicabilità in altri contesti pastorali alpini e montani simili a quelli delle due aree protette analizzate. La redazione di un piano di replicabilità, la realizzazione di seminari ed eventi dimostrativi garantirà la possibile trasferibilità delle strategie proposte.

## RIFERIMENTI

### Partner

Università di Firenze; Agenzia Regionale Protezione Ambiente - Valle d'Aosta (ARPA VDA); Centre national de la recherche scientifique (CNRS); Institut Agricole Régional (IAR); Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE); Parc National des Ecrins (PNE); Ente Parco Nazionale Gran Paradiso (PNGP).

### Referenti

Dott.ssa Camilla Dibari, Prof. Giovanni Argenti, Prof. Marco Bindi - Università di Firenze

### Sito web

<https://www.pastoralp.eu/>

## Descrizione

L'agricoltura è uno dei settori economici che sarà probabilmente colpito più duramente dai cambiamenti climatici, poiché dipende direttamente da fattori climatici come la temperatura, la luce solare e le precipitazioni. Nelle latitudini meridionali e più calde, come la regione mediterranea in cui sono situate le aree di attuazione del progetto ADAPT2CLIMA, si prevede che i potenziali impatti negativi sui raccolti siano superiori ai potenziali impatti positivi. È necessario un miglioramento della base di conoscenze nel campo dell'impatto dei cambiamenti climatici e della valutazione della vulnerabilità per i settori agricoli nelle aree di progetto per far sì che i processi decisionali siano basati su conoscenze solide e per sostenere la redazione e l'attuazione dei piani di adattamento.

Il progetto LIFE ADAPT2CLIMA mira a facilitare lo sviluppo di strategie di adattamento per l'agricoltura mediante la creazione di uno strumento di supporto alle decisioni innovativo.

Lo strumento ADAPT2CLIMA consentirà di simulare gli impatti dei cambiamenti climatici sulla produzione agricola e l'efficacia delle opzioni di adattamento scelte per ridurre la vulnerabilità ai cambiamenti climatici nelle tre maggiori isole del Mediterraneo: Creta, Sicilia e Cipro.

Le isole sono state selezionate per due motivi: in primo luogo, figurano tra le aree di coltivazione più importanti a livello nazionale. In secondo luogo, presentano somiglianze in termini di localizzazione (clima), dimensioni, minacce climatiche affrontate (agricoltura costiera, risorse idriche proprie), pratiche agricole e rilevanza politica.

## Localizzazione

Le due aree pilota italiane sono ubicate in provincia di Enna e di Trapani.

## Durata

01.10.2015 – 29.02.2020

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Variazione della produttività agricola.

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Adattamento ai cambiamenti climatici, Agricoltura, Piano di Azione Locale, Risorse idriche.

## Strumento di finanziamento

Il progetto è co-finanziato dal programma LIFE per l'ambiente e azione per il clima (2014-2020).

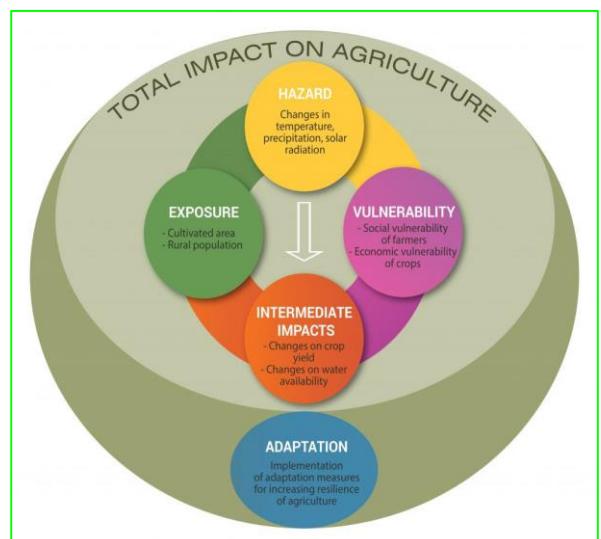


Figura 1 – Per far fronte agli impatti dei cambiamenti climatici sull'agricoltura, sono state identificate, valutate e proposte alcune misure di adattamento più appropriate, derivanti da consultazioni con le parti interessate del progetto

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## ADAPT2CLIMA - ADATTAMENTO DELL'AGRICOLTURA AGLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI NELLE Isole DEL MEDITERRANEO

### Risultati

I principali risultati ottenuti dalla valutazione del cambiamento climatico per l'agricoltura sono stati: la previsione degli andamenti climatici futuri focalizzati sulle aree agricole delle tre isole del Mediterraneo; la valutazione della vulnerabilità ai cambiamenti del clima delle aree rurali pilota; lo sviluppo, l'implementazione e l'applicazione di uno strumento di supporto alle decisioni (ADAPT2CLIMA tool) destinato alla pianificazione di strategie di adattamento per l'agricoltura; lo sviluppo di strategie di adattamento ai cambiamenti del clima futuro nei casi studio del progetto; le campagne di sensibilizzazione per aumentare la conoscenza e la consapevolezza degli attori locali sulle tematiche relative all'agricoltura e ai cambiamenti climatici.

### Modalità di realizzazione

ADAPT2CLIMA ha avviato delle attività di networking al fine di permettere la condivisione di esperienze e conoscenze sulla tematiche che riguardano i cambiamenti climatici e l'agricoltura ed al fine di esplorare le possibilità di collaborazioni future.

### Rapporto costi/benefici

Non è disponibile l'analisi costi/benefici.

### Criticità

Non sono state rilevate particolari criticità nelle fasi di elaborazione e realizzazione del progetto.

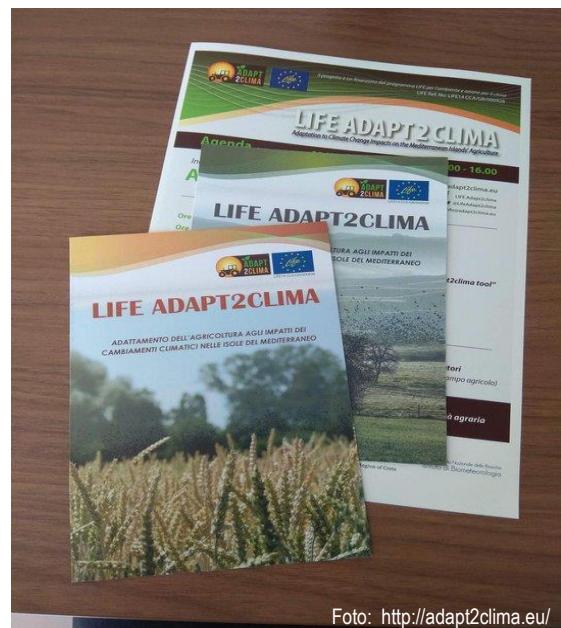


Foto: <http://adapt2clima.eu/>

### Trasferibilità

Lo strumento di supporto decisionale di ADAPT2CLIMA è attualmente applicato a Cipro, Creta (Grecia) e in Sicilia (Italia) ma può essere utilizzato da tutti coloro che desiderano sviluppare una strategia di adattamento regionale per il settore agricolo dell'Italia, della Grecia e di Cipro, attraverso la configurazione "applica lo strumento alla tua area".

### RIFERIMENTI

#### Partner

National Observatory Institute di Atene (coordinatore), National Technical University of Athens, Regione di Creta (Grecia); Agricultural Research Institute di Cipro; IBIMET Istituto di Biometeorologia del CNR (Italia).

#### Referente

Maria Gabriella Matranga - Regione Sicilia

#### Sito web

<http://adapt2clima.eu/en/>

## Descrizione

Climefish, progetto della durata di 4 anni coordinato dall'Università di Tromsø (Norvegia), ha avuto come principale obiettivo la valutazione dell'effetto dei cambiamenti climatici sulla pesca e l'acquacoltura, in modo da assicurare un incremento della produzione ittica nelle zone dove esiste un potenziale di crescita sostenibile e minimizzare i rischi per compatti dove è atteso un effetto negativo. ClimeFish si è occupato di 3 diversi settori produttivi, ovvero la pesca in mare e in acque dolci e l'acquacoltura, attraverso l'approfondimento di 16 casi di studio, tra cui tre in Italia: la pesca nel lago di Garda, la pesca in Nord Adriatico e la molluscoltura in Nord Adriatico. Per tutti i casi di studio sono stati applicati modelli previsionali per costruire scenari di cambiamento, a partire dai più avanzati strumenti disponibili in letteratura o sviluppando nuovi modelli ecologici dove necessario. In alcuni casi selezionati è stata sviluppata un'analisi socio-economica mirata ad evidenziare i rischi e le opportunità determinati dalle modifiche ambientali in atto. Questo ha permesso di sviluppare linee guida caso-specifiche, che rappresentano importanti strumenti a disposizione dei responsabili della gestione delle risorse sul territorio, utili per implementare una strategia di gestione adattativa dei problemi posti dai cambiamenti climatici. Uno degli elementi innovativi del progetto è rappresentato dal fatto che i risultati sono condivisi sin dalle fasi preliminari con tutti i portatori di interesse dei diversi casi di studio, attraverso l'approccio di co-creazione dei prodotti, in modo che i risultati dei modelli ecologici, le proiezioni incluse negli scenari e le linee guida rispecchino un punto di vista condiviso tra tutti i soggetti interessati.

## Localizzazione

Bacino alto Adriatico e lago di Garda.



## Durata

01.04.2016 - 01.03.2020

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Modifica della composizione delle comunità ecologiche acquatiche.

## Tipologia azione

Green

## Parole chiave

Pesca, acquacoltura, co-creazione, gestione adattativa, cambiamenti climatici

## Strumento di finanziamento

HORIZON 2020



Fonte: <https://climefish.eu/>

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## CLIMEFISH - CO-CREATING A DECISION SUPPORT FRAMEWORK TO ENSURE SUSTAINABLE FISH PRODUCTION IN EUROPE UNDER CLIMATE CHANGE

### Risultati

Climefish ha prodotto valutazioni della possibile evoluzione dei settori di produzioni ittiche in casi distribuiti dal Mediterraneo ai laghi artici del Nord della Norvegia, coprendo un ampio spettro di specie di tipi di ecosistemi, tenendo conto degli scenari RCP 4.5 e 8.5 dell'IPCC e di possibili alternative gestionali riguardo allo sfruttamento delle risorse. Lo sviluppo dei casi di studio ha evidenziato settori per cui l'aumento di temperatura potrebbe portare ad un aumento delle produzioni, ma anche casi dove già a medio termine saranno registrate delle sostanziali riduzioni delle produttività. In entrambi i casi è stato evidenziato come la gestione dello sfruttamento debba essere progettata per minimizzare i rischi o gli impatti e massimizzare il potenziale produttivo. L'interazione con i portatori di interesse ha permesso di sviluppare linee guida sito-specifiche ed in alcuni casi selezionati sono stati messi a punto sistemi di supporto alle decisioni (*Decision Support Framework*) disponibili <http://136.144.228.39:8080/climefish/decision-support-framework> e mantenute anche dopo la fine del progetto. L'esperienza maturata a scala europea ha anche permesso di sviluppare linee guida generali all'adattamento ai cambiamenti climatici (<https://climefish.eu/cwa/>).

### Modalità di realizzazione

L'ampio consorzio costituito per il progetto ha offerto la possibilità di scambiare informazioni ed esperienza ad una scala pan-europea, con notevoli vantaggi operativi. Anche l'attività di sensibilizzazione degli stakeholders ha prodotto risultati interessanti, consentendo un'attività di formazione rivelatasi propedeutica agli incontri di scambio e di co creazione dei possibili interventi.

### Rapporto costi/benefici

Il progetto ha consentito di effettuare una serie di attività per evidenziare eventuali gap conoscitivi e sensibilizzare gli stakeholders in merito ai rischi legati agli effetti dei cambiamenti climatici. La valutazione del rapporto costi/benefici è quindi del tutto positiva,

### Criticità

Uno degli elementi principali di criticità è legato alla possibilità di effettuare un downscaling dei modelli climatici globali alla scala spaziale richiesta per questo tipo di interventi progettuali, con un sufficiente livello di confidenza.

### Trasferibilità

Tutti i risultati ottenuti sono trasferibili ad altre realtà simili, sia in termini di approccio (modellistica utilizzata, coinvolgimento degli stakeholders nella messa a punto delle strategie di adattamento). Inoltre, i risultati ottenuti possono offrire indicazioni sui possibili effetti dei cambiamenti climatici in altre zone con caratteristiche ambientali simili, oltre che essere viste come casi sentinella per ecosistemi a maggiori latitudini.

## RIFERIMENTI

### Partner

Artic University of Tromso (coordinatore) (Norvegia), Università Cà Foscari di Venezia (Italia), Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO), International Council for the Exploration of The Sea, Sp/F Syntesa (Isole Faeroe), Federation Europeenne des Producteurs Aquacoles (Francia), Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (Germania), Biologicke Centrum AV CR, V. V. I. (Repubblica Ceca), Hellenic Centre for Marine Research (Grecia), Nemzeti Agrarkutatasi es Innovacios Kozpont (Ungheria), Matis Ohf (Islanda), Havforskningsinstituttet (Norvegia), Nofima As (Norvegia), Centro Tecnologico del Mar - Fundacion Cetmar (Spagna), Agencia Estatal Consejo Superior Deinvestigaciones Cientificas (Spagna), Stockholms Universitet (Svezia), The University Of Aberdeen (Regno Unito), The University of Stirling (Regno Unito), Truong Dai Hoc Nha Trang (Vietnam), Memorial University of Newfoundland (Canada), Avs Chile Sociedad Anonima (Cile).

### Referente

Fabio Pranovi - UO UNIVE

### Sito web

<https://climefish.eu/>

## Descrizione

Il progetto europeo UrbanProof ha l'obiettivo di aumentare la resilienza dei Comuni ai cambiamenti climatici dotandoli di un strumento web (toolkit) per la pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici. Partendo dalle esperienze già in corso l'Amministrazione comunale di Reggio Emilia, partner del progetto, ha sviluppato un sistema integrato di azioni e strategie per promuovere una reale economia della resilienza, in cui il sistema urbano non si limiti solo ad adeguarsi ai cambiamenti, ma sia in grado di dare risposte che permettano di affrontare al meglio i cambiamenti in corso. Tramite l'applicazione di specifici modelli, è stata realizzata la previsione dei futuri cambiamenti climatici e lo studio del loro impatto a livello locale, abbinato all'analisi delle vulnerabilità (in particolare relativamente agli allagamenti/inondazioni, ondate di calore...). Tutti i dati e le analisi effettuate sono stati raccolti anche all'interno del toolkit web di supporto alla pianificazione che fornisce mappe per esplorare il clima attuale e gli scenari futuri, mappe delle vulnerabilità locali-impatti, opzioni di adattamento relative ai singoli impatti. Il processo ha previsto il coinvolgimento di numerosi Servizi interni al Comune e diversi stakeholder locali. Inoltre all'interno del progetto è ampiamente valorizzato anche il ruolo del verde pubblico e sono state implementate alcune misure locali di adattamento "green" e "soft" su piccola scala come azioni dimostrative. Sono inoltre stati realizzati dal Comune di Reggio Emilia alcuni studi scientifici di supporto al progetto: 1) un boschetto sperimentale per studiare le specie più idonee a contrastare le isole di calore urbane, in collaborazione con l'Università di Modena e Reggio Emilia b) uno studio sugli effetti benefici dei parchi sul microclima e sulle concentrazioni di ozono e altri inquinanti, in collaborazione con Arpae Emilia Romagna. Nell'ambito del progetto è stata redatta la Strategia di Adattamento ai cambiamenti climatici di Reggio Emilia (in collaborazione con il Gruppo di ricerca "Planning Climate Change LAB" dell'Università Iuav di Venezia) che definisce la risposta coerente e lungimirante alle problematiche che andranno interessare il territorio a causa dei cambiamenti climatici già in essere e attesi in futuro, gestendo i rischi ad essi collegati e cercando di sfruttarne le opportunità. Il documento individua una vision a cui tendere, obiettivi strategici e obiettivi specifici, misure "tipo" e azioni che potrebbero essere implementate a livello locale. Inoltre, sono state individuate due aree target nelle quali sono stati declinati concretamente a titolo esemplificativo le misure "tipo".

## Localizzazione

Comune di Reggio Emilia.

## Durata

01.10.2016 - 30.04.2021

## Impatti su cui agisce l'azione settoriale

Incremento della morbilità, della mortalità in relazione alle ondate di calore; Variazione della risorsa idrica; Aumento del rischio idraulico e dei danni ad esso legati; Modifica dei consumi energetici.

## Tipologia azione

Green; Soft

## Parole chiave

Clima, Energia, Pianificazione urbana e territoriale, Qualità della vita, Risparmio di acqua, Salute, Verde urbano.

## Strumento di finanziamento

LIFE



Fonte: <http://urbanproof.eu/it>

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## URBANPROOF – CLIMATE PROOFING URBAN MUNICIPALITIES

### Risultati

Il progetto UrbanProof ha sviluppato e messo a disposizione il toolkit URBANPROOF (<https://tool.urbanproof.eu/it/welcome-2/>), un sistema di supporto decisionale volto a consentire che la pianificazione dell'adattamento ai cambiamenti climatici segua un processo maggiormente informato. Le diverse funzioni e caratteristiche del toolkit guidano l'utente e gli consentono di: (I) ottenere informazioni relative agli impatti dei cambiamenti climatici sull'ambiente urbano; (II) esplorare e valutare diverse opzioni di adattamento disponibili; (III) studiare l'effetto che hanno gli interventi di adattamento (misure) sulla resilienza urbana. Il Progetto ha portato anche alla redazione della Strategia di Adattamento del Comune di Reggio Emilia.

### Modalità di realizzazione

Il progetto UrbanProof è stato realizzato nell'ambito dei programmi LIFE dell'Unione Europea, attraverso un lungo processo di studi ed analisi durato circa 5 anni in collaborazione con i partner scientifici, che ha portato alla redazione delle Strategie di Adattamento delle 4 città partner e alla predisposizione del toolkit.

### Rapporto costi/benefici

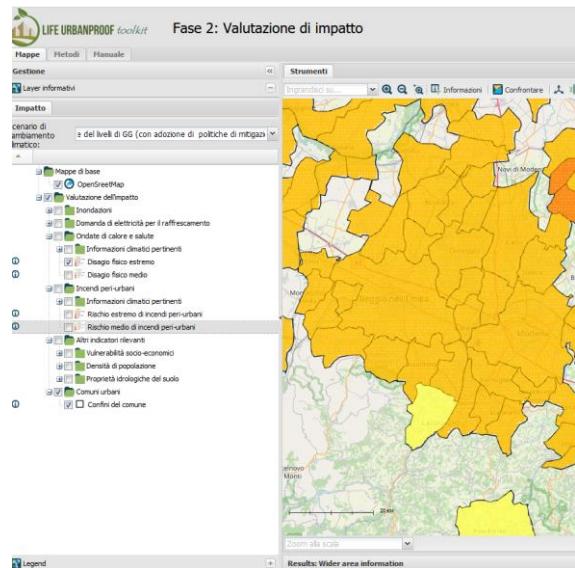
Questo strumento si configura come un ottimo alleato per la pianificazione territoriale-urbana delle città, e fornisce la possibilità di testare in anticipo qualità, quantità ed efficacia delle azioni fisiche di adattamento, offrendo inoltre il supporto di base per azioni di monitoraggio delle azioni sia in termini qualitativi che quantitativi. Dal punto di vista del bilancio costi/benefici, la programmazione europea ha mostrato ancora una volta come possa essere un accelerante per le progettualità locali in termini di tempistiche e obiettivi raggiunti.

### Criticità

Il progetto ha richiesto una complessa analisi di numerosissimi dati climatici e spaziali relativi alle variazioni climatiche e vulnerabilità.

### Trasferibilità

La trasferibilità del progetto Urbanproof è garantita dal toolkit che contiene numerosi elementi informativi utili per la maggior parte delle città italiane, greche e cipriota che possono quindi utilizzarlo per facilitare il processo di reazione delle proprie strategie di adattamento.



Fonte: <http://urbanproof.eu/it>

### RIFERIMENTI

#### Partner:

Ministero dell'Ambiente di Cipro (capofila), Università IUAV di Venezia, Comune di Reggio Emilia, Municipalità di Lakatamia e di Strovolos (Nicosia - Cipro), Osservatorio Nazionale, Università Tecnica Nazionale e Municipalità di Peristeri (Atene - Grecia).

#### Referenti:

Susanna Ferrari Bergomi; Elisia Nardini (Comune di Reggio Emilia); Prof. Francesco Musco, Dott. Federica Appiotti, Arch. Giacomo Magnabosco (Università Iuav di Venezia).

#### Sito web

<http://urbanproof.eu/it>  
[www.comune.re.it/cambiamenti climatici](http://www.comune.re.it/cambiamenti climatici)

## Descrizione

I disastri e le catastrofi naturali pongono rischi non solo per la conservazione dei beni del patrimonio culturale con i suoi valori culturali, storici e artistici, ma anche per la sicurezza dei visitatori, del personale e delle comunità locali. Inoltre, provocano indubbiamente conseguenze negative per le economie locali.

L'obiettivo prioritario di ProteCHt2save è rafforzare la resilienza del patrimonio culturale nei confronti di eventi estremi correlati ai cambiamenti climatici attraverso la realizzazione di strumenti utili ai gestori del patrimonio e alle autorità delle comunità locali per predisporre misure di preparazione e piani di emergenza.

Obiettivi specifici del progetto sono: la definizione di aree a rischio per una migliore protezione e un uso sostenibile del patrimonio culturale nell'Europa centrale suscettibile di catastrofi e di impatti sul cambiamento climatico; la determinazione degli elementi critici per la vulnerabilità del patrimonio culturale nel processo di resilienza e gestione dei rischi; la creazione di buone pratiche transnazionali e di strategie comuni per l'uso sostenibile e la protezione del patrimonio culturale da integrare in piani d'azione coordinati di adattamento ai cambiamenti climatici e gestione del rischio.

## Localizzazione

Comune di Ferrara (IT), Distretto di Bielsko-Biala (PL), Municipalità di Kocevje (SL), Città di Kastela (CR), Distretto Municipale di Troja-Praga (CZ), Krems-Melk (AT), Città di Pecs (HU).

## Durata

01.07.2017 - 30.06.2020

## Impatto su cui agisce l'azione settoriale

Aumento dei danni alle infrastrutture e dei disservizi a causa di un evento meteorologico estremo/mareggiate o di una conseguenza (frane/alluvioni).

Aumento del rischio idrogeologico e dei danni ad esso legati.

Perdita di materiale e processi di corrosione e annerimento.

Aumento del rischio di incendio.

## Tipologia azione

Soft

## Parole chiave

Rischi, eventi estremi, emergenza, preparazione, cambiamento climatico, patrimonio culturale.

## Strumento di finanziamento

INTERREG

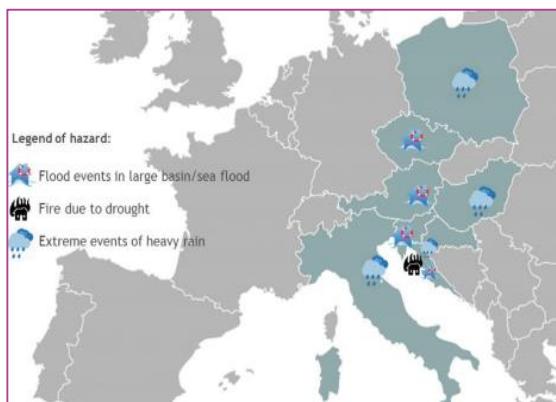


Figura 1 – Aree pilota ProteCHt2save



Foto: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCHt2save>

# MONITORAGGIO DELL'ATTUAZIONE

## PROTECHT2SAVE – RISK ASSESSMENT AND SUSTAINABLE PROTECTION OF CULTURAL HERITAGE IN CHANGING ENVIRONMENT

### Risultati

ProteCHt2save fornirà soluzioni ICT (inventario e mappe basati sul web) e strumenti (strumento di supporto decisionale, manuale delle migliori pratiche, manuale sulle procedure di salvataggio transnazionali) per la gestione del rischio e la protezione del patrimonio culturale nell'Europa centrale. Le azioni pilota metteranno alla prova l'approccio e gli strumenti in aree a rischio e aree con vulnerabilità del patrimonio culturale per migliorare i piani e le politiche di gestione del rischio di catastrofi esistenti nei comuni.

### Modalità di realizzazione

Nell'ambito del progetto sono state organizzate 4 conferenze internazionali con coinvolgimento di partner di progetti H2020 e Interreg. Inoltre sono state organizzate 3 International Summer School (ENVIMAT/Cultural Property Protection) e 23 local focus group per il coinvolgimento di diversi target di stakeholder (comunità scientifica, cittadinanza, autorità pubbliche, enti preposti alla gestione dell'emergenza e alla gestione del patrimonio culturale). E' stato sviluppato un videogioco per la sensibilizzazione della cittadinanza nei confronti dell'impatto degli eventi estremi legati al cambiamento climatico sul patrimonio culturale e altri prodotti informativi.

### Rapporto costi/benefici

Positivo, testimoniato dalla firma di un MoU fra le municipalità coinvolte nel progetto con il quale si impegnano ad adottare nei piani di gestione del rischio e di adattamento ai cambiamenti climatici le strategie messe a punto e testate nell'ambito dell'implementazione del progetto.

### Criticità

A causa dell'emergenza COVID vi è stata una riprogrammazione delle attività di progetto da Febbraio a Giugno 2020 prevalentemente relative alla formazione e disseminazione (tutte le attività sono state svolte on line).

### Trasferibilità

Tra gli elementi replicabili del progetto: lo Strumento Web GIS per la mappatura del rischio, lo strumento di supporto alle decisioni, le strategie di preparazione ed evacuazione in emergenza (vedi descrizione risultati).



### RIFERIMENTI

#### Partner

Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC) – CNR (IT); Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Czech Academy of Sciences (CZ); University for Continuing Education Krems Danube University Krems (AT); Bielsko – Biala District (PL); Regional Development Agency Bielsko-Biala (PL); Municipality of Ferrara (IT); Municipal District Praha – Troja (CZ); City of Kastela (CR); Municipality of Kocevje (SL).

#### Referente

Alessandra Bonazza – CNR ISAC

Sito web: <https://www.interreg-central.eu/Content.Node/ProteCHt2save.html>

## 8. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

Nella Tabella 7 è riportato il quadro sinottico degli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici e dei casi pilota regionali illustrati nel presente Rapporto, per ciascuno dei quali vengono indicate le icone di sintesi riferite sia allo scenario futuro che al trend.

Come già detto in precedenza i differenti indicatori presentano caratteristiche eterogenee in termini di dati di base, consistenza e lunghezza delle serie storiche nonché di metodologie utilizzate per la stima e la valutazione dei trend: ciò significa che allo stato attuale non è possibile mettere a confronto indicatori nazionali con i relativi casi pilota regionali, disporre di analisi dei trend per tutti gli indicatori inclusi nel set, né sono disponibili per tutti i fenomeni analizzati valutazioni statistiche circa la significatività delle tendenze in atto.

Tutto ciò premesso, questo primo set di indicatori fornisce alcuni elementi interessanti in relazione ai fenomeni osservati:

- 6 indicatori nazionali e 15 casi pilota regionali mostrano un trend non definibile;
- 3 indicatori nazionali evidenziano un trend stabile;
- 3 indicatori nazionali con trend crescente (serie storica limitata e discontinua);
- 3 indicatori nazionali e 1 caso pilota regionale presentano un trend in variazione ma statisticamente non significativo;
- 5 indicatori nazionali e 12 casi pilota regionali mostrano un trend in variazione (crescente o decrescente) di cui 2 indicatori nazionali e 6 casi pilota regionali con trend statisticamente significativo.

A fronte, quindi, di tendenze ancora non definibili a causa, nella maggior parte dei casi, della limitatezza o incompletezza delle serie storiche, nonché della

copertura territoriale disomogenea come, ad esempio, nel caso di *Erosione idrica del suolo* (nazionale), *Eventi franosi principali* (nazionale), *Numero annuo di portate sopra soglia* (Liguria) o, attualmente, statisticamente non significative per quanto riguarda, ad esempio, l'*Indice di runoff* (nazionale), *Internal Flow* (nazionale), *Livello delle falde acquifere* (nazionale), in alcuni casi viene rilevato un segnale statisticamente significativo di un cambiamento in atto (fenomeno in aumento o in diminuzione). Si tratta, in particolare, dei seguenti indicatori nazionali e casi pilota regionali:

- *Bilancio di massa dei ghiacciai* (nazionale)
- *Temperatura media delle catture commerciali* (nazionale);
- *Fattore R erosività media annua delle precipitazioni* (Veneto);
- *Salinità superficiale del mare* (Friuli Venezia Giulia);
- *Bilancio di massa dei ghiacciai* (Valle d'Aosta, Lombardia);
- *Stato termico del permafrost* (Valle d'Aosta, Piemonte);
- *Deficit traspirativo* (Emilia-Romagna);
- *Deficit traspirativo in ambienti naturali* (Friuli Venezia Giulia).

In questi casi, le serie storiche sufficientemente lunghe (da un minimo di 10 anni per lo *Stato termico del permafrost* fino a 60 anni per il *Deficit Traspirativo*), consentono di effettuare adeguate elaborazioni statistiche e mettere in evidenza gli eventuali segnali significativi di cambiamento in corso. È interessante evidenziare come i fenomeni osservati attraverso tali indicatori presentino una relazione causa-effetto perlopiù elevata con il cambiamento climatico, trattandosi di impatti di natura fisica che, come descritto nel paragrafo 1.3,

rappresentano l'effetto diretto della variazione climatica sull'ambiente fisico. Con tutti i segnali incontrovertibilmente negativi, è l'ambiente alpino il settore a destare le maggiori preoccupazioni con evidenti tendenze alla contrazione degli apparati glaciali sia a livello nazionale che regionale e al riscaldamento, e conseguente degrado, del permafrost: a causa dell'effetto combinato delle elevate temperature estive e della riduzione delle precipitazioni invernali, si registra per i ghiacciai monitorati una perdita costante di massa, coerente con quanto registrato nelle Alpi ed anche a scala globale (*Bilancio di massa dei ghiacciai*, indicatore nazionale e caso pilota su Valle d'Aosta e Lombardia) cui si aggiunge una chiara tendenza al riscaldamento del permafrost di +0,15 °C ogni 10 anni con il rischio di una degradazione completa entro il 2040 in uno dei due siti analizzati (*Stato termico del permafrost*, Piemonte e Valle d'Aosta).

Come già anticipato nei precedenti paragrafi, fenomeni di questo tipo potranno essere contrastati attraverso misure di mitigazione finalizzate a ridurre le sorgenti di pericolo di natura climatica a partire dal contenimento delle temperature, ma solo approntando adeguate misure di adattamento sarà possibile fronteggiare le conseguenze che da tali risorse dipendono quali la ridotta disponibilità idrica, l'aumento dell'instabilità dei versanti, l'alterazione degli ecosistemi alpini, nonché i rischi per un'economia montana destinata a modificarsi irreversibilmente.

Le tendenze degli indicatori relativi a settori di rilevanza socio-economica, come nel caso della *Temperatura media delle catture commerciali* per la Pesca e del *Deficit traspirativo* per l'Agricoltura e produzione alimentare, nonché di indicatori ad essi indirettamente connessi come il *Fattore R erosività media annua delle precipitazioni*, il *Deficit traspirativo in ambienti naturali*, la *Salinità superficiale del mare*, mettono in evidenza altresì come i segnali osservati, in termini di variazione della distribuzione delle specie alieniche e aumento dei fenomeni di siccità

agricola o di stress idrico della vegetazione naturale, si stiano già manifestando rispettivamente nei nostri mari e sul nostro territorio: anch'essi rappresentano preoccupanti campanelli d'allarme per il benessere delle nostre risorse naturali nonché per l'economia del nostro Paese, chiamata a mettere in campo al più presto le misure di trasformazione necessarie a migliorarne la resilienza a shock e stress di natura climatica.

È necessario soffermarsi, infine, sugli indicatori nazionali e/o casi pilota regionali per i quali siano state riscontrate tendenze in atto (in aumento o in diminuzione) sebbene non sempre ancora statisticamente comprovate: nella maggior parte dei casi i trend rilevati sembrano già essere coerenti con quanto atteso sulla base dello scenario futuro ma sarà dalla continua osservazione dei fenomeni nel tempo, dall'analisi statistica dei dati e dalle operazioni di validazione con dati in situ, che le attuali evidenze potranno essere confermate nonché depurate dall'effetto di altri fattori e più chiaramente attribuite alle variazioni del clima in atto. I segnali che emergono, tuttavia, sembrano già delineare anche per l'Italia fattori di criticità sia per le risorse naturali che per i settori socio-economici indagati, pur tenendo presente che tali fenomeni sono la risultante della combinazione di fattori climatici e pressioni di tipo antropico di diversa entità, come ben evidenziato nelle schede impatto-indicatore:

- le variazioni annue di temperatura superficiale del mare mostrano incrementi in tutti i mari italiani, con picchi che superano il valore di 0,08 °C/anno (in prossimità della costa pugliese e lucana);
- le variazioni del livello del mare, seppur lente e non apprezzabili dall'occhio umano nel breve periodo, costituiscono fonte di preoccupazione per le conseguenze che l'innalzamento potrà avere sulle coste: gli incrementi, dell'ordine di pochi millimetri l'anno (valori medi del trend pari a circa 2,2 mm/anno con picchi nel Mare Adriatico di circa 3 mm/anno), sono continui e appaiono ad

oggi irreversibili. Particolare attenzione merita il caso di Venezia, dove è presente un fenomeno combinato di eustatismo e subsidenza, per le irreversibili conseguenze che si potrebbero avere su un patrimonio storico-culturale e architettonico unico e sull'insediamento urbano in generale: se nel lungo periodo (1872-2019) il tasso di innalzamento del livello medio del mare si attesta mediamente sui 2.53 mm/anno, esso risulta più che raddoppiato nell'ultimo periodo (1993-2019) con valori che raggiungono i 5.34 mm/anno.

- predominanza dei processi erosivi lungo la costa, con il 37% dei litorali soggetto ad erosione (periodo 2000-2007) al netto delle variazioni stagionali e ulteriori 600.000 m<sup>2</sup> di arenili persi, senza che nel decennio successivo sia stata invertita la tendenza;
- la Balia nera è la specie che mostra in media l'antropo più veloce della data di migrazione primaverile degli uccelli (1 giorno ogni 3,4 anni) seguita dal Codirossò comune (1 giorno ogni 4,8 anni);
- aumento del rischio associato ad eventi di inquinamento di breve durata nelle acque di balneazione, dovuto alla limitata capacità del sistema di depurazione di ricevere e trattare grandi quantità di acqua in caso di eventi di precipitazione intensa;
- incremento della distribuzione della microalga tossica *Ostreopsis ovata* lungo le aree marino costiere italiane dove si registra un incremento del 10% del numero di siti positivi nel periodo dal 2010 al 2018;
- aumento del rischio di mortalità estiva associata alle ondate di calore, con particolare riferimento alle grandi città dove si verifica il fenomeno dell'isola di calore urbano, come già evidenziato nel caso della città di Torino (*Mortalità estiva*);
- riduzione della capacità di produzione di energia idroelettrica, associato alle variazioni meteo-climatiche, con particolare riferimento alla fusione

delle masse glaciali e al differente regime pluviometrico;

- incremento della domanda energetica per raffrescamento nei periodi estivi, come evidenziato, ad esempio, nel caso del Piemonte dove la sommatoria dei gradi giorni di raffrescamento estivo sta aumentando con trend che nelle zone prealpine e sulle pianure è dell'ordine di 20-30°C / 10 anni o nel caso della Lombardia dove risulta chiara la correlazione tra l'andamento della temperatura e i picchi di consumo, in particolare negli anni in cui la temperatura media è risultata maggiore di 26°C.
- diminuzione della domanda energetica per riscaldamento nei periodi invernali, come evidenziato nei casi del Piemonte e della Lombardia.
- il numero di eventi alluvionali e di allagamento occorsi nelle aree urbane nel periodo 2000-2018 evidenzia come circa il 50% dei capoluoghi catalogati abbia subito almeno 2 eventi particolarmente significativi in termini di danni e le città più colpite siano Genova, Catania, Milano e Roma.

Le icone relative allo scenario futuro per ciascuno degli impatti oggetto del presente Rapporto anticipano, nel loro insieme, evoluzioni sfavorevoli dei fenomeni analizzati: manifestazioni che oggi vengono solo potenzialmente associate al cambiamento climatico, potranno nel prossimo futuro essere attribuiti ad esso con un maggiore livello di confidenza. Da questo primo quadro conoscitivo emerge quindi con chiarezza la necessità che venga garantita una continua osservazione di quanto sta accadendo sul nostro territorio, attraverso il rafforzamento dei sistemi di monitoraggio, una più sistematica raccolta di dati, una più adeguata standardizzazione delle metodologie di elaborazione degli indicatori, anche al fine di renderli tra loro confrontabili alle diverse scale e replicabili in contesti differenti, come già anticipato da SNAC (MATTM, 2015) e PNACC (MATTM, 2018).

Tabella 7 – Quadro sinottico degli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici presentati nel Rapporto

SETTORE	POTENZIALE IMPATTO	SCENARIO FUTURO	INDICATORE	TREND
Ri	Modifica del ciclo idrologico		Indice di runoff (Nazionale)	Trend crescente ma non statisticamente significativo
Ri	Modifica del ciclo idrologico		Numero annuo di portate sopra soglia (Liguria)	Trend non definibile
Ri	Modifica del ciclo idrologico		Curva di durata delle portate (Liguria)	Trend non definibile
Ri	Modifica della disponibilità delle risorse idriche rinnovabili		Internal flow (Nazionale)	Trend decrescente ma non statisticamente significativo
Ri	Variazione della disponibilità di risorsa idrica sotterranea		Livello delle falde acquifere (Nazionale)	Trend crescente ma non statisticamente significativo
Ri	Variazione di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche		Percentuale di territorio sottoposto a inusuali condizioni umide o secche (Sardegna)	Trend non definibile
St	Variazione dell'erosione idrica del suolo		Erosione idrica del suolo (Nazionale)	Trend non definibile
St	Modifica di frequenza e distribuzione spaziale degli eventi franosi		Eventi franosi principali (Nazionale)	Trend non definibile
St	Variazione della capacità erosiva delle precipitazioni		Fattore R erosività media annua delle precipitazioni (Veneto)	Trend crescente statisticamente significativo
St	Variazione spazio-temporale del contenuto idrico del suolo		Umidità del suolo (Calabria)	Trend non definibile
Et	Peggioramento dello stato di conservazione degli uccelli migratori		Indice di variazione della data di migrazione primaverile (Nazionale)	Trend stabile

SETTORE	POTENZIALE IMPATTO	SCENARIO FUTURO	INDICATORE	TREND	
Et	Peggioramento delle condizioni fisiche degli uccelli durante la migrazione primaverile		Indice di consistenza degli accumuli di grasso durante la migrazione primaverile (Nazionale)		Trend stabile
Et	Modifica del ciclo vitale		Variazione dei calendari fenologici di specie vegetali (Emilia-Romagna)		Trend non definibile
Et	Aumento del rischio di siccità negli ambienti naturali		Deficit traspirativo in ambienti naturali (Friuli Venezia Giulia)		Trend crescente statisticamente significativo
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici		Temperatura superficiale del mare (Nazionale)		Trend crescente
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (scambi di calore)		Temperatura superficiale del mare (Calabria)		Trend non definibile
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (scambi di calore)		Temperatura superficiale del mare (Friuli Venezia Giulia)		Trend non definibile
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (scambi di calore)		Temperatura superficiale del mare (Liguria)		Trend non definibile
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto di acque dolci)		Salinità superficiale del mare (Calabria)		Trend non definibile
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto di acque dolci)		Salinità superficiale del mare (Friuli Venezia Giulia)		Trend decrescente statisticamente significativo

SETTORE	POTENZIALE IMPATTO	SCENARIO FUTURO	INDICATORE	TREND	
Em	Alterazione delle caratteristiche e dei processi chimico-fisici (evaporazione, apporto di acque dolci)		Salinità superficiale del mare (Liguria)		Trend non definibile
Em	Alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine		Stima della biomassa planctonica attraverso fluorescenza indotta (Clorofilla a) (Friuli Venezia Giulia)		Trend non definibile
Aa	Variazione della massa glaciale		Bilancio di massa dei ghiacciai (Nazionale)		Trend decrescente statisticamente significativo
Aa	Variazione della massa glaciale		Bilancio di massa dei ghiacciai (Valle d'Aosta, Lombardia)		Trend decrescente statisticamente significativo
Aa	Degradazione del permafrost		Stato termico del permafrost (Valle d'Aosta, Piemonte)		Trend crescente statisticamente significativo
Zc	Variazione della frequenza di condizioni di mare agitato		Frequenza di condizioni di mare agitato (Nazionale)		Trend stabile
Zc	Variazione del livello medio del mare		Livello medio del mare (Nazionale)		Trend crescente
Zc	Variazione del livello medio del mare		Livello medio del mare a Venezia (Venezia)		Trend crescente
Zc	Cambiamenti geomorfologici delle zone costiere		Variazioni geomorfologiche della costa (Nazionale)		Trend crescente (Serie storica discontinua)
Zc	Inquinamenti di breve durata nelle acque di balneazione		Numero di eventi di inquinamento di breve durata (Nazionale)		Trend crescente (Serie storica < 10 anni)
Zc	Fioriture microalgalie in acque marino-costiere		Concentrazione di Ostreopsis ovata (Nazionale)		Trend crescente (Serie storica < 10 anni)
Zc	Perdita di biodiversità dell'habitat coralligeno		Stato dell'habitat coralligeno (Sicilia)		Trend non definibile

SETTORE	POTENZIALE IMPATTO	SCENARIO FUTURO	INDICATORE	TREND	
Sa	Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Aedes albopictus</i> )		Andamento della densità media di <i>Aedes albopictus</i> (Emilia-Romagna)		Trend non definibile
Sa	Variazione della densità di zanzare di interesse sanitario ( <i>Culex Pipiens</i> )		Media regionale mensile delle zanzare <i>Culex Pipiens</i> (Emilia-Romagna)		Trend non definibile
Sa	Mortalità estiva per ondate di caldo		Mortalità estiva (Piemonte)		Trend crescente
Fo	Variazione di frequenza, intensità e potenziale degli incendi boschivi		Incendi boschivi (Nazionale)		Trend non definibile
Fo			Incendi boschivi (Lombardia)		Trend non definibile
Fo			Indice meteorologico di pericolo d'incendio (Proxy) - (Piemonte)		Trend crescente ma non statisticamente significativo
Ag	Aumento del rischio di siccità agricola		Deficit traspirativo (Emilia-Romagna)		Trend crescente statisticamente significativo
Pe	Cambiamento di areale di distribuzione di specie target della pesca		Temperatura media delle catture commerciali (Nazionale)		Trend crescente statisticamente significativo
En	Variazione della produzione di energia idroelettrica		Produzione lorda di energia idroelettrica (Nazionale)		Trend crescente
En	Modifica dei consumi energetici		Gradiente del consumo per riscaldamento di gas naturale (Nazionale)		Trend non definibile
En	Modifica dei consumi energetici		Gradi giorno di raffrescamento (Proxy) (Piemonte)		Trend crescente
En	Modifica dei consumi energetici		Gradi giorno di riscaldamento (Proxy) (Piemonte)		Trend decrescente
En	Modifica dei consumi energetici		Consumi di energia elettrica nel mese di Luglio (Lombardia)		Trend crescente

SETTORE	POTENZIALE IMPATTO	SCENARIO FUTURO	INDICATORE	TREND	
En	Modifica dei consumi energetici		Consumi di gas naturale nel settore residenziale (Lombardia)		Trend decrescente
lu	Fenomeni alluvionali e di allagamento in area urbana		Numero di eventi alluvionali e di allagamento (Nazionale)		Trend non definibile
Pc	Degrado dei materiali lapidei		Recessione superficiale (Nazionale)		Trend non definibile

## 9. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Il riscaldamento globale del Pianeta, i cambiamenti e le variazioni del clima e le loro conseguenze sono oramai una realtà incontrovertibile.

La comunità scientifica internazionale da anni indica ai governi quale strada intraprendere per prevenire il riscaldamento globale e limitarne le conseguenze sull'ambiente e sui sistemi socio-economici: ridurre le emissioni di gas climalteranti, procedendo verso la de-carbonizzazione dell'economia; allo stesso tempo, prepararsi ad affrontare gli impatti dei cambiamenti, attraverso strategie e piani di adattamento.

Gli accordi internazionali sul clima pongono grande attenzione alle iniziative di riduzione delle emissioni di gas-serra, con l'obiettivo di limitare l'innalzamento della temperatura media del pianeta entro 1,5°C, attraverso impegni alla riduzione, in primo luogo, da parte dei Paesi principali emettitori di gas serra.

Se, da una parte, si può questionare su efficacia e tempestività delle politiche di mitigazione, dall'altra gli effetti del cambiamento climatico sono già evidenti e avvertiti in molte aree del Pianeta, dove situazioni di stress sulle matrici ambientali e sugli ecosistemi naturali causano a loro volta impatti su economia, occupazione e benessere. Essi richiedono già oggi iniziative di contrasto e adattamento per migliorare la resilienza dei sistemi ambientali, economici e sociali: investire oggi, per prevenire e ridurre i danni futuri.

Per fronteggiare gli effetti dei cambiamenti climatici, l'Italia ha predisposto una Strategia e un Piano di Adattamento a livello nazionale (non ancora approvato al momento della stesura del presente Rapporto), individuando le aree di maggior criticità, obiettivi, misure e primi set di indicatori di monitoraggio. Considerato quanto sia locale la dimensione degli impatti, il *framework* di adattamento nazionale dovrà trovare corrispondenti strategie,

piani e misure di implementazione alle diverse scale di governo del territorio.

Prendendo le mosse dai documenti della Strategia e, successivamente, del Piano di Adattamento nazionali, il presente Rapporto ha esaminato i settori riconosciuti come maggiormente vulnerabili, ricostruendo, ove possibile, lo stato delle conoscenze sugli impatti attraverso la formulazione di indicatori appropriati, dei quali vengono verificati rilevanza, misurabilità, solidità scientifica e disponibilità spazio-temporale.

Il quadro che emerge mette in evidenza alcuni segnali già riconoscibili e significativi riguardo allo stato di salute dei nostri ghiacciai, dei nostri mari nonché degli ecosistemi naturali del nostro territorio, quali campanelli d'allarme per quelle che potranno essere le conseguenze anche sulla società e sull'economia italiane.

Frutto dell'azione coordinata tra ISPRA e le ARPA all'interno dell'SNPA, il Rapporto evidenzia per il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente un ruolo di sentinella degli impatti dei cambiamenti climatici, attraverso: il monitoraggio *in-situ*, da complementare con i dati di osservazione della Terra; il miglioramento della comprensione dei fenomeni in atto e la loro evoluzione futura; la collaborazione con il mondo della ricerca scientifica, per affinare modelli e previsioni. Ma anche attraverso la promozione del contributo dei cittadini in qualità di sensori ambientali, secondo il paradigma della "Citizen Science".

Oltre a proseguire il lavoro qui presentato, nell'ottica di un continuo e necessario approfondimento e aggiornamento di quanto fino ad oggi riscontrato, sarà importante ampliare il punto di osservazione anche a quegli ambiti che oggi non sono stati esaminati a causa della limitatezza dei dati disponibili: si tratta, ad esempio, di temi relativi all'impatto del cambiamento climatico su qualità della

risorsa idrica, processi di desertificazione, produttività agricola, aumento delle specie aliene/invasive, distribuzione geografica delle specie, perdita/riduzione di habitat e biodiversità, alterazione delle comunità ecologiche e delle reti trofiche marine, e sull'ampio spettro delle conseguenze sugli insediamenti urbani, ma anche a settori non inclusi nel presente Rapporto come, ad esempio, quello turistico (modifica dei flussi turistici estivi e invernali), i trasporti e le infrastrutture (danni e disservizi), l'acquacoltura (produttività, danni, qualità dei siti), le industrie e infrastrutture pericolose (incidenti e danni), che già la SNAC e il PNACC avevano annoverato tra i settori vulnerabili ai cambiamenti climatici.

Solo con un'azione costante e capillare sarà possibile fornire un adeguato supporto alla governance dell'adattamento ai vari livelli: una migliore conoscenza dei fenomeni garantirà, infatti, una più adeguata caratterizzazione delle fragilità del nostro territorio e dei settori socio-economici italiani, da cui potrà derivare una più efficace individuazione delle misure di adattamento in grado di ridurre la vulnerabilità e aumentare la resilienza al cambiamento climatico.

In questo contesto, il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza rappresenta una sfida e un'opportunità imperdibile per migliorare la “resilienza climatica” del sistema Paese, in una logica di sostenibilità ambientale.

## 10. GLOSSARIO

**Adattamento:** il processo di adeguamento al clima attuale o atteso e ai suoi effetti. Nei sistemi umani, l'adattamento cerca di limitare o evitare danni e/o sfruttare le opportunità favorevoli. In alcuni sistemi naturali, l'intervento umano può facilitare l'adattamento al clima previsto e ai suoi effetti (IPCC 2014).

**Cambiamento climatico:** un cambiamento nello stato del clima che persiste per un periodo esteso, tipicamente decenni o più, e che può essere rilevato (ad esempio usando test statistici) da cambiamenti nella media e/o nella variabilità delle sue proprietà. I cambiamenti climatici possono avere origine da processi naturali interni o da forzanti esterne, quali modulazioni dei cicli solari, eruzioni vulcaniche e cambiamenti antropogenici persistenti della composizione dell'atmosfera o di uso del suolo. L'UNFCCC (United Nation Framework Convention on Climate Change) definisce il cambiamento climatico come: "un cambiamento del clima attribuibile direttamente o indirettamente all'attività umana, che altera la composizione dell'atmosfera globale e che si aggiunge alla variabilità naturale del clima osservata in periodi di tempo comparabili". L'UNFCCC fa quindi una distinzione tra i cambiamenti climatici imputabili alle attività umane che alterano la composizione dell'atmosfera e la variabilità del clima attribuibile a cause naturali (IPCC).

**Capacità di adattamento** (agli impatti dei cambiamenti climatici): la capacità dei sistemi, delle istituzioni, degli esseri umani e degli altri organismi di adattarsi a potenziali danni, per sfruttare le opportunità, o per rispondere alle conseguenze (IPCC 2014).

**Esposizione:** la presenza di persone, specie o ecosistemi, funzioni ambientali, servizi, risorse, infrastrutture, funzioni economiche, sociali, beni

culturali in luoghi che potrebbero essere influenzati negativamente (IPCC 2014).

**Evento meteorologico estremo:** è un evento il cui verificarsi in un determinato luogo o periodo dell'anno è raro. Le definizioni della parola "raro" variano, ma un evento meteorologico estremo viene normalmente così definito se è uguale o maggiore al decimo o novantesimo percentile di una funzione di densità della probabilità stimata sulla base delle osservazioni. Le caratteristiche quindi di un estremo meteorologico possono variare da un luogo all'altro in senso assoluto. Quando un andamento meteorologico estremo persiste per un certo periodo di tempo, come per esempio una stagione, può essere classificato come evento climatico estremo, specialmente se produce una media o un valore totale che è esso stesso estremo (per esempio, siccità o intense precipitazioni nel corso di una stagione) (IPCC 2014).

**Impatti dei cambiamenti climatici:** effetti sui sistemi naturali e umani (es. effetti sulla vita, la salute, gli ecosistemi, l'economia, la società, i servizi, le infrastrutture) causati da eventi meteorologici e climatici estremi e dai cambiamenti climatici che si verificano entro un periodo di tempo specifico e vulnerabilità di una società o un sistema esposti ai cambiamenti climatici. Gli impatti sono anche indicati come conseguenze e risultati di questi effetti (IPCC 2014).

**Incertezza:** uno stato di conoscenza incompleto dovuto a carenza di informazione o al disaccordo su ciò che è conosciuto o conoscibile. Può avere molte fonti, da errori quantificabili nei dati a concetti o terminologia definiti in modo ambiguo, o a proiezioni ipotetiche del comportamento umano. L'incertezza può quindi essere rappresentata da misure quantitative (es. una funzione di densità di

probabilità, un intervallo) o da dichiarazioni qualitative (ad esempio, che riflettono il giudizio di un gruppo di esperti.) (IPCC 2014).

**Macroregione climatica omogenea:** macroregioni climaticamente omogenee, individuate per il clima di riferimento 1981-2010, tramite analisi di indicatori climatici selezionati (*proxy* dei principali impatti meteo-indotti su ambiente naturale, ambiente costruito, patrimonio culturale, sfera sociale ed economica al fine di caratterizzare il clima di riferimento del territorio nazionale), calcolati con i dati climatici E-OBS e raggruppati in cluster.

**Mitigazione dei cambiamenti climatici:** qualsiasi intervento umano che riduca le fonti di rilascio (*sources*) o rafforzi e potenzi le fonti di assorbimento (*sinks*) di gas serra (IPCC 2014).

**Modello climatico:** rappresentazione numerica del sistema climatico basato sulle proprietà fisiche, chimiche e biologiche delle sue componenti, delle loro interazioni e dei processi di feedback, tenendo conto di alcune delle sue proprietà note. Il sistema climatico può essere rappresentato da modelli di diversa complessità ossia per ciascuna componente o combinazione di componenti, possono essere identificati lo spettro o la gerarchia di modelli, che differiscono in aspetti come il numero di dimensioni spaziali, la misura in cui sono rappresentati esplicitamente i processi fisici, chimici o biologici, o il livello delle parametrizzazioni empiriche. I modelli di circolazione generale accoppiati atmosfera-oceano (AOGCM) forniscono una rappresentazione del sistema climatico che è vicino allo spettro attualmente disponibile. C'è un'evoluzione verso modelli più complessi con chimica interattiva e biologia. I modelli climatici vengono applicati come strumenti di ricerca per studiare e simulare il clima e per scopi operativi, incluse le previsioni mensili, stagionali e climatiche interannuali.

**Pericolosità:** il potenziale verificarsi di un evento fisico naturale o antropico o di un impatto fisico che può causare la perdita della vita, lesioni, o impatti sulla salute, così come danni e perdite a proprietà, infrastrutture, mezzi di sussistenza, fornitura di servizi, ecosistemi e risorse ambientali (IPCC 2014).

**Proiezioni climatiche:** una proiezione climatica è la risposta simulata del sistema climatico ad uno scenario di future emissioni o di concentrazioni di gas serra e aerosol, generalmente ricavata utilizzando i modelli climatici. Le proiezioni climatiche sono diverse dalle previsioni climatiche per la loro dipendenza dallo scenario di emissione/concentrazione/forzante radiativo utilizzato, a sua volta basato sulle ipotesi riguardanti, per esempio, i futuri sviluppi socio-economici e tecnologici che potrebbero essere realizzati o no (IPCC 2014).

**Representative Concentration Pathways (RCPs):** scenari che includono serie temporali di emissioni e concentrazioni della suite completa di gas e aerosol a effetto serra, aerosol e gas chimicamente attivi, così come l'uso e la copertura del suolo. La parola *Representative* significa che ogni RCP fornisce solo uno dei tanti possibili scenari relativi a uno specifico valore di forzante radiativo. Il termine *Pathways* sottolinea che non è importante solo il livello di concentrazione a lungo termine ma anche la traiettoria seguita per arrivare a quel risultato.

Gli RCPs generalmente si riferiscono alla porzione della traiettoria di concentrazione che si sviluppa fino al 2100, per la quale i Modelli di Valutazione Integrata (*Integrated Assessment Models*) forniscono i corrispondenti scenari di emissione. Quattro RCPs sono prodotti dai Modelli di Valutazione Integrata e usati nelle proiezioni del quinto rapporto IPCC:  
 RCP2.6: un percorso dove il forzante radiativo raggiunge l'apice approssimativamente a 3 W m<sup>-2</sup> prima del 2100 e poi si riduce;  
 RCP4.5 e RCP6.0: due percorsi intermedi di stabilizzazione in cui i forzanti radiativi sono

stabilizzati a circa 4,5 W m<sup>-2</sup> e 6,0 W m<sup>-2</sup> rispettivamente;

RCP8.5: un percorso alto in cui si raggiunge un forzante radiativo superiore a 8,5 W m<sup>-2</sup> entro il 2100 che continua a salire anche successivamente (IPCC 2014).

**Resilienza:** la capacità di un sistema sociale, economico o ambientale di far fronte a un evento pericoloso, o anomalie, rispondendo e riorganizzandosi in modo da preservare le sue funzioni essenziali, l'identità e la struttura, mantenendo tuttavia anche le capacità di adattamento, apprendimento e trasformazione.

**Rischio:** le potenziali conseguenze in cui qualcosa di valore è in gioco e dove il risultato è incerto, riconoscendo la diversità dei valori. Il rischio è spesso rappresentato come la probabilità del verificarsi di eventi o andamenti pericolosi moltiplicata per gli impatti che si avrebbero se questi eventi o andamenti si verificassero. Il rischio deriva dall'interazione di vulnerabilità, esposizione e pericolosità (IPCC 2014).

**Rischio di disastri/riduzione del rischio di disastri:** il rischio di disastri indica la probabilità di disastro in un periodo di tempo specificato (vedi disastro). Il concetto di riduzione del rischio di disastri indica un processo volto a progettare e implementare e valutare strategie, politiche e misure per migliorare la conoscenza del rischio di disastri, promuovere la riduzione del rischio e trasferire e promuovere un miglioramento continuo nella preparazione e nella risposta al rischio e in pratiche di recupero, con l'esplicito obiettivo di aumentare la sicurezza umana, il benessere, la qualità della vita e lo sviluppo sostenibile (IPCC 2014).

**Scenari climatici:** una rappresentazione plausibile e spesso semplificata del clima futuro, basato su un insieme coerente di relazioni climatologiche che è stata costruita per l'esplicito uso di indagare le

possibili conseguenze dei cambiamenti climatici di origine antropica, spesso utilizzati come input per i modelli di impatto. Le proiezioni climatiche spesso servono come materiale di base per la costruzione degli scenari climatici, ma gli scenari climatici di solito richiedono ulteriori informazioni, come il clima attuale osservato. Uno scenario di cambiamento climatico è la differenza tra uno scenario climatico e il clima attuale (IPCC 2014).

**Sensibilità:** il grado con cui un sistema o una specie è influenzato, negativamente o positivamente, dalla variabilità e dal cambiamento del clima. L'effetto può essere diretto (ad es. un cambiamento nella resa delle colture in risposta ad una variazione della temperatura) o indiretti (ad es. i danni causati da un aumento della frequenza di inondazioni costiere a causa dell'innalzamento del livello del mare) (IPCC 2014).

**Servizi ecosistemici:** processi o funzioni ecologiche dotati di un valore (monetario o non monetario) per gli individui o in generale per la società. Sono frequentemente classificati come: (i) servizi di supporto, come per esempio la produttività o il mantenimento della biodiversità; (ii) servizi di fornitura o approvvigionamento, quali cibo, fibre, pesce; (iii) servizi di regolazione, come la regolazione del clima e il sequestro o stoccaggio del carbonio, e (iv) servizi culturali, come il turismo o l'arricchimento spirituale ed estetico (IPCC 2014).

**Sistema climatico:** il sistema altamente complesso costituito da cinque componenti principali: atmosfera, idrosfera, criosfera, litosfera, biosfera, e le interazioni fra loro. Il sistema climatico evolve nel tempo sotto l'influenza di proprie dinamiche interne, e per effetto di forzanti esterni, come eruzioni vulcaniche, variabilità solare, e forzanti antropogenici come la variazione di composizione dell'atmosfera e il cambiamento di uso del suolo (IPCC 2014).

**Scenari di emissione:** una rappresentazione plausibile del futuro sviluppo delle emissioni di sostanze che sono potenzialmente attive radiativamente (ad esempio, gas serra e aerosol), sulla base di un insieme coerente e internamente consistente di assunzioni sulle forze motrici (come il cambiamento tecnologico, lo sviluppo demografico e socio-economico) e le loro relazioni fondamentali. Gli scenari di concentrazione, derivati dagli scenari di emissione, sono utilizzati come input per i modelli climatici per calcolare le proiezioni climatiche. Nel Rapporto Speciale dell'IPCC sugli Scenari di Emissione sono stati pubblicati gli scenari di emissione SRES (ad esempio, A1B, A1FI, A2, B1, B2) utilizzati come base per alcune proiezioni climatiche. I nuovi scenari di emissione per il cambiamento climatico sono stati sviluppati e sono i 4 *Representative Concentration Pathways* (RCPs) presentati nel quinto rapporto dell'IPCC (IPCC 2014).

**Variabilità climatica:** si riferisce alle variazioni di stato medio e di altre statistiche (come le deviazioni standard, il verificarsi di eventi estremi, etc.) del clima in tutte le scale spaziali e temporali oltre quelle relative ai singoli eventi meteorologici. La variabilità può essere dovuta a processi naturali interni al sistema climatico (variabilità interna), o a variazioni dei forzanti esterni naturali o antropogenici (variabilità esterna) (IPCC 2014).

**Vulnerabilità:** la propensione o la predisposizione degli elementi esposti a essere influenzati negativamente. Il termine comprende una varietà di concetti ed elementi, tra cui la sensibilità o suscettibilità al danno e la mancanza di capacità di far fronte e di adattarsi (IPCC 2014).

## 11. BIBLIOGRAFIA GENERALE

Castellari S., Venturini S., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriacò M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (a cura di.) (2014a). *Rapporto sullo stato delle conoscenze scientifiche su impatti, vulnerabilità ed adattamento ai cambiamenti climatici in Italia*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Castellari S., Venturini S., Pozzo B., Tellarini G., Giordano F. (2014b). *Analisi della normativa comunitaria e nazionale rilevante per gli impatti, la vulnerabilità e l'adattamento ai cambiamenti climatici*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

Castellari S., Venturini S., Giordano F., Ballarin Denti A., Bigano A., Bindi M., Bosello F., Carrera L., Chiriacò M.V., Danovaro R., Desiato F., Filpa A., Fusani S., Gatto M., Gaudioso D., Giovanardi O., Giupponi C., Gualdi S., Guzzetti F., Lapi M., Luise A., Marino G., Mysiak J., Montanari A., Pasella D., Pierantonelli L., Ricchiuti A., Rudari R., Sabbioni C., Sciortino M., Sinisi L., Valentini R., Viaroli P., Vurro M., Zavatarelli M. (2014c). *Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Roma.

COM(2019) 640 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *The European Green Deal*.

COM(2021) 82 final. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, *Forging a climate-resilient Europe – the new EU Strategy on Adaptation to Climate Change*.

Consiglio Europeo, 2019. *Riunione del Consiglio europeo (12 dicembre 2019) – Conclusioni Green Deal*.

Consiglio dell'Unione Europea, 2007. Consiglio Europeo di Bruxelles 8-9 marzo 2007 – Conclusioni delle Presidenza.

Cremonese E., Carlson B., Filippa G., Pogliotti P., Alvarez I., Fosson JP., Ravanel L. & Delestrade A. *AdaPT Mont-Blanc Rapport Climat: Cambiamenti climatici nell'area del Monte Bianco e impatti sulle attività umane*. Redatto nell'ambito del progetto AdaPT Mont-Blanc finanziato dal programma europeo di cooperazione territoriale Alcotra Italia-Francia 2014-2020. Novembre, 2019, 101 p.

EEA, 2012. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012. An indicator-based report*. EEA Report 12/2012.

EEA, 2015. *National monitoring, reporting and evaluation of climate change adaptation in Europe*. EEA Report 20/2015.

EEA, 2017. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report*. EEA Report 1/2017.

EEA, 2020. *Monitoring and evaluation of national adaptation policies throughout the policy cycle*. EEA Report 6/2020.

EU, 2020. *The EU climate and energy package*.

EURAC Research, 2018. *Rapporto sul clima – Alto Adige 2018*.

EURAC Research, 2020. *Studio propedeutico alla definizione della Strategia regionale di adattamento ai cambiamenti climatici della Valle d'Aosta*.

Fuso Nerini F., Sovacool B., Hughes N., Cozzi L., Cosgrave E., Howells M., Tavoni M., Tomei J., Zerriffi H., & Milligan B., 2019. *Connecting climate action with other Sustainable Development Goals*. In *Nature Sustainability* (Vol. 2, Issue 8, pp. 674–680). Nature Publishing Group.

Füssel H.-M., Marx A., Hildén M., Bastrup-Birk A., Louwagie G., Wugt-Larsen F., & Suk J., 2017. *Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016*.

Giordano F., Sebbio C., Antolini G., Botarelli L., Flapp F., Bonati V., Onorato L., Loglisci N., Priod G., Pelosini R., Motroni A., Morra di Cella U., 2018. *Criteri per la definizione di indicatori prioritari di impatto dei cambiamenti climatici: verso un set a livello nazionale*. Ingegneria dell'Ambiente, Vol. 5 n. 3/2018.

Giordano F., Barbieri L., Freixo Santos T., Bono L., Ballarin Denti A., Lapi M., Cozzi L., Pregnolato M., Oliveri S., Marras S., Maragno D., Magni F., Musco F., Satta G., Congiu A., Arras F., 2018. *Linee Guida, principi e procedure standardizzate per l'analisi climatica e la valutazione della vulnerabilità a livello regionale e locale*. Progetto LIFE MASTER ADAPT.

GIZ e EURAC Research, 2017. *Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook*.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC, 2018. *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)].

IPCC, 2019. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)].

ISPRA, 2015. *Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*. Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 58/2015.

ISPRA, 2020. *Gli indicatori del clima in Italia*. Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 94/2020.

ISPRA (anni vari). *Annuario dei dati ambientali*.

ISPRA, 2021. *Annuario in cifre. Annuario dei dati ambientali 2020. Rapporto ISPRA/Stato dell'Ambiente 95/2021.*

MATTM, 2015. *Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.*

MATTM, 2018. *Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.* Versione di Giugno 2018.

MATTM, 2020. *Metodologie per la definizione di strategie e piani regionali di adattamento ai cambiamenti climatici.* Progetto CRelAMO PA - Competenze e reti per l'integrazione ambientale e per il miglioramento delle organizzazioni della PA, Linea 5 – Rafforzamento della capacità amministrativa per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

MATTM, 2020. *L'adattamento ai Cambiamenti Climatici in Italia - Report sul quadro di attivazione delle regioni e degli enti locali.* Progetto CRelAMO PA - Competenze e reti per l'integrazione ambientale e per il miglioramento delle organizzazioni della PA, Linea 5 – Rafforzamento della capacità amministrativa per l'adattamento ai cambiamenti climatici.

MiSE, MATTM, MIT, 2019. *Piano Nazionale integrato per l'Energia e il Clima.*

MATTM, MiSE, MIT, Mipaaf, 2021. *Strategia Italiana di lungo termine sulla riduzione delle emissioni dei gas a effetto serra.*

Regione Abruzzo, 2018. *Linee guida per la Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici.*

Regione Autonoma del Friuli Venezia Giulia e ARPA Friuli Venezia Giulia, 2018. *Studio conoscitivo dei cambiamenti climatici e di alcuni loro impatti in Friuli Venezia Giulia (Primo Report, marzo 2018).*

Regione Autonoma della Sardegna, 2019. *Linee guida per la redazione delle strategie regionali per l'adattamento.* Progetto LIFE MASTER-ADAPT.

Regione Piemonte, 2020. Documento di indirizzo *Verso la Strategia regionale sul Cambiamento Climatico finalità, obiettivi e struttura.*

Regione Puglia, 2020. Deliberazione della Giunta regionale, 17 settembre 2020, n. 1575. *Avvio del processo di definizione della Strategia Regionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici della Regione Puglia (SRACC).*

Santo Padre Francesco. *Laudato si'. Lettera Enciclica sulla cura della casa comune,* LEV, Città del Vaticano 2015, pp. 232.

SNPA, 2018. Sistema Nazionale per la Protezione Ambientale, 2018. *Introduzione agli indicatori di impatto dei cambiamenti climatici: concetti chiave, indicatori candidati e criteri per la definizione degli indicatori prioritari.* SNPA, Manuali e Linee Guida 12/2018.

Spano D., Mereu V., Bacciu V., Marras S., Trabucco A., Adinolfi M., Barbato G., Bosello F., Breil M., Coppini G., Essenfelder A., Galluccio G., Lovato T., Marzi S., Masina S., Mercogliano P., Mysiak J., Noce S., Pal J., Reder A., Rianna G., Rizzo A., Santini M., Sini E., Staccione A., Villani V., Zavatarelli M., 2020. *"Analisi del rischio. I cambiamenti climatici in Italia".* DOI: 10.25424/CMCC/ANALISI\_DEL\_RISCHIO.

UN, 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change.*

UN, 1997. *United Nations Framework Convention on Climate Change - Kyoto Protocol.*

UN, 2015a. *Paris Agreement.*

UN, 2015b. *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.*

Unione Europea e Stati Membri, 2015. *Intended Nationally Determined Contribution of the EU and its Member States.*

WMO - World Meteorological Organization, 2019. *The Global Climate in 2015–2019.*

