

Historical GIS e metodologie digitali per una storia della copertura boschiva

Vincenzo Colaprice¹

¹ Università degli Studi di Torino, Italia – v.colaprice1@gmail.com

ABSTRACT (ITALIANO)

La recente approvazione del Nature Restoration Law ha risollevato il dibattito sulle strategie da adottare per il ripristino degli ecosistemi. Tra gli strumenti di ricerca applicata prospettati si aprono spazi anche per gli Historical GIS, intesi come geodataset di fonti storiche utili alla ricostruzione delle trasformazioni dei paesaggi anche per orientare l'intervento dei decisori pubblici. Ai fini di valutare questa prospettiva, questo contributo si concentra sul caso studio della Liguria, regione italiana con il più alto indice di boscosità, dove il progressivo spopolamento e l'abbandono delle pratiche locali hanno determinato un'espansione boschiva significativa, spesso non priva di criticità. Ricorrendo all'analisi storico-regressiva e a metodologie comparative, è stato sviluppato un sistema informativo geografico in grado di rappresentare e analizzare l'evoluzione della copertura boschiva nell'area appenninica compresa tra la Val Trebbia e la Val d'Aveto tra XIX e XXI secolo. Parte del progetto PRIN 2022 "Bridging geography and history of woodlands", il lavoro offre spunti interdisciplinari per riflettere sulle sfide metodologiche rappresentate dalla gestione dei dati geo-storici e per rispondere alle sollecitazioni provenienti dal dibattito pubblico, proponendo un modello esportabile in contesti analoghi.

Parole chiave: Historical GIS; Liguria; boschi; cartografia; Nature Restoration Law

ABSTRACT (ENGLISH)

Historical GIS and digital methodologies for a history of forest cover. The recent approval of the Nature Restoration Law has reignited debates on strategies for ecosystem restoration. Among the proposed tools for applied research, Historical GIS offers potential as a geodataset of historical sources that can reconstruct landscape transformations and guide public policy interventions. To evaluate this perspective, this study focuses on Liguria, the Italian region with the highest forest cover index, where progressive depopulation and the abandonment of traditional practices have led to significant forest expansion, often accompanied by critical issues. Using a historical-regressive analysis and comparative methodologies, a Geographic Information System has been developed to represent and analyze the evolution of forest cover in the Apennine area between Trebbia and Aveto Valleys from the 19th to the 21st century. As part of the PRIN 2022 project "Bridging Geography and History of Woodlands", this work offers interdisciplinary insights into the methodological challenges of managing geo-historical data. It also responds to public debate by proposing a scalable model applicable to similar contexts.

Keywords: Historical GIS; Liguria; woodlands; cartography; Nature Restoration Law

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, il dibattito pubblico sorto attorno alla crisi climatica ha reso centrale la riflessione sulla gestione delle risorse ambientali, spingendo le istituzioni ad individuare provvedimenti destinati a sostenere nuove forme di gestione sostenibile degli ecosistemi a rischio. L'ultimo, in ordine di tempo, è stato adottato nel giugno 2024 dal Parlamento e dal Consiglio dell'Unione Europea, ovvero il Nature Restoration Law (NRL)¹. Il provvedimento si presenta come un regolamento che vincola gli Stati Membri «a riportare la natura e gli ecosistemi a un buono stato di conservazione». Gli interventi previsti mirano a ripristinare entro il 2030 almeno il 20% degli ecosistemi degradati in aree terrestri e marine e la restante parte entro il 2050.

L'attuazione di questo regolamento avrà nei prossimi anni un'influenza diretta sulle politiche definite da ciascuno Stato e dalle istituzioni locali. Il carattere di questo "ripristino della natura" è da intendersi come «un miglioramento [degli habitat] da attuare secondo specifici criteri valutati come efficaci in termini di sostenibilità» (Gabellieri, 2024: 73). In merito alla definizione di questi criteri il NRL indica agli Stati Membri dell'Unione Europea la necessità di predisporre «piani nazionali di ripristino dettagliati sulla base delle migliori evidenze scientifiche disponibili» (art. 65). Non a caso, il regolamento prevede l'esecuzione di attività di mappatura utili a individuare le aree in cui intervenire, accompagnate da un'analisi diacronica

¹ Testo integrale del Nature Restoration Law disponibile al sito: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/IT/TXT/?uri=CELEX:32024R1991>. Ultimo accesso: 21 gennaio 2025.

che possa orientare i piani nazionali «al fine di evitare conseguenze indesiderate» e favorire il controllo e la previsione di catastrofi naturali (art. 65 e 68).

Di fatto, seppur evitando di esplicitare un collegamento diretto con il raggiungimento degli obiettivi previsti dal regolamento, il NRL conferisce una certa rilevanza agli studi scientifici in relazione ad alcuni ambiti d'intervento, sollecitando l'adozione di alcune metodologie di ricerca e l'implementazione di tecnologie digitali, con particolare attenzione ai sistemi informativi geografici quali strumento di condivisione di dati con la programmazione ambientale. Inoltre, se l'apertura alla dimensione storica degli ecosistemi appare ancora ridotta (Gabellieri, 2024), questa è richiamata in alcuni passaggi del NRL in cui si riconosce che «registri documentati sulla distribuzione e sulla superficie storica [...] dovrebbero servire da base per la determinazione delle superfici di riferimento favorevoli per tipi di habitat» (art. 65).

La necessità di mappare le aree di intervento e sviluppare un'analisi su scala diacronica apre la strada all'impiego degli Historical GIS, i quali consentono di rispondere a queste esigenze attraverso il dialogo interdisciplinare e puntando a influenzare i processi decisionali (Grava et al., 2020). L'utilizzo degli Historical GIS può rispondere alle sollecitazioni avanzate dal NRL (Gabellieri, 2024: 75) ed è da tempo attestato tra gli strumenti utili a ricostruire le dinamiche evolutive del paesaggio. A tal proposito, questa prospettiva è stata sostenuta nell'attività di ricerca relativa alle relazioni che intercorrono tra le comunità locali delle aree interne e il patrimonio culturale materiale e immateriale, evidenziando le potenzialità insite nelle attività di mappatura digitale per la definizione di strategie politiche *place-based* (Colaprice & Barbuti, 2023).

Le metodologie di analisi che contemplano l'utilizzo degli Historical GIS consentono di adottare una prospettiva integrata che supera la presunta dicotomia tra ecosistemi culturali e naturali e privilegia paradigmi di più recente formazione, come il concetto di *bio-cultural heritage*, inteso come «a link between people, history and biodiversity» (Rotheram, 2015: 3425). Questa proposta unitaria consente di andare oltre le interpretazioni del concetto di «ripristino della natura» volte a intendere un vago ritorno ad un passato incontaminato in cui non vi sia traccia della presenza umana. Nonostante questa narrazione abbia ispirato alcune politiche protezionistiche (Tigrino, 2015: 219) e si rifletta in parte nel NRL, l'esigenza di giungere a proposte efficaci di miglioramento degli ecosistemi spinge nella direzione di un approccio che metta al centro i processi storici che hanno determinato lo stato di attivazione e abbandono delle risorse ambientali. Tali fenomeni sono da ricondurre alle attività antropiche e all'impatto sociale ed ecologico esercitato dallo spopolamento e dalla deruralizzazione, processi che in Italia si sono manifestati in particolar modo nel contesto appenninico (Tigrino, 2015: 219), dando luogo ad una progressiva erosione delle risorse ambientali e alla contestuale perdita di saperi, pratiche e prodotti (Cevasco, 2007: 264; Rotheram et al., 2018: 269).

Dunque, appare evidente come la necessità di indagare questi processi storici assuma maggiore rilevanza. Lo sviluppo di un sistema informativo geografico capace di restituire su scala diacronica l'evoluzione paesaggistica e ambientale risponde direttamente alle sollecitazioni avanzate dal NRL e favorisce l'adozione di metodologie di ricerca interdisciplinari che mettono in relazione Digital Humanities, storia, geografia e archeologia. Il progetto PRIN 2022 «Bridging geography and history of woodlands» si inserisce in questo approccio interdisciplinare nello studio degli ecosistemi, mirando ad indagare i processi storici e socio-ecologici che hanno prodotto il patrimonio boschivo italiano e guardando alle ricadute pratiche in termini di gestione sostenibile². Le attività di ricerca si basano sull'approfondimento dei due casi studio individuati, ovvero l'area appenninica compresa tra la Val Trebbia e la Val d'Aveto in Liguria e l'area dolomitica della Val di Fiemme in Trentino.

Il presente contributo intende illustrare le metodologie adottate nel corso del progetto per la costruzione di un Historical GIS volto a restituire l'evoluzione storica della copertura boschiva in Italia tra età moderna e contemporanea con riferimento al caso di studio ligure. Particolare attenzione è data al trattamento digitale della documentazione disponibile nel contesto locale, tenendo conto dei ben noti problemi relativi al reperimento di fonti omogenee per tutto il territorio nazionale in epoca preunitaria.

2. METODOLOGIA

La Liguria è la regione d'Italia con l'indice di boscosità più elevato. Quello che potrebbe apparire a prima vista come un dato positivo si scontra con diverse criticità che espongono il territorio al rischio di calamità. Nel corso dell'ultimo secolo, il progressivo abbandono di pratiche di gestione del bosco e lo spopolamento delle comunità locali ha determinato un avanzamento consistente della copertura boschiva. Questa ipotesi

² Sito ufficiale del progetto PRIN: <https://birnamscape.wixsite.com/birnam>. Ultimo accesso: 21 gennaio 2025.

di ricerca ha orientato il lavoro sul caso studio ligure che insiste su un'area di circa 220 km², compresa nei comuni di Rovegno, Fontanigorda, Rezzoaglio e Santo Stefano d'Aveto, appartenenti alla provincia di Genova. Inoltre, all'interno di questi quattro territori, sono state individuate tre aree boschive che saranno oggetto di approfondimenti ulteriori nel corso del progetto, evidenziate dai confini tratteggiati nella figura 1.

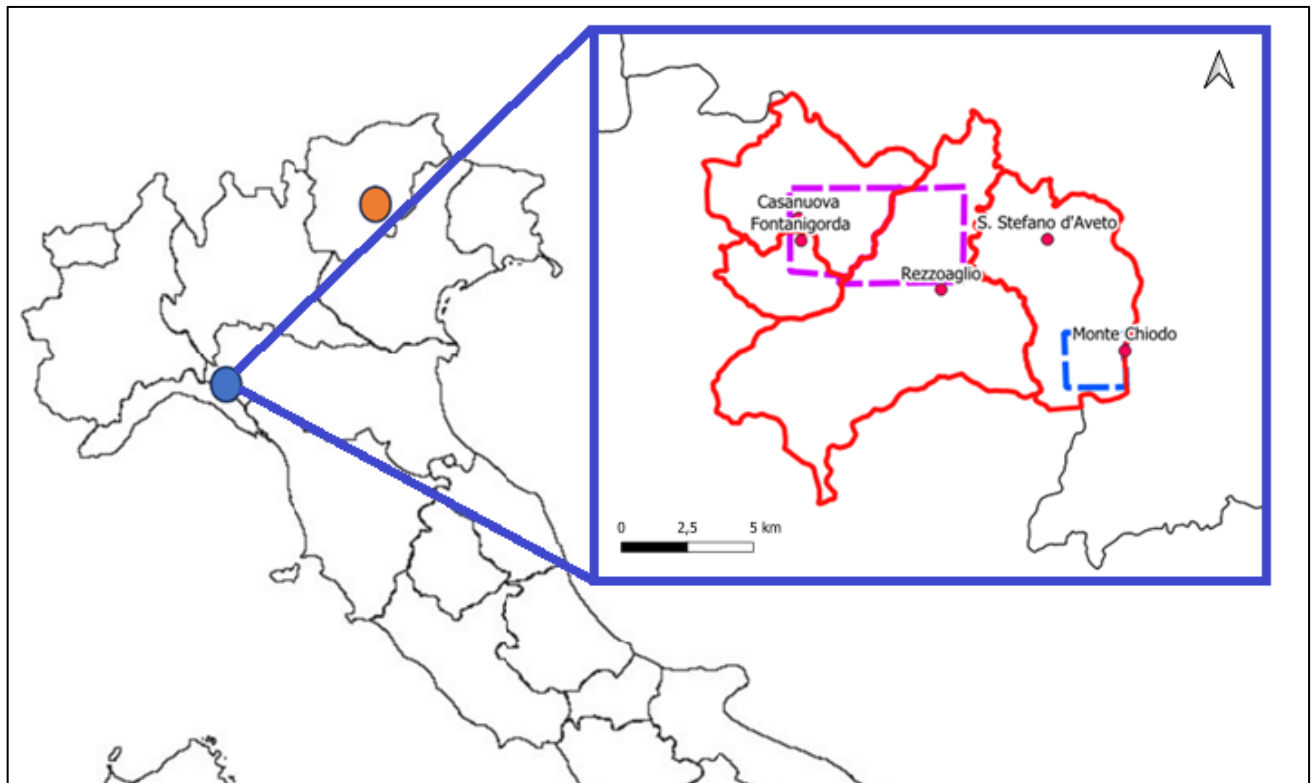


Figura 1. Localizzazione del caso di studio ligure.

La costruzione di un Historical GIS è stata essenziale per verificare la validità dell'ipotesi di partenza, già esplorata in casi di studio regionali a scala locale (Cevasco et al., 2005; Gabellieri & Primi, 2013; Priarone, 2023). A tal proposito, è stata adottata una metodologia di analisi basata sul metodo storico regressivo, volta ad individuare la persistenza di elementi di continuità e discontinuità nei processi storici (Moreno et al., 2005). Questo approccio rende essenziale l'incrocio di fonti di natura diversa, richiedendo la costituzione di una serie documentaria che contenga fonti testuali e cartografiche. Pertanto, è stato necessario costruire un repertorio cartografico che permettesse di rilevare la presenza della copertura boschiva negli ultimi due secoli. La definizione di questa serie cartografica si è avvalsa dell'utilizzo di alcune carte storiche della prima metà dell'Ottocento già studiate per l'area presa in esame (Cevasco, 2002) e di carte topografiche e digitali relative al Novecento e agli anni più recenti. Di seguito l'elenco delle fonti cartografiche utilizzate, eterogenee per caratteristiche e scala:

- Corine Land Cover (1990-2018), scala 1:100.000;
- Carta Tecnica Regionale (1986), scala 1:25.000;
- Carta d'Italia IGM (1936-1937), scala 1:25.000;
- Carta forestale del Regno d'Italia (1936), scala 1:100.000;
- Carta topografica degli Stati in Terraferma di S.M. il Re di Sardegna (1853), scala 1:50.000;
- Carta topografica degli Stati di Terra Ferma di S.S.R.M. Carlo Alberto Re di Sardegna (1831), scala 1:50.000;
- Carte preparatorie per la carta topografica degli Stati di Terra Ferma (1827-1829), scala 1:20.000.

Definito il repertorio cartografico, è stato possibile avviare in ambiente GIS un'analisi regressiva su scala diacronica adottando la metodologia del filtraggio cartografico, che prevede «il confronto di una sequenza di documenti cartografici rilevati e redatti in date diverse che rappresentano uno stesso sito o area» (Cevasco, 2007: 74). Come dato di partenza è stata utilizzata la rilevazione della copertura boschiva effettuata nel 2018 dall'agenzia europea Copernicus per il rilascio dell'ultima versione del dataset vettoriale Corine Land Cover (CLC), inclusivo dei dati risalenti fino al 1990. In questo modo, si è ottenuto un primo saggio dell'analisi regressiva, osservando minimi mutamenti nel trentennio preso in esame.

Successivamente, il GIS è stato arricchito con l'importazione della "Carta forestale del Regno d'Italia", realizzata nel 1936 dalla Milizia Forestale e oggetto di vettorializzazione in tempi recenti (Ferretti et al., 2018). La comparazione tra le due carte ha permesso di rilevare uno scarto consistente in termini di copertura boschiva tra gli anni Trenta e gli anni Novanta del Novecento, stimolando il ricorso alla cartografia storica per approfondire questi primi esiti della ricerca. Sono state incluse nel GIS carte tecniche regionali (1986), IGM (1936-1937) e carte risalenti al periodo preunitario prodotte dal Corpo di Stato Maggiore Sardo tra il 1816 e il 1868. Tale azione è stata preceduta dalla scansione a 300 DPI delle fonti cartografiche individuate e seguita dal processo di georeferenziazione dei file raster. Attraverso la decifrazione della simbologia propria di ciascuna carta è stato possibile individuare l'estensione della copertura boschiva, rappresentandola visivamente attraverso un processo di vettorializzazione poligonale. Le carte prodotte dal Corpo di Stato Maggiore Sardo hanno richiesto un lavoro di vettorializzazione differente, stante l'utilizzo di una simbologia letterale che indicava la localizzazione delle aree boschive. In questo caso, non è stato possibile visualizzare l'estensione della copertura boschiva, ma rappresentarne il posizionamento sulla carta e la tipologia attraverso una vettorializzazione di tipo puntuale.

3. RISULTATI OTTENUTI

Al netto dei limiti e della parzialità delle fonti cartografiche utilizzate, già oggetto di discussione in altre sedi scientifiche, il risultato ottenuto dall'attività di filtraggio cartografico ha permesso di confermare l'ipotesi di partenza verificando un progressivo avanzamento della copertura boschiva all'interno di un arco cronologico di circa 200 anni. Inoltre, appare evidente come la crescita del bosco sia aumentata in maniera consistente nella seconda metà del Novecento, quando l'abbandono di determinate pratiche di gestione del bosco e lo spopolamento hanno impattato maggiormente sull'area oggetto di studio. Questo fenomeno è evidenziato dalle percentuali riportate nella figura 2, le quali rappresentano il rapporto tra la superficie boschiva e quella complessiva dei quattro comuni, testimoniando il passaggio dal 54,28% della Carta forestale del 1936 all'86,06% rilevato nel 2018.

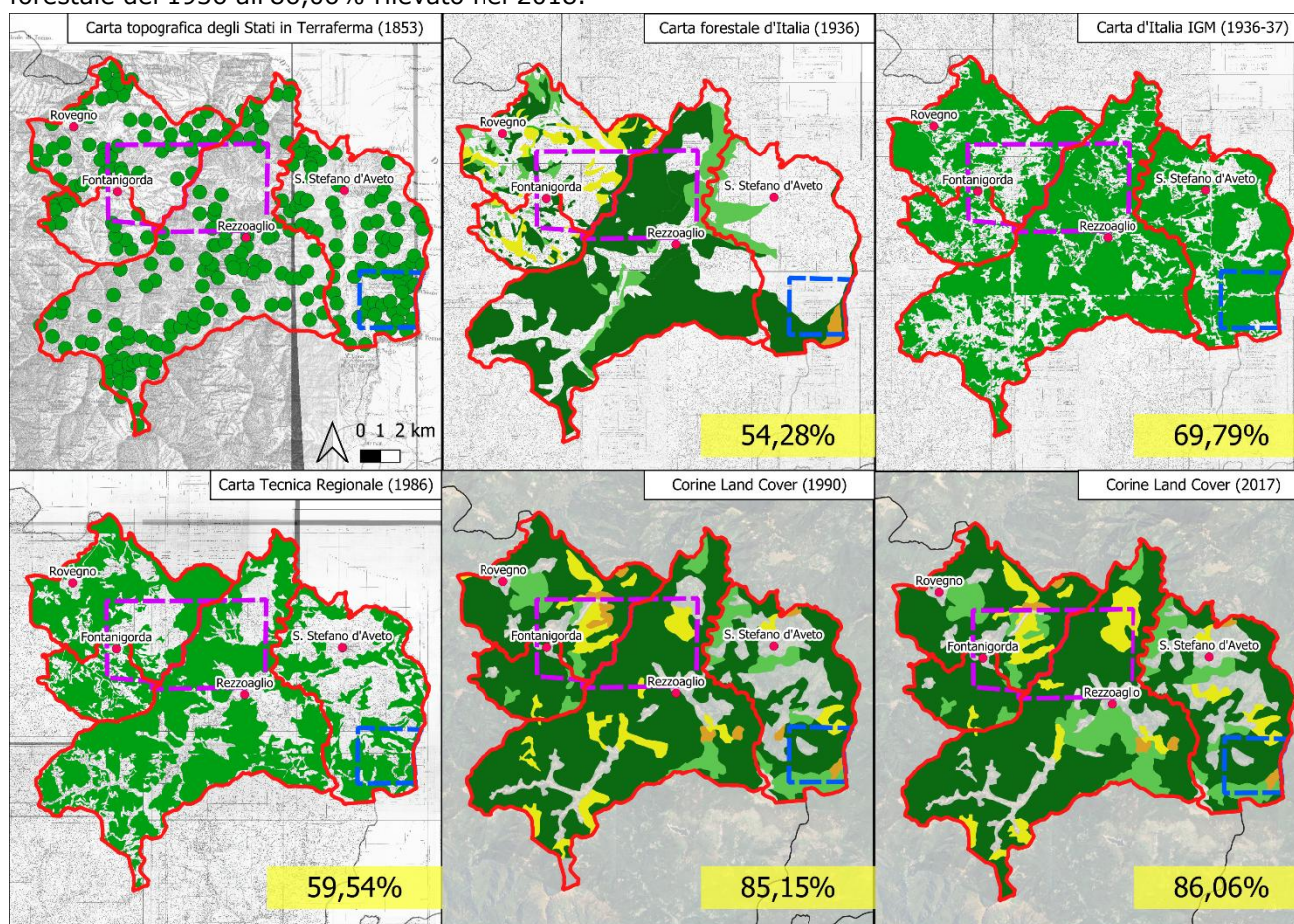


Figura 2. Esito del filtraggio cartografico: le carte riproducono l'estensione del bosco nel 1853, 1936, 1936-1937, 1986, 1990 e 2017. La percentuale evidenziata in ciascuna carta indica l'estensione della superficie boschiva.

A partire dal corpus di fonti cartografiche utilizzato, la creazione di un Historical GIS consente di svolgere un'attività di analisi a scala locale (per quanto permesso dalla fonte), rilevando dati quantitativi e qualitativi che si possono ricavare dallo studio delle carte. Una delle attività esperite ha riguardato il censimento dei toponimi indicati dalla cartografia, permettendo di individuare 1825 record che sono stati classificati per tipologia e grado di variazione su base diacronica, seguendo la metodologia proposta da Dai Prà, Gabellieri e Scanu (2022). La rilevazione di questi dati consente di fare emergere risvolti interdisciplinari, nonché la possibilità di agganciare altre fonti documentali ricche di informazioni essenziali per lo studio della storia del patrimonio boschivo. È il caso delle "Consegne dei Boschi e Selve", redatte per l'alta Val d'Aveto nel 1822, che consentono di cogliere aspetti qualitativi attraverso le descrizioni di boschi comunali e privati in esse contenuti (Bertolotto e Cevasco, 2000). Attraverso l'analisi delle descrizioni e l'incrocio con i toponimi a cui si riferiscono, è possibile dare una profondità qualitativa al lavoro di ricostruzione storica, individuando la presenza o la scomparsa di determinate specie vegetali. Si tratta di un lavoro essenziale, tuttora in stato di esecuzione, che supera alcuni limiti che caratterizzano le fonti cartografiche relative all'Appennino ligure, prive di quella cartografia catastale ottocentesca presente in altri territori. Un lavoro simile è stato realizzato per l'altro caso studio di cui si occupa il progetto, ovvero la Val di Fiemme, come dimostrato dalla recente pubblicazione di Gabellieri e Sarzotti (2024), dove la trasposizione in ambiente GIS della cartografia e delle fonti documentali prodotte dalla comunità locale nel XVIII secolo ha consentito di localizzare con precisione le aree boschive esistenti tra Settecento e Ottocento e rilevare tendenze e mutamenti relativi alla presenza di determinate specie vegetali oggi in gran parte scomparse, ampliando significativamente la diacronia permessa dalle sole fonti catastali.

4. RIFLESSIONI CONCLUSIVE

Lo sviluppo di un Historical GIS non rappresenta unicamente uno strumento a disposizione di storici e geografi. Attraverso il suo utilizzo si può provare a rispondere a sollecitazioni derivanti dal dibattito in corso sulla conservazione ambientale. Se in questo caso è stato possibile individuare le linee di tendenza in termini di evoluzione della copertura boschiva nell'arco di circa due secoli, la possibilità di rilevare dati qualitativi permette di determinare la storicità di alcune pratiche di gestione del bosco, così come la presenza o scomparsa di specie vegetali ad esse connesse. In questo modo si può provare ad intercettare quella richiesta di realizzazione di analisi diacroniche come previsto dal Nature Restoration Law.

Sul piano metodologico, si possono avanzare alcune considerazioni relative all'utilizzo della cartografia storica in ambiente GIS. Sebbene siano stati compiuti importanti passi avanti nell'automazione della georeferenziazione di raster e vettori attraverso il ricorso all'Intelligenza Artificiale, i software GIS non consentono ancora lo sviluppo di un'analisi integrata che preveda l'estrazione e la vettorializzazione automatizzata delle informazioni presenti in vari esempi di cartografia peritale sette-ottocentesca quale quella utilizzata. Il lavoro manuale risulta essere preminente, garantendo un elevato grado di controllo sul processo di digitalizzazione al costo di tempi di esecuzione lunghi. Le metodologie illustrate in questo contributo potrebbero giovare dell'utilizzo di plugin o di software GIS capaci di includere funzionalità legate all'IA, a partire dalla possibilità di riconoscere attraverso la tecnologia OCR i toponimi presenti all'interno delle carte. Un'innovazione che richiederebbe al contempo la capacità del software di distinguere tra i nomi legati agli elementi geografici e le informazioni testuali non pertinenti, nonché riconoscere stili e caratteri topografici nelle carte risalenti all'Ancien Régime.

Infine, l'utilizzo di fonti testuali all'interno di ambienti GIS pone il problema metodologico di tradurre grandi quantità di informazioni topografiche in dataset geospaziali utilizzabili. Fonti documentali come le "Consegne" a cui si è fatto cenno, pur offrendo un ricco apparato descrittivo, spesso contengono dati che non sono facilmente localizzabili con precisione. Queste sfide metodologiche indicano la necessità di sviluppare soluzioni innovative, non solo per ottimizzare i processi di digitalizzazione e analisi, ma anche per garantire una maggiore interoperabilità e una rappresentazione più accurata dei dati geo-storici.

RINGRAZIAMENTI

Il lavoro di ricerca esposto in queste pagine è finanziato dall'Unione Europea con fondi Next Generation EU, nell'ambito del bando PRIN 2022, progetto "Bridging geography and history of woodlands" (2022EKECST) – CUP E53D23010170006.

BIBLIOGRAFIA

- Bertolotto, S., & Cevasco, R., (2000, gennaio). Fonti osservazionali e fonti testuali. Le «consegne dei boschi» e il sistema dell'«alnocoltura» nell'appennino ligure orientale (1822). Quaderni Storici: Nuova Serie, 103 (1), 87-108. <https://www.jstor.org/stable/43779225>.
- Cevasco, R. (2002). La copertura vegetale dell'Alta Val Trebbia nelle ricognizioni topografiche del Corpo di Stato Maggiore Sardo (1816-1852): approccio storico all'ecologia dei siti. Archeologia Postmedievale, 6, 195-214. DOI: [10.1400/210860](https://doi.org/10.1400/210860).
- Cevasco, R., Marullo, E., & Stagno, A. M. (2005). L'analisi della cartografia storica per lo studio delle variazioni della copertura vegetale nel SIC RoccaGrande-M.te Pu (Liguria orientale). Atti della Nona Conferenza Nazionale ASITA (Federazione delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali), Catania 15-18 novembre 2005. 683-688. <https://hdl.handle.net/11567/1026974>.
- Cevasco, R. 2007. Memoria verde. Nuovi spazi per la geografia. Reggio Emilia: Edizioni Diabasis. ISBN: 978-88-8103-487-1.
- Colaprice, V., & Barbuti, N. (2023). Una nuova mappatura digitale per i borghi delle aree interne. Umanistica Digitale, 15, 25-46. DOI: [10.6092/issn.2532-8816/15612](https://doi.org/10.6092/issn.2532-8816/15612).
- Dai Prà, E., Gabellieri, N., & Scanu, N. (2022). Dalla mappa al geodatabase: un modello di raccolta, digitalizzazione e analisi sincronica e diacronica in ambiente GIS del patrimonio toponomastico del territorio trentino da fonti cartografiche storiche (XIX-XXI secolo). Il capitale culturale, 25, 603-633. DOI: [10.13138/2039-2362/2815](https://doi.org/10.13138/2039-2362/2815).
- Gabellieri, N. (2024, dicembre). Nature Restoration Law e programmazione ambientale: quali prospettive per la ricerca geografico-storica? Rivista geografica italiana, CXXXI (4), 69-78. DOI: [10.3280/rqioa4-2024oa18973](https://doi.org/10.3280/rqioa4-2024oa18973).
- Gabellieri, N., & Primi, A. (2017). Uso del suolo e rischio idrogeologico: historical GIS e analisi geostorica della Val Bisagno (GE) dal XIX secolo ad oggi. Atti XXI Conferenza Nazionale Asita, Salerno 21-23 novembre 2017. 571-579. <https://hdl.handle.net/11567/882863>.
- Gabellieri, N., & Sarzotti, E. (2024, October). Forest planning, rural practices, and woodland cover in an 18th-century Alpine Valley (Val di Fiemme, Italy): A geohistorical and GIS-based approach to the history of environmental resources. AIMS Geosciences, 10 (4), 767-791. DOI: [10.3934/geosci.2024038](https://doi.org/10.3934/geosci.2024038).
- Grava, M., Berti, C., Gabellieri, N., & Gallia, A., (2020). Historical GIS. Strumenti digitali per la geografia storica in Italia. Trieste: Edizioni Università di Trieste. ISBN: 978-88-5511-158-4.
- Moreno D. T., Guido, M. A., & Montanari, C. (2005). L'approccio storico-archeologico alla copertura vegetale: il contributo dell'archeologia ambientale e dell'ecologia storica. In G. Caneva (Ed.), La biologia vegetale per i beni culturali. Firenze: Nardini, 463-498. <https://hdl.handle.net/11567/252572>.
- Priarone, E. (2023). L'analisi diacronica dell'uso del suolo nella cartografia: l'alta val di Vara (SP) tra 1936 e 2019. Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia, 178, 114-127. <https://www.openstarts.units.it/handle/10077/36748>.
- Rotheram, I. D. (2015). Bio-cultural heritage and biodiversity: emerging paradigms in conservation and planning. Biodivers Conserv, 24, 3405-3429. DOI: [10.1007/s10531-015-1006-5](https://doi.org/10.1007/s10531-015-1006-5).
- Rotheram, I. D., Çolak, A. H., & Kirca, S. (2018). European Woodland History and Management: some concluding thoughts. In A. H. Çolak, S. Kirca & I. D. Rotheram (Eds.), Ancient Woodlands and Trees: A Guide for Landscape Planners and Forest Managers. Vienna: IUFRO World Series Volume 37, 268-271. DOI: [10.53478/TUBA.2018.018](https://doi.org/10.53478/TUBA.2018.018).
- Tigrino, V. (2015). Sovranità, comunità, possesso e lavoro nell'Appennino imperiale. Intorno ad una mappatura settecentesca della Val d'Aveto. In R. Leggero (Ed.), Montagne, comunità e lavoro tra XIV e XVIII secolo. Mendrisio Academy Press, 217-256. https://www.share.usi.ch/arc/montagne_comunita.pdf.