



Humans, Forests and Climate Change in the Central Mediterranean

Uomo, foreste e cambiamenti climatici nel Mediterraneo centrale

Laura Sadori ^{(a)(*)} - Gianluca Piovesan ^(b)

^(a) Dipartimento di Biologia Ambientale, Sapienza Università di Roma; Piazzale Aldo Moro 5 - 00185 Roma, Italia.

^(b) Università della Tuscia, Dipartimento di Scienze Ecologiche e Biologiche (DEB), largo dell'Università snc - 01100 Viterbo, Italia.

^(*) Corresponding Author; laura.sadori@uniroma1.it

Abstract: The present-day Mediterranean vegetation landscape is the result of a long “coevolution” between climate, vegetation, fauna and human activities. During the Quaternary, glacial-interglacial oscillations, driven by orbital variations in eccentricity, obliquity and precession and amplified by climatic feedbacks, caused repeated contractions and expansions of forests. Despite the persistence of tree taxa in refugial areas, these dynamics led to a progressive loss of forest diversity. The Mediterranean region, and particularly the Italian Peninsula and the Balkans, played an important role as both a refugium and a corridor for recolonization, within an area nevertheless highly vulnerable to aridity and climatic seasonality. During the Holocene, forest recolonization was rapid but spatially differentiated. In central Italy, deciduous oak woods, beech forests and alder woods expanded, whereas in central Sicily an early postglacial humid forest phase, characterized by deciduous and evergreen oak woods, was followed by progressive aridification from as early as 8000 years ago. Across the region, from the middle to late Holocene onwards, human impact became increasingly significant: fire, grazing, agriculture, timber exploitation and tree cultivation, including olive growing, profoundly transformed the structure and composition of landscapes. Nevertheless, remnants of old-growth woodland and ancient trees still represent a distinctive feature of Mediterranean landscapes today, both in cultural landscapes and in more remote areas where old-growth characteristics are more strongly preserved. For contemporary forest management, palaeoecological data show that there is no single natural reference condition, or natural baseline, to be restored. Mediterranean forests are often cultural ecosystems, whose history continues to shape their dynamics even in the absence of direct human activities. Their management must therefore consider ecological memory, resilience thresholds, natural and anthropogenic disturbances, soil fertility, water availability and future climate scenarios.

Key words: Mediterranean vegetation; climate change; palynology; glacial refugia; forest management.

Citation: Sadori, L., & Piovesan, G. (2026). Uomo, foreste e cambiamenti climatici nel Mediterraneo centrale. *L'Italia Forestale e Montana*, 81(2s), 166–176. <https://doi.org/10.36253/ifm-1269>

Received: 16/06/2026 **Revised version:** 03/07/2026 **Published online:** 25/09/2026

1. INTRODUZIONE

Il bacino del Mediterraneo è uno degli hot-spot di biodiversità più complessi e vulnerabili a scala globale. La sua configurazione geografica, caratterizzata da forte articolazione orografica, gradienti altitudinali marcati e posizione di transizione tra sistemi temperati, mediterranei e subtropicali, lo rende un laboratorio naturale privilegiato per studiare le relazioni tra clima, vegetazione, fauna e attività umane. Tuttavia, il paesaggio vegetale osservabile oggi nel Bacino del Mediterraneo non può essere interpretato come una condizione solo naturale. È piuttosto il risultato di una lunga storia di cambiamenti climatici, adattamenti ecologici, estinzioni regionali, migrazioni, rifugi glaciali e trasformazioni legate all'uso del suolo in un bacino che ha visto la nascita di affascinanti civiltà antiche.

Comprendere queste dinamiche richiede di guardare alla storia profonda della vegetazione mediterranea, scandita dall'alternanza tra fasi glaciali e interglaciali del Quaternario. La teoria astronomica dei paleoclimi spiega questa alternanza come il risultato delle variazioni a lungo termine dei parametri orbitali della Terra - eccentricità, obliquità e precessione - che modificano la distribuzione stagionale e latitudinale dell'insolazione. Nei record paleoclimatici dell'ultimo milione di anni sono riconoscibili ciclicità quasi periodiche di circa 100.000 anni (100 ka), sulle quali si sovrappongono cicli di circa 41 ka e 21 ka, legati rispettivamente all'obliquità e alla precessione. Queste variazioni non agiscono però in modo lineare: il ciclo di circa 100 ka, dominante nel tardo Pleistocene, richiede amplificazioni e feedback interni al sistema climatico, inclusi ghiacci, albedo, oceani e CO₂ (Berger et al., 2013). In questo contesto, come evidenziato da Bertini (2010), la penisola italiana ha giocato un ruolo cruciale come rifugio e corridoio di migrazione,

contribuendo alla persistenza e alla successiva ricolonizzazione nel continente di numerosi taxa arborei. Va a questo proposito osservato che rispetto agli altri continenti boreali le glaciazioni hanno determinato in Europa una maggiore perdita di taxa arborei determinando così una semplificazione della composizione delle foreste (Donders et al., 2021). Gli endemismi rinvenibili nell'area mediterranea hanno solo in parte compensato questa perdita di biodiversità di alberi (e anche di vertebrati) che caratterizza nel complesso la storia naturale del Quaternario in Europa.

La palinologia ha un ruolo centrale in questa ricostruzione, perché consente di seguire nel tempo le variazioni della copertura e composizione vegetale attraverso i granuli pollinici conservati nei sedimenti lacustri, marini o palustri. Gli studi di sintesi sulla vegetazione mediterranea mostrano che, dopo il medio Olocene, l'aumento dell'aridità, le oscillazioni climatiche e l'impatto umano diventano fattori sempre più intrecciati e spesso difficili da distinguere (Sadori et al., 2013). Questo punto è essenziale per le scienze forestali: una riduzione della copertura forestale può dipendere da siccità, incendi, pascolo, taglio del bosco o da più cause concomitanti che possono condurre a un degrado degli ecosistemi. La sola curva del polline non basta sempre a separare questi fattori, ed è quindi necessario integrare dati pollinici, microcarboni, indicatori geochimici, archeologia e fonti storiche per capire le cause e i tempi di ripristino della funzionalità ecosistemica.

La prospettiva paleoecologica è quindi utile non solo per ricostruire "com'era" il paesaggio, ma anche per capire come le foreste abbiano risposto in passato a condizioni climatiche diverse da quelle attuali e ai diversi disturbi naturali e antropici. Essa permette di individuare taxa resilienti, aree di rifugio, soglie (*tipping points*) oltre le quali la copertura forestale in certi ambienti ecologicamente difficili non si

ricostituisce facilmente, e casi in cui l'abbandono del territorio ha consentito processi di rigenerazione spontanea di foreste come nelle aree interne dopo la peste nera (Izdebski et al., 2022; Piovesan et al., 2026). In questo senso, ricostruire la storia della vegetazione non è un esercizio retrospettivo, ma diviene un'analisi propedeutica alla gestione forestale sostenibile con particolare riferimento alla pianificazione ecologica del territorio e ai temi strategici della conservazione e ripristino della natura in un'area hotspot del cambiamento climatico.

2. DINAMICHE FORESTALI PLEISTOCENICHE: RIFUGI, PERDITE E RESILIENZA

Le prove provenienti dal Lago di Ocrida (Sadori et al., 2016b; Donders et al., 2021), tra Albania e Macedonia del Nord, sono particolarmente importanti perché questo archivio lacustre costituisce una delle sequenze più lunghe e continue d'Europa. Il record pollinico documenta la storia della vegetazione per 1,36 milioni di anni e mostra che il bacino ha funzionato come rifugio per alberi temperati e termofili durante numerosi cicli glaciali e interglaciali. Nelle fasi più antiche, la vegetazione era più ricca di taxa relitti e la componente erbacea era meno sviluppata; successivamente, con l'instaurarsi di una vegetazione steppica più persistente e con l'intensificazione dei cicli glaciali, la diversità arborea diminuì. Il primo grande declino della ricchezza arborea è collocato intorno a 0,94 milioni di anni fa, quando fasi caratterizzate da una vegetazione erbacea xerotollerante indicano l'aridità come fattore critico per la sopravvivenza delle popolazioni arboree.

In questo quadro, le dinamiche forestali pleistoceniche devono essere interpretate come risposte ecologiche a forzanti climatiche che agiscono su scale temporali diverse. Le variazioni dell'obliquità, con periodicità principale

di circa 41.000 anni (41 ka), modificano soprattutto il contrasto stagionale alle alte latitudini, mentre la precessione, modulata dall'eccentricità, influenza la distribuzione stagionale dell'insolazione e, quindi, la forza relativa delle stagioni. La teoria di Milankovitch, ripresa e formalizzata nei modelli di Berger et al. (2013), sottolinea in particolare l'importanza dell'insolazione estiva alle alte latitudini dell'emisfero nord: estati fresche riducono la fusione della neve e favoriscono l'espansione dei ghiacci, innescando feedback di albedo che amplificano il raffreddamento.

Questo dato è fondamentale per comprendere il Mediterraneo come regione rifugio, ma anche come regione vulnerabile. Il concetto di rifugio non implica stabilità permanente: indica piuttosto la possibilità di sopravvivenza locale di popolazioni arboree durante fasi sfavorevoli nella maggior parte del continente, grazie a condizioni topografiche, idrologiche o meso/microclimatiche favorevoli. Nel caso del Lago di Ocrida, una così voluminosa massa d'acqua lacustre in un contesto montano, ha probabilmente attenuato gli effetti climatici estremi di aridità e termicità, consentendo la persistenza di taxa arborei anche durante fasi glaciali. Tuttavia, l'aridità prolungata e l'aumento dell'ampiezza dei cicli glaciali hanno progressivamente ridotto la diversità delle specie nelle foreste.

La progressiva semplificazione delle dendrofore forestali europee è confermata anche dalle sintesi sulla scomparsa quaternaria di piante arboree anche in altre aree dell'Europa meridionale (Magri et al., 2017). Alberi dei generi *Carya*, *Pterocarya*, *Liquidambar*, *Tsuga*, *Cathaya* e *Cedrus*, oggi completamente assenti dall'Europa, e *Zelkova*, sopravvissuta solo in stazioni relitte molto localizzate, indicano che le foreste pleistoceniche erano più ricche (anche dal punto di vista della fauna vertebrata) e strutturalmente diverse rispetto a quelle

attuali. La loro scomparsa non fu un unico evento, ma un processo graduale, con tempi e modalità differenti da regione a regione. È quindi scorretto immaginare le foreste mediterranee attuali come comunità in equilibrio e “complete”: esse sono il risultato di una lunga selezione climatica, nella quale hanno prevalso taxa frugali e rustici capaci di tollerare maggiore stagionalità, siccità estiva, suoli a scarsa fertilità e disturbi ripetuti.

Per la gestione forestale questo impoverimento di specie arboree implica un punto chiave: la resilienza osservata nelle foreste mediterranee è il risultato di un lungo processo di adattamento come risulta ben evidente, ad esempio, nel genere *Abies* e *Quercus* (Follieri et al., 1998; Tinner et al., 2013). Alcune comunità hanno resistito per millenni grazie alla presenza di rifugi e alla capacità di ricolonizzazione, ma diversi taxa che non hanno avuto la capacità di rispondere e adattarsi sono scomparsi quando le condizioni climatiche hanno superato soglie critiche. La storia pleistocenica suggerisce quindi che, nel Mediterraneo, la sopravvivenza a lungo termine delle foreste non dipende soltanto dalla temperatura media, ma anche dalla stagionalità dell'insolazione, dalla disponibilità idrica e dalla capacità dei sistemi orografici posti in prossimità del mare di attenuare gli effetti delle fasi fredde e/o aride. La presenza di rilievi vicino alla costa crea condizioni più umide, più fresche e più variabili rispetto alle aree pianeggianti circostanti, permettendo la sopravvivenza di popolazioni forestali anche durante fasi climatiche sfavorevoli. Nel Mediterraneo questo effetto è particolarmente importante per diversi motivi. Le masse d'aria umida provenienti dal mare, quando incontrano i rilievi, sono costrette a salire: raffreddandosi, condensano e producono precipitazioni orografiche che vanno ad alleviare la siccità estiva. Infatti, questo meccanismo aumenta la disponibilità idrica sui versanti esposti ai venti umidi. Inoltre, i rilievi

creano una forte diversità di microambienti in spazi ridotti: versanti esposti a nord più freschi e umidi, valloni ombrosi, impluvi, quote intermedie e aree riparate possono funzionare come micro-rifugi.

3. L'OLOCENE: RICOLONIZZAZIONE FORESTALE E COSTRUZIONE DEL PAESAGGIO MEDITERRANEO

Con l'inizio dell'Olocene, la vegetazione mediterranea rispose rapidamente al miglioramento climatico postglaciale, ma con traiettorie differenziate tra regioni. Nel Lazio settentrionale, il record del Lago di Mezzano (Sadori, 2018) documenta all'incirca gli ultimi 15.300 anni e mostra una sequenza continua di trasformazioni: dalla fine dell'ultima fase glaciale, con oscillazioni stadiali e interstadiali, si passa a foreste miste di querce decidue a partire da circa 11.000 anni dal presente (con il presente fissato al 1950), quindi a una maggiore importanza del faggio intorno a 9.000 anni fa e successivamente allo sviluppo di alneti a partire da circa 7.000 anni fa. Il paesaggio forestale attuale, profondamente modificato - nella struttura e composizione - e frammentato dall'uomo, è dunque l'ultimo esito di una lunga dinamica forestale con un aumento della pressione antropica negli ultimi millenni per cui oggi non osserviamo quale sarebbe stata la vegetazione olocenica in assenza della crescente forzante antropica.

Un elemento particolarmente rilevante per la conservazione e il ripristino degli ecosistemi forestali è la documentazione, al Lago di Mezzano, della coesistenza durante il cosiddetto *optimum* termico olocenico tra *Fagus sylvatica*, specie oggi associata a condizioni fresche e relativamente umide, e querce sempreverdi come *Quercus ilex*, tipiche di ambienti mediterranei più caldi e aridi. Lo studio ad alta risoluzione di Beffa et al. (2025) mostra che tra

8.450 e 7.050 anni fa, i cambiamenti vegetazionali furono inizialmente guidati soprattutto dal clima; il faggio si diffuse nei boschi misti di querce decidue in risposta a una riduzione della stagionalità, mentre dopo circa 8.200 anni fa *Quercus ilex* aumentò in un contesto di condizioni più calde. La coesistenza di faggete e leccete, oggi molto rara (Sabini, Aspromonte, Pollino) indica che microclimi locali, esposizione, umidità dei versanti e condizioni delle caldere potevano sostenere comunità forestali (di transizione tra il bioma temperato freddo e quello mediterraneo) oggi quasi scomparse a causa delle pressioni antropiche sul bosco.

Oggi, questi risultati paleoecologici hanno un particolare valore applicativo in riferimento alla legge sul ripristino della natura: la distribuzione attuale delle specie non coincide necessariamente con tutto il loro areale. Alcune specie possono aver occupato in passato territori dove oggi sono divenute rare e frammentate, mentre altre possono essersi espanse grazie ad una gestione che ne ha favorito la diffusione. Per questo motivo, le ricostruzioni paleoecologiche possono aiutare a distinguere tra assenza naturale, assenza dovuta al superamento di limiti climatici recenti e assenza prodotta da una lunga pressione antropica. Dove è ancora oggi possibile, ricostruire comunità forestali articolate, vetuste e biodiverse diviene quindi la migliore assicurazione per ecosistemi resilienti di fronte ai cambiamenti climatici.

Tuttavia, in alcune regioni più aride il compito della ricostituzione forestale rimane a tutt'oggi una grande sfida. In Sicilia, il Lago di Pergusa (Sadori & Narcisi, 2001) fornisce un archivio essenziale per comprendere la storia ambientale postglaciale dell'isola. Il record mostra che la transizione verso condizioni più umide iniziò prima di 11.000 anni fa, che le condizioni più umide del postglaciale si collocano circa tra 9.000 e 7.500 anni fa, e che successivamente iniziò una tendenza verso l'a-

ridificazione, culminata in condizioni molto secche intorno a 3.000 anni fa. Un impatto umano inequivocabile sulla vegetazione è riconosciuto a partire da circa 2.800 anni fa, anche se forme precedenti di uso del suolo non possono essere escluse.

Il Mediterraneo centrale registra inoltre eventi climatici bruschi, tra cui il cosiddetto evento di 4.200 anni fa. La sintesi di Bini et al. (2019) evidenzia che tra circa 4.300 e 3.800 anni fa molte aree mediterranee sperimentarono condizioni più aride, soprattutto in inverno, anche se il segnale non fu uniforme in tutto il bacino. Gli stessi autori sottolineano l'eterogeneità regionale e le incertezze cronologiche, elementi che impongono prudenza nell'associare automaticamente questo evento a trasformazioni vegetazionali locali.

4. FUOCO, BIOMASSA E USO DEL SUOLO

Il fuoco è un componente importante delle dinamiche negli ecosistemi mediterranei, ma la sua interpretazione richiede cautela. Non può essere considerato sempre e solo un fattore naturale, né sempre e solo un prodotto dell'uomo. I microcarboni nei sedimenti lacustri sono un *proxy* utile per ricostruire i regimi di incendio, perché consentono di stimare la presenza di combustioni passate e di confrontarle con le variazioni della vegetazione registrate dal polline. Gli studi su Pergusa mostrano che la relazione tra fuoco, clima e vegetazione varia nel tempo: nel medio Olocene il rapporto tra attività degli incendi e clima appare più forte, mentre dopo circa 4.000-3.000 anni fa l'influenza umana diventa crescente (Sadori et al., 2015).

Nel caso siciliano, il fuoco non deve essere interpretato semplicemente come distruzione di un ecosistema. In alcune fasi, può aver favorito l'apertura del paesaggio, il pascolo e la genesi dei paesaggi culturali. Tuttavia,

quando la frequenza degli incendi aumenta in contesti di aridità e forte pressione antropica, il fuoco può contribuire al degrado degli ecosistemi, determinando perdita di suolo, riduzione della capacità di rigenerazione forestale e trasformazione duratura delle comunità vegetali da foreste a macchie, garrighe e steppe. È quindi più corretto parlare di regimi di fuoco e di uso del fuoco, piuttosto che di incendi in senso generico.

Anche a Mezzano, il rapporto tra fuoco e uso del territorio cambia nel tempo (Sadori, 2018). Le analisi recenti (Beffa et al., 2025) indicano che dopo circa 7.450 anni fa l'aumento di indicatori di coltivazione, disturbo, pascolo e funghi coprofilo è associato a una crescita delle attività umane e a un'apertura della vegetazione forestale. Lo studio collega queste trasformazioni a pratiche come taglio, incendio, pascolo, con effetti anche sulla dinamica del lago e sull'erosione.

Il fuoco ha fatto parte della storia ecologica mediterranea e delle pratiche colturali che hanno generato il paesaggio attuale con ampi tratti di ambienti forestali degradati. L'attuale combinazione di abbandono rurale, accumulo di biomassa nei boschi, cambiamento climatico crea condizioni e dinamiche vegetazionali diverse da quelle del passato. Se da un lato il *rewilding* delle aree più remote porterà a foreste vetuste più resistenti agli incendi, nelle aree di interfaccia con i centri abitati la gestione del rischio degli incendi rappresenta una vera e propria sfida culturale a cui non si può rispondere con pratiche antiche o con tecniche applicate in altre regioni del pianeta.

5. OLIVO, PAESAGGIO AGRICOLO E RETI CULTURALI

L'olivo è uno dei simboli più forti del paesaggio mediterraneo, ma la sua diffusione

non può essere interpretata come un semplice effetto del clima. Il record di Pantano Grande, nell'area dello Stretto di Messina, mostra una presenza importante di polline di *Olea* già a partire da circa 3.700 anni fa. Palli et al. (2025) interpretano questa evidenza come la più antica indicazione, finora disponibile per l'Italia, di propagazione dell'olivo guidata dall'uomo. Gli autori sottolineano tuttavia che il dato pollinico non permette di distinguere direttamente forme domestiche da forme selvatiche selezionate o favorite dall'uomo.

L'interpretazione proposta per Pantano Grande è culturale ed ecologica insieme. L'area di Messina si trovava lungo una rotta di transito strategica e gli scambi con il mondo egeo, miceneo e cipriota possono aver favorito l'uso e la propagazione dell'olivo già nell'età del Bronzo. L'olivo poteva essere sfruttato per frutti, legno e foraggio, e la sua espansione avrebbe modificato la composizione della vegetazione arborea naturale.

Un punto importante riguarda il confronto tra Pantano Grande e il Lago di Pergusa. Dopo la deposizione del tefra FL dell'Etna, detto tefra dei Sicani, il polline di *Olea* diminuisce drasticamente a Pantano Grande, mentre a Pergusa, più a ovest e in una zona al di fuori dell'area di distribuzione naturale dell'olivo, si registra un aumento significativo. Gli autori collegano questo quadro alla possibilità di spostamenti di popolazioni dalla Sicilia orientale verso occidente, ipotesi coerente con la tradizione antica sulla migrazione dei Sicani riportata da Diodoro Siculo, ma da formulare con prudenza come interpretazione storico-paleoecologica, non come dimostrazione diretta.

L'olivo è quindi un indicatore duplice. È ecologico, perché legato ad ambienti mediterranei aperti, aridi e termofili; ma è anche culturale, perché la sua diffusione dipende da scelte economiche, reti di scambio, tecniche

produttive, continuità di gestione e pressioni ambientali. Questo è un caso emblematico per chi oggi è chiamato a gestire non solo il patrimonio forestale ma anche quello di antichi alberi da frutto. Molti paesaggi oggi percepiti come tradizionali del Mediterraneo sono in realtà il prodotto di lunghi processi di selezione, coltivazione e gestione a partire da una “matrice” naturale spesso difficilmente ricostruibile sulla base della vegetazione attuale.

6. PAESAGGI STORICI, *REWILDING* E *LEGACIES* FORESTALI

Per gli ultimi millenni, la separazione tra dinamiche climatiche e dinamiche sociali diventa particolarmente complessa. Gli studi di ecologia storica condotti nel bacino di Rieti e in altre aree appenniniche mostrano che le trasformazioni della vegetazione possono essere comprese solo integrando dati paleoecologici, fonti storiche e contesto socioeconomico. Mensing et al. (2018) propongono un approccio di “consilienza”, cioè di convergenza tra discipline diverse, per ricostruire le eredità di uso del suolo e distinguere meglio il ruolo relativo di clima, pressioni demografiche, istituzioni e gestione.

Nel bacino di Rieti, tra 850 e 900 d.C. (Mensing et al., 2018), la riorganizzazione fondiaria sotto l'influenza del monastero di Farfa è associata a una gestione più intensa del territorio e a una perdita significativa di foresta naturale per attività agricole. Al contrario, nel Pollino, tra 1050 e 1100 d.C. Mensing et al. (2020) suggeriscono che la conquista normanna sembra aver favorito la trasformazione di un paesaggio deforestato in una foresta di abete gestita per la produzione di legname da costruzione. Questi esempi mostrano che in Appennino lo stesso contesto climatico, come l'Anomalia Climatica Medievale, non produce necessariamente gli stessi effetti: le traiettorie

dipendono dalle realtà locali, dall'economia e dagli obiettivi della gestione. Uno studio recente sulla riespansione del leccio a Montecristo e della rovere in Aspromonte evidenzia, infatti, come le diverse dinamiche di insediamento dopo il crollo demografico causato dalla peste nera del 1347 possano essere il risultato di un intreccio complesso tra gli impatti antropici durante il Medioevo e i diversi condizionamenti ambientali tra le due stazioni (Piovesan et al., 2026).

Il caso del *rewilding* successivo alla Peste Nera è particolarmente rappresentativo. Nel bacino di Rieti, tra il 1350 e 1400 d.C., si registra un rapido ritorno dei principali tipi forestali, una riduzione degli habitat aperti da pascolo, una diminuzione dell'erosione e un calo degli indicatori legati agli animali al pascolo. Il cambiamento appare molto rapido, nell'ordine di 20-40 anni. Un esempio di ripresa forestale è riconosciuto anche al Lago di Pergusa durante la Piccola Età Glaciale. La Sicilia centrale, colpita dalla crisi demografica successiva alla Peste Nera, mostra una ripresa della vegetazione forestale spontanea; al contrario, in una fase climaticamente umida come quella tardo-antica, l'intensità dell'uso del territorio per coltivi e pascoli impedì una rigenerazione comparabile della vegetazione forestale (Sadori et al., 2016a).

La Peste Nera, tuttavia, non ebbe effetti uniformi in tutta Europa. Lo studio di big data palaeoecologici di Izdebski e colleghi (2022) utilizza 1.634 livelli pollinici da 261 siti di 19 paesi europei per valutare le conseguenze demografiche e paesaggistiche della pandemia. Il risultato principale è che l'impatto fu fortemente eterogeneo: devastante in alcune regioni, trascurabile o non evidente in altre. Questa eterogeneità dipese da fattori culturali, ecologici, economici, sociali e climatici.

Per il ripristino della natura, questi esempi sono centrali. Il *rewilding* non è un pro-

cesso lineare né un ritorno identico a una foresta precedente. Dipende dalla presenza di propaguli, dalla continuità di alberi residui, dal tipo di uso del suolo precedente, dal clima e, anche, dalle pressioni successive. Inoltre, le foreste che si ricostituiscono dopo l'abbandono possono essere diverse da quelle scomparse, sia nella composizione sia nella struttura.

7. CONCLUSIONI

Il paesaggio mediterraneo attuale è il risultato di una lunga coevoluzione tra clima, vegetazione e società umane. I dati paleoecologici mostrano che le foreste mediterranee hanno attraversato fasi di espansione, contrazione, trasformazione e perdita di diversità, e che la loro composizione attuale è solo una, spesso semplificata, delle molte configurazioni possibili assunte nel tempo. Il ripristino degli ecosistemi forestali verso stadi vetusti deve quindi tener conto della loro storia segnata da selezione climatica, estinzioni regionali, pressione antropica e fasi di recupero. Come schematizzato nella figura 1, le condizioni di riferimento devono quindi essere considerate plurime e dinamiche: esse cambiano a seconda della scala temporale scelta, del contesto climatico, geopedologico e dell'intensità dell'impatto umano.

– *Vulnerabilità all'aridità.* I record pleistocenici indicano che la sopravvivenza a lungo termine degli alberi mediterranei è stata fortemente condizionata dalla disponibilità idrica. Le fasi di aridità intensa hanno ridotto la diversità arborea, favorito ambienti aperti e contribuito alla scomparsa di taxa sensibili. In uno scenario di riscaldamento globale, non è quindi sufficiente considerare l'aumento della temperatura media: occorre valutare stagionalità delle piogge, durata della siccità estiva, stress idrico cumulativo e frequenza degli eventi estremi.

La teoria astronomica dei paleoclimi fornisce la cornice fisica entro cui leggere queste trasformazioni. Le foreste mediterranee non hanno risposto a un semplice alternarsi di "freddo" e "caldo", ma a cambiamenti nella distribuzione stagionale dell'energia solare, amplificati da feedback climatici interni. Questo significa che anche nel futuro la risposta forestale non dipenderà solo dall'aumento della temperatura media, ma dall'interazione tra stagionalità, durata della siccità estiva, disponibilità idrica, regimi di disturbo (naturali e antropici) e concentrazione atmosferica di CO₂. Ad esempio, Berger et al. (2013) sottolineano che, poiché nei prossimi millenni la distribuzione stagionale e latitudinale dell'insolazione cambierà poco, i gas serra avranno un ruolo proporzionalmente sempre più importante nel determinare l'evoluzione climatica futura.

– *Concetto di baseline.* Per chi si occupa di foreste attuali il passato non offre un'unica condizione di riferimento. Esistono molte baseline possibili dipendenti dalla scala temporale: pleistoceniche, oloceniche, preistoriche, romane, medievali, preindustriali. Ognuna riflette condizioni climatiche e pressioni antropiche diverse. Usare la paleoecologia significa scegliere baseline realistiche e dichiarate, non idealizzate. In alcuni casi, una comunità oggi rara, come quella della coesistenza tra faggio e leccio in aree favorevoli, può indicare un potenziale ecologico dimenticato particolarmente resiliente ai cambiamenti globali; in altri casi, una copertura forestale apparentemente naturale può essere il prodotto di secoli di gestione.

– *Il ruolo dell'uomo.* Le società mediterranee non hanno semplicemente degradato le foreste, ma le hanno trasformate in modi diversi: con il pascolo, il fuoco, il taglio, la coltivazione, la diffusione dell'olivo e del castagno, la produzione di legname e l'abban-

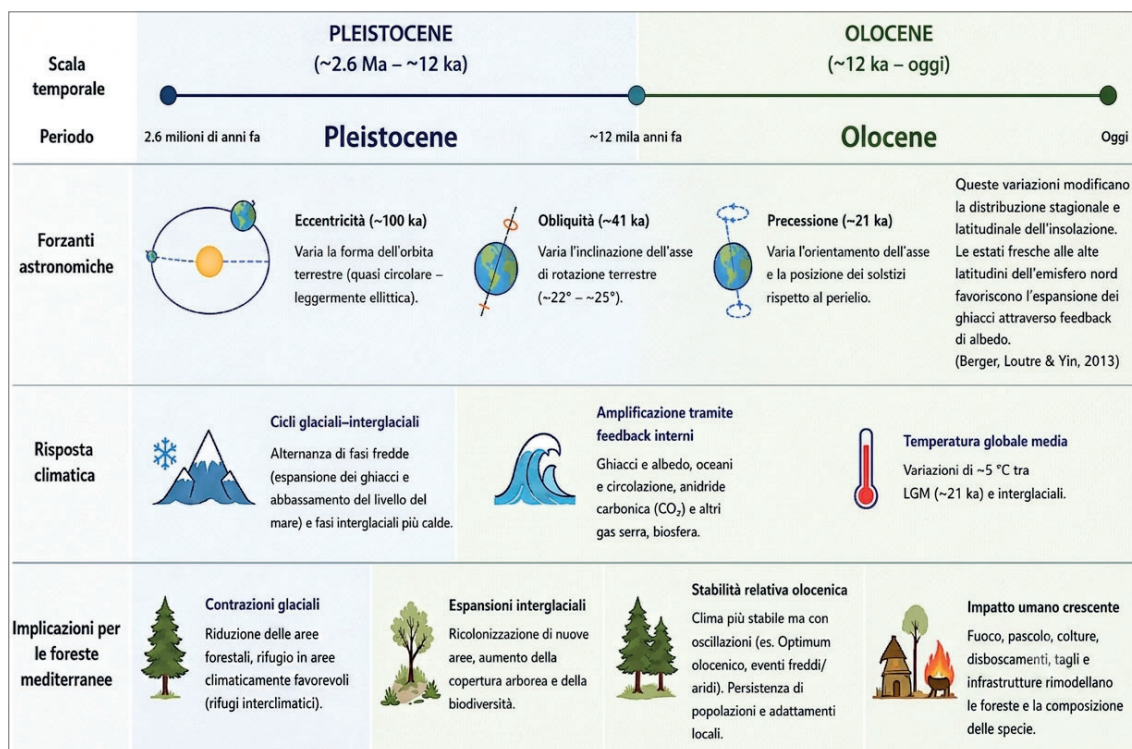


Figura 1 - Schema concettuale delle relazioni tra forzanti orbitali, feedback climatici, fattori regionali e dinamiche della vegetazione mediterranea. Le variazioni di precessione, obliquità ed eccentricità modificano la distribuzione stagionale dell'insolazione e contribuiscono, insieme a feedback climatici quali CO₂, ghiacci, albedo e oceani, all'alternanza tra fasi glaciali e interglaciali. Nel Mediterraneo, queste oscillazioni hanno prodotto contrazioni ed espansioni delle foreste, persistenza in rifugi, ricolonizzazioni postglaciali e, nell'Olocene medio-tardo e negli ultimi millenni, una crescente interazione con aridificazione, fuoco, uso del suolo, pascolo, colture arboree e rinaturalizzazione locale. La figura evidenzia tre implicazioni per la gestione forestale: adottare condizioni di riferimento dinamiche, riconoscere resilienza e soglie ecologiche, integrare clima, disturbo, uso del suolo e memoria ecologica (figura elaborata con il supporto dell'intelligenza artificiale generativa, mediante ChatGPT e Gemini, sulla base dei lavori citati nel testo).

dono. Alcune trasformazioni hanno ridotto la biodiversità e la complessità strutturale; altre hanno creato mosaici paesaggistici ad alta diversità. La distinzione tra naturale e antropico è quindi spesso troppo rigida per descrivere il paesaggio del Mediterraneo.

- *Il rewilding*. Gli esempi medievali mostrano che la riduzione della pressione umana può produrre in alcuni contesti una rapida ripresa forestale, ma non necessariamente un ritorno allo stato precedente. Il *rewilding* va quindi inteso come processo dinamico, dipendente dalle condizioni iniziali, dalla

memoria ecologica del paesaggio e dalla disponibilità di specie sorgente. Per essere efficace, il deve essere accompagnato da una gestione attenta del rischio di incendio nelle aree di interfaccia con i centri urbani e da una pianificazione ecologica capace di coniugare l'agricoltura e la selvicoltura sostenibile, la coesistenza degli animali domestici e della fauna selvatica, lasciando più spazio ai processi naturali non solo in aree remote.

Infine, la paleoecologia insegna che la conservazione della natura e, in particolare la

gestione forestale sostenibile deve essere storicamente informata e orientata al futuro. Le foreste mediterranee sono resilienti, ma non all'infinito; possono recuperare dopo crisi demografiche o abbandoni, ma si possono anche superare soglie oltre le quali la rigenerazione diventa difficile come dimostrano alcuni versanti meridionali denudati della montagna mediterranea. Integrare polline, microcarboni, dati geochimici, archeologia e fonti storiche consente di riconoscere queste soglie e di pianificare soluzioni più realistiche. In un Mediterraneo sempre più caldo e soggetto a siccità prolungate, la conoscenza della storia della vegetazione non è un lusso accademico: è una condizione necessaria per pianificare e gestire foreste vive, dinamiche e capaci di adattarsi.

Ringraziamenti

Questa sintesi trae origine dalle attività scientifiche e dalle discussioni sviluppate nell'ambito del Progetto dell'Unione Europea - NextGenerationEU, finanziato tramite il Ministero dell'Università e della Ricerca nell'ambito del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR), Missione 4, Componente 2, Investimento 1.4, Progetto CN00000033 - National Biodiversity Future Center (NBFC), Sapienza CUP B83C22002950007.

RIASSUNTO

Il paesaggio vegetale mediterraneo attuale è il risultato di una lunga "coevoluzione" tra clima, vegetazione, fauna e attività umane. Durante il Quaternario, le oscillazioni glaciali e interglaciali, legate alle variazioni orbitali di eccentricità, obliquità e precessione e amplificate da feedback climatici, hanno determinato contrazioni ed espansioni delle foreste che, nonostante la persistenza di taxa arborei in aree rifugio, hanno causato una progressiva perdita di diversità forestale. Il Mediterraneo, e in particolare la penisola italiana e i Balcani, ha svolto un ruolo importante come rifugio e corridoio di rico-

lonizzazione, in un'area tuttavia vulnerabile all'aridità e alla stagionalità climatica. Con l'Olocene, la ricolonizzazione forestale fu rapida ma differenziata: in Italia centrale si espansero querceti decidui, faggete e alneti, mentre in Sicilia centrale una prima fase umida forestale postglaciale con querceti decidui e sempreverdi fu seguita da progressiva aridificazione fin da 8000 anni fa. In tutta l'area, dal medio-tardo Olocene, l'impatto umano divenne sempre più rilevante: fuoco, pascolo, agricoltura, taglio del bosco e colture arboree, come l'olivo, trasformarono profondamente la struttura e la composizione dei paesaggi. Tuttavia, nuclei di boschi vetusti e alberi antichi rappresentano ancora oggi un tratto caratterizzante del paesaggio mediterraneo sia negli ambiti culturali sia in quelli più remoti con maggiori caratteri di vetustà. Per la gestione forestale contemporanea, i dati paleoecologici mostrano che non esiste un'unica condizione naturale di riferimento (baseline naturale) da ripristinare. Le foreste mediterranee sono nel complesso ecosistemi culturali, per cui la loro storia ne condiziona la dinamica anche in assenza delle attività antropiche; la loro gestione deve considerare memoria ecologica, soglie di resilienza, disturbi naturali e antropici, fertilità dei suoli e disponibilità idrica, nonché gli scenari climatici futuri.

BIBLIOGRAFIA

- Beffa, G., Gobet, E., Coşgun, S., Dotta, R., Hächler, L., Morlock, M. A., Sadori, L., Schläfli, P., Schwörer, C., van Vugt, L., Vogel, H., Zander, P. D., Grosjean, M., & Tinner, W. (2025). Causes of co-existence of cool-temperate *Fagus* and warm-loving evergreen *Quercus* forests in central Italy during the Holocene thermal maximum. *Forest Ecosystems*, 14, 100345. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2025.100345>
- Berger, A., Loutre, M.-F., & Yin, Q. Z. (2013). Astronomical theory of paleoclimates. In S. A. Elias & C. J. Mock (Eds.), *Encyclopedia of Quaternary Science* (2nd ed., pp. 136–141). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53643-3.00022-4>
- Bertini, A. (2010). Pliocene to Pleistocene palynoflora and vegetation in Italy: State of the art. *Quaternary International*, 225, 5–24. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.04.025>
- Bini, M., Zanchetta, G., Perşoiu, A., Cartier, R., Català, A., Cacho, I., Dean, J. R., Di Rita, F., Drysdale, R. N., Finné, M., Isola, I., Jalali, B., Lirer, F., Magri, D., Masi, A., Marks, L., Mercuri, A. M., Peyron,

- O., Sadori, L., Sicre, M.-A., Welc, F., Zielhofer, C., & Brisset, E. (2019). The 4.2 ka BP Event in the Mediterranean region: An overview. *Climate of the Past*, 15, 555–577. <https://doi.org/10.5194/cp-15-555-2019>
- Donders, T. H., Panagiotopoulos, K., Koutsodendris, A., Bertini, A., Mercuri, A. M., Masi, A., Combourieu-Nebout, N., Joannin, S., Kouli, K., Kousis, I., Peyron, O., Torri, P., Florenzano, A., Francke, A., Wagner, B., & Sadori, L. (2021). 1.36 million years of Mediterranean forest refugium dynamics in response to glacial-interglacial cycle strength. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(34), e2026111118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2026111118>
- Follieri, M., Giardini, M., Magri, D., & Sadori, L. (1998). Palynostratigraphy of the last glacial period in the volcanic region of central Italy. *Quaternary International*, 47–48, 3–20. [https://doi.org/10.1016/S1040-6182\(97\)00065-7](https://doi.org/10.1016/S1040-6182(97)00065-7)
- Izdebski, A., Guzowski, P., Poniat, R., Masci, L., Palli, J., Vignola, C., Bauch, M., Coccozza, C., Fernandes, R., Ljungqvist, F. C., Newfield, T., Seim, A., Abel-Schaad, D., Alba-Sánchez, F., Björkman, L., Brauer, A., Brown, A., Czerwiński, S., Ejarque, A., ... & Masi, A. (2022). Palaeoecological data indicates land-use changes across Europe linked to spatial heterogeneity in mortality during the Black Death pandemic. *Nature Ecology & Evolution*, 6, 297–306. <https://doi.org/10.1038/s41559-021-01652-4>
- Magri, D., Di Rita, F., Aranbarri, J., Fletcher, W., & González-Sampériz, P. (2017). Quaternary disappearance of tree taxa from Southern Europe: Timing and trends. *Quaternary Science Reviews*, 163, 23–55. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2017.02.014>
- Mensing, S., Schoolman, E. M., Palli, J., & Piovesan, G. (2020). A consilience-driven approach to land use history in relation to reconstructing forest land use legacies. *Landscape Ecology*, 35, 2645–2658. <https://doi.org/10.1007/s10980-020-01079-5>
- Mensing, S. A., Schoolman, E. M., Tunno, I., Noble, P. J., Sagnotti, L., Florindo, F., & Piovesan, G. (2018). Historical ecology reveals landscape transformation coincident with cultural development in central Italy since the Roman Period. *Scientific Reports*, 8, 2138. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20286-4>
- Palli, J., Fiolna, S., Bini, M., Cappella, F., Izdebski, A., Masi, A., Mensing, S., Nigro, L., Piovesan, G., Sadori, L., & Zanchetta, G. (2025). The human-driven ecological success of olive trees over the last 3700 years in the Central Mediterranean. *Quaternary Science Reviews*, 356, 109313. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109313>
- Piovesan, G., Baliva, M., Biondi, F., Palli, J., Calcagnile, L., Chiarucci, A., ..., & Cannon, C. H. (2026). Ancient oaks reveal rewilding of Mediterranean forests after the Black Death. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 123(24), e2529341123. <https://doi.org/10.1073/pnas.2529341123>
- Sadori, L. (2018). The Lateglacial and Holocene vegetation and climate history of Lago di Mezzano (central Italy). *Quaternary Science Reviews*, 202, 30–44. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.09.004>
- Sadori, L., Bertini, A., Combourieu-Nebout, N., Kouli, K., Mariotti Lippi, M., Roberts, N., & Mercuri, A. M. (2013). Palynology and Mediterranean vegetation history. *Flora Mediterranea*, 23, 141–156. <https://doi.org/10.7320/FlMedit23.141>
- Sadori, L., Giraudi, C., Masi, A., Magny, M., Ortu, E., Zanchetta, G., & Izdebski, A. (2016a). Climate, environment and society in southern Italy during the last 2000 years. A review of the environmental, historical and archaeological evidence. *Quaternary Science Reviews*, 136, 173–188. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.09.020>
- Sadori, L., Koutsodendris, A., Panagiotopoulos, K., Masi, A., Bertini, A., Combourieu-Nebout, N., Francke, A., Kouli, K., Joannin, S., Mercuri, A. M., Peyron, O., Torri, P., Wagner, B., Zanchetta, G., Sinopoli, G., & Donders, T. H. (2016b). Pollen-based paleoenvironmental and paleoclimatic change at Lake Ohrid during the past 500 ka. *Biogeosciences*, 13, 1423–1437. <https://doi.org/10.5194/bg-13-1423-2016>
- Sadori, L., Masi, A., & Ricotta, C. (2015). Climate-driven past fires in central Sicily. *Plant Biosystems*, 149(1), 166–173. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.992996>
- Sadori, L., & Narcisi, B. (2001). The Postglacial record of environmental history from Lago di Pergusa, Sicily. *The Holocene*, 11(6), 655–670. <https://doi.org/10.1191/09596830195681>
- Tinner, W., Colombaroli, D., Heiri, O. M., Henne, P. D., Steinacher, M., Untenecker, J., Vescovi, E., Allen, J. R. M., Carraro, G., Conedera, M., Joos, F., Lotter, A. F., Luterbacher, J., Samartin, S., & Valsecchi, V. (2013). The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83(4), 419–439. <https://doi.org/10.1890/12-2231.1>