

Pubblicazione
realizzata con il
contributo dello
strumento finanziario
LIFE dell'UE



LIFE15 CCA/IT/000089



AFORCLIMATE

LINEE GUIDA

per l'adattamento delle faggete
all'emergenza climatica

a cura di Vittorio Garfi e Luigi Torreggiani





AFORCLIMATE

LINEE GUIDA

per l'adattamento delle faggete
all'emergenza climatica

LINEE GUIDA

per l'adattamento delle faggete
all'emergenza climatica

COORDINAMENTO EDITORIALE

Vittorio Garfi - Università degli Studi del Molise
Luigi Torreggiani - Compagnia delle Foreste

AUTORI (in ordine di apparizione nella pubblicazione)

Vittorio Garfi, Luigi Torreggiani, Eduardo Antenucci, Serena Antonucci, Marco Marchetti, Ugo Chiavetta, Marcello Miozzo, Serena Corezzola, Donato Salvatore La Mela Veca, Federico Maetzke, Sebastiano Sferlazza, Giorgio Matteucci, Francesco Ripullone, Maria Castellaneta, Renzo Motta, Roberta Berretti, Giada Bertini, Andrea Cutini, Gianfranco Fabbio, Davide Ascoli, Marco Conedera, Sebastian Marzini, Giorgio Vacchiano, Umberto Di Salvatore, Paolo Cantiani*, Fabrizio Ferretti, Roberta Proietti, Maria Cristina Monteverdi, Ilaria Dalla Vecchia, Enrico Bonis, Francesco Dellagiacoma, Antonio Brunori, Eleonora Mariano, Paolo Mori.

SUPPORTO EDITORIALE

Eduardo Antenucci - Università degli Studi del Molise
Giammarco Dadà - Compagnia delle Foreste
Laura Mazzi - Compagnia delle Foreste
Leda Tiezzi - Compagnia delle Foreste

PROGETTO GRAFICO E IMPAGINAZIONE

Maria Cristina Viara - Compagnia delle Foreste

FOTO

Tutte le foto provengono dall'archivio di Compagnia delle Foreste, tranne: pag. 29, 30, 31: Archivio Life GoProFor; pag. 53: Francesco Ripullone; pag. 59, 61: Roberta Berretti; pag. 75, 78: Davide Ascoli; pag. 80: Ugo Chiavetta; pag. 93: Umberto Di Salvatore; pag. 98: Archivio CREA Foreste e Legno

FORMA CONSIGLIATA DI CITAZIONE

GARFI V., TORREGGIANI L., 2023 (a cura di) - **Linee Guida per l'adattamento delle faggete all'emergenza climatica.**
Compagnia delle Foreste (AR), 132 pp. ISBN: 978-88-98850-48-8

Esempio contributi interni: CHIAVETTA U., 2023 - **Un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per la pianificazione e la gestione forestale delle faggete.**

In: GARFI V., TORREGGIANI L., 2023 (a cura di) - Linee Guida per l'adattamento delle faggete all'emergenza climatica. Compagnia delle Foreste (AR): 108-112. ISBN: 978-88-98850-48-8



EDITORE

Compagnia delle Foreste S.r.l.
Via Pietro Aretino 8, 52100 Arezzo (AR)
www.compagniadelleforeste.it

WWW.AFORCLIMATE.EU
info@aforclimate.eu



**Co-funded by
the European Union**

Publicazione realizzata con il contributo
dello strumento finanziario LIFE dell'UE
nell'ambito delle Azioni C3 ed E4 del progetto AForClimate
LIFE15 CCA/IT/000089



con il patrocinio della
Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale





SOMMARIO

- 06 | Introduzione**
- 09 | Capitolo 1** - L'indagine di AForClimate sulla risposta delle faggete ai cambiamenti climatici
- 19 | Capitolo 2** - Le Indagini conoscitive del progetto AForClimate
- 29 | Capitolo 3** - Esempi di buone pratiche dai progetti Life a livello nazionale e mediterraneo
- 53 | Capitolo 4** - Linee d'azione e di monitoraggio applicabili nel breve e nel medio-lungo periodo
- 97 | Capitolo 5** - Pianificazione forestale flessibile e adattabile ai cambiamenti climatici
- 107 | Capitolo 6** - Il sistema realizzato da AForClimate per supportare la gestione adattativa
- 115 | Capitolo 7** - Gestione adattativa ai cambiamenti climatici negli schemi di certificazione FSC® e PEFC
- 126 | Conclusioni**



INTRODUZIONE

Vittorio Garfi - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Luigi Torreggiani - Compagnia delle Foreste

Nel contesto del cambiamento climatico in atto, una delle nuove priorità della gestione forestale è favorire una maggiore resilienza dei popolamenti, spesso in forti situazioni di stress. Per fare questo occorre conoscere nel dettaglio come le variabili climatiche, principalmente temperatura e piovosità, influenzino la crescita delle piante. Conoscendo la risposta delle piante alla variabilità del clima e monitorando costantemente queste variabili, è possibile individuare quali aree della foresta sono in maggiore stress e, di conseguenza, intervenire selvicolturalmente, nell'ambito di Piani di gestione pensati per consentire più flessibilità che in passato.

Su queste basi il progetto AForClimate ha voluto introdurre, nel dibattito tecnico-scientifico italiano ed europeo, un'innovativa metodologia di pianificazione e di gestione forestale, studiata per garantire un miglior adattamento delle foreste, nello specifico delle faggete, ai cambiamenti climatici in atto.

Fin dalla fase di ideazione del progetto, la volontà dei partner è stata quella di costruire, alla fine del lungo percorso di lavoro, un documento contenente Linee guida per l'adattamento della gestione forestale al cambiamento climatico rivolte ai popolamenti di faggio. **L'idea era di realizzare una pubblicazione che, assieme alla sintesi dei risultati del progetto, riportasse anche le Buone Pratiche di altre esperienze, nazionali e non solo, che hanno indagato la possibilità di gestire in modo adattativo le faggete nel contesto della crisi climatica.**

**Le Linee guida
di AForClimate:
il frutto di un percorso
condiviso**

Proprio per questo motivo, la realizzazione del volume è andata di pari passo alla costituzione, da parte di AForClimate, del primo Tavolo tecnico nazionale realizzato in Italia sul tema dell'adattamento della gestione forestale al cambiamento climatico.

Oltre 30 esperti si sono riuniti in diversi incontri, formando quella che abbiamo definito "Comunità di pratiche". **Durante questi momenti di confronto e dibattito sono emerse numerose buone pratiche, realizzate a scala nazionale ed europea, interessanti e degne di nota**, provenienti sia da esperienze progettuali analoghe ad AForClimate (i progetti Life) sia da attività ordinarie di ricerca e sperimentazione portate avanti da Università e Istituti di ricerca.

Queste Linee guida rappresentano quindi, in sostanza, la sintesi di questo lungo lavoro di mappatura delle pratiche inerenti la gestione adattativa dei popolamenti di faggio, mescolate ai risultati originali portati dal progetto AForClimate.

Nel **primo capitolo**, il volume si apre con la sintesi di un'approfondita analisi bibliografica, realizzata nell'ambito del progetto, sulla variabilità nella risposta ai cambiamenti climatici delle faggete. Una base essenziale di conoscenza del problema per poi affrontare tutte le possibili soluzioni.

Il **secondo capitolo** è invece dedicato a due questioni conoscitive realizzate da AForClimate; il primo, a più ampia scala, rivolto agli addetti ai lavori del settore forestale con l'obiettivo di indagare la loro per-



cezione rispetto all'impatto della crisi climatica sugli ecosistemi forestali e di conoscere le soluzioni gestionali ritenute maggiormente efficaci; il secondo, rivolto unicamente ai funzionari delle Regioni e delle Province Autonome italiane, realizzato con l'obiettivo di indagare l'effettiva possibilità di rendere i piani di gestione forestale più flessibili nel prossimo futuro.

Il **terzo capitolo** apre le Linee guida alle esperienze raccolte dal Tavolo tecnico nazionale. Esso raccoglie sette esempi di buone pratiche derivanti da altrettanti progetti Life a livello nazionale e mediterraneo. È stato realizzato in collaborazione con i responsabili dei Progetti Life GoProFor, ResilForMed e ManFor C.BD.

Il **quarto capitolo** prosegue con l'esposizione delle esperienze raccolte dal Tavolo tecnico nazionale non solo legate a specifici progetti, ma ad attività di ricerca più ampie. In questo capitolo si tratta di monitoraggio degli impatti del cambiamento climatico sui sistemi forestali; di trattamento irregolare nel faggio; di governo ceduo nel contesto del cambiamento climatico; di dinamiche degli incendi nei soprassuoli di faggio e conseguenti possibili soluzioni gestionali. Chiudono il capitolo due importanti risultati di AForClimate: il lavoro di monitoraggio svolto dai partner nelle tre aree dimostrative del progetto (Mugello - Toscana, Monti del Matese - Molise e Monti Nebrodi - Sicilia) e la descrizione del modello previsionale per la pasciona del faggio.

Il **quinto capitolo** tratta invece di un tema cruciale per l'adattamento delle faggete nel medio-lungo periodo: la pianificazione forestale. Il tema è stato affrontato da esperti esterni al progetto che hanno fatto parte del Tavolo tecnico nazionale.

Il **sesto capitolo** è interamente dedicato al Sistema di Supporto alle decisioni realizzato nell'ambito di AForClimate per i gestori delle aree dimostrative e descrive gli algoritmi realizzati dal progetto per individuare, all'interno di un Piano di gestione, le particelle che stanno sperimentando uno stress climatico e nelle quali, di conseguenza, è prioritario intervenire.

Il **settimo e ultimo capitolo** si chiude con i contributi dei principali schemi di certificazione forestale (FSC® e PEFC), anch'essi coinvolti nel Tavolo tecnico nazionale, che spiegano come l'adattamento al cambiamento climatico si possa inserire negli obiettivi e nelle pratiche attuate nelle foreste certificate per la Gestione Forestale Sostenibile.

Questo volume, frutto da un lato delle azioni dirette di AForClimate, dall'altro del confronto costruttivo nato nel Tavolo tecnico nazionale promosso dal progetto, rappresenta **un'importante base di discussione per indirizzare le faggete italiane verso una concreta gestione adattativa**. Il nostro auspicio è che queste Linee guida possano essere aggiornate nel tempo e ampliate anche ad altre specie. Questo sarà possibile attraverso il lavoro di un Tavolo tecnico nazionale come quello proposto da AForClimate, che potrebbe diventare un luogo permanente di confronto e di sintesi volto a migliorare l'adattamento delle nostre foreste al cambiamento climatico.

Cogliamo questa occasione per ringraziare tutti coloro che hanno reso possibile, con impegno e professionalità, la realizzazione di questo volume.





CAPITOLO 1

L'INDAGINE DI AFORCLIMATE SULLA RISPOSTA DELLE FAGGETE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

1.1 Variabilità nella risposta ai cambiamenti climatici delle faggete: un'analisi bibliografica

1.1

Variabilità nella risposta ai cambiamenti climatici delle faggete: un'analisi bibliografica

Vittorio Garfi - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Eduardo Antenucci - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Serena Antonucci - DipAAA, Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università degli Studi del Molise

Marco Marchetti - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Il cambiamento climatico sta influenzando la salute degli ecosistemi forestali con ripercussioni sul tasso di crescita, sulla variazione nella distribuzione degli areali delle specie arboree e sull'eventuale diversificazione della composizione specifica dei popolamenti forestali. L'impatto del cambiamento climatico sul faggio europeo (*Fagus sylvatica* L.) è stato studiato negli anni attraverso indagini dendrocronologiche, metodi fenologici, tecniche di modellizzazione della distribuzione delle specie e approcci basati sui processi multilivello. La variazione in termini di produttività del faggio, così come la distribuzione della specie, per effetto del cambiamento climatico, risultano essere tematiche discusse dalla selvicoltura europea in quanto il faggio rappresenta una delle specie forestali più importanti dal punto di vista economico ed ecologico (GARAMSZEGI e KERN 2014).

Vi sono **opinioni differenti, e talora contrastanti, sul futuro della distribuzione delle specie vegetali** (VAN DER MAATEN 2012). Infatti, alcuni studi prevedono una diminuzione nella loro distribuzione rispetto al loro areale attuale (es. GESSLER *et al.* 2007, MÁTYÁS *et al.* 2010, Czúcz *et al.* 2011, HLÁSNY *et al.* 2011), mentre altri ipotizzano che ci possa essere un maggiore o minore potenziale di adattamento (es. DITTMAR *et al.* 2003, VAN DER MAATEN 2012, TEGEL *et al.* 2014). Tuttavia, alcuni modelli ecologici hanno identificato lo spostamento del periodo vegetativo generato dal cambiamento climatico come un potenziale beneficio per il faggio sul lungo periodo (SABATÉ *et al.* 2002). Diversi studi hanno cercato di definire i limiti climatici per la distribuzione del faggio il che significa, in genere, definire un limite xerico. Questi limiti xerici teorici sono ampiamente utilizzati per prevedere la futura distribuzione delle foreste a dominanza di faggio nell'Europa meridionale e centrale (es. Czúcz *et al.* 2011).

Effetti della variazione climatica su crescita e distribuzione del faggio

Lo studio delle relazioni tra clima e crescita può fornire informazioni pertinenti per determinare le proiezioni sulla distribuzione futura del faggio. Il clima mediterraneo è una particolare variante del clima temperato caratterizzato da un periodo estivo di deficit idrico (siccità) che copre l'intero Bacino Mediterraneo (BM) (KOTTEK *et al.* 2006). Negli ultimi decenni, l'aumento dei

fenomeni quali l'oscillazione del Niño-Sud (ENSO) e l'Oscillazione del Nord Atlantico (NAO) (Box 1.1-1) possono aver contribuito al verificarsi delle ondate di calore e degli episodi di siccità all'interno del bacino del Mediterraneo (LIONELLO *et al.* 2006) e condizioni climatiche miti e umide in Nord Europa. Al contrario, durante le fasi negative della NAO, i cicloni si spostano verso sud e le precipitazioni aumentano nel BM, mentre condizioni fredde e secche influenzano il Nord Europa (VISBECK *et al.* 2001). Alcuni studi (ad esempio: D'ARRIGO e JACOBY 1993, LINDERHOLM *et al.* 2008) hanno dimostrato come le variazioni NAO invernali esercitino un'influenza significativa sulla crescita degli alberi, così come le oscillazioni estive del Nord Atlantico possono avere effetti considerevoli sugli incrementi (LINDERHOLM *et al.* 2008). Il segnale della North Atlantic Oscillation (NAO) è stato individuato nell'ampiezza anulari delle faggete italiane dell'Appennino, contribuendo a spiegare il meccanismo di azione dei grandi *pattern* climatici atlantici (PIOVESAN e SCHIRONE 2000).

Il faggio è una specie altamente sensibile agli eventi climatici estremi nelle aree marginali a causa della sua elevata plasticità fenotipica (HACKET-PAIN *et al.* 2016). Tuttavia, potrebbe assumere un ruolo dominante tra le altre specie tardive, grazie al suo alto potenziale di resilienza (DYDERSKI *et al.* 2018, SÁENZ-ROMERO *et al.* 2019). **La distribuzione geografica del faggio dipende dalla bassa resistenza alla siccità estiva**, che maggiormente si verifica alle basse altitudini/latitudini, **e alle basse temperature soprattutto primaverili** (es. i fenomeni di gelate tardive e breve durata della stagione di crescita) che caratterizzano principalmente le alte altitudini/latitudini (MAXIME e HENDRIK 2011). Va inoltre fatto rilevare un forte calo nella rigenerazione del faggio (PEÑUELAS *et al.* 2007, LENOIR *et al.* 2009) e l'aumento dei tassi di mortalità a seguito di periodi prolungati di siccità (BERKI *et al.* 2009).

Negli anni con basso apporto idrico (cioè, con precipitazioni da novembre ad aprile inferiori a ~300 mm), le alte temperature possono aumentare lo stress da siccità e quindi diminuire la crescita, come osservato nella maggior parte delle aree dell'Europa temperata (ROZAS 2001, LEBOURGEOIS *et al.* 2004). Al contrario, gli anni con un elevato apporto di acqua al suolo e basse temperature possono comunque essere correlati ad una diminuzione della crescita dovuta ad un eccesso idrico, ad una ritardata riattivazione delle radici o ad una diminuzione della durata della stagione di crescita

(BECKER *et al.* 1994). Inoltre, le alte temperature estive sono anche legate a una maggiore respirazione e, quindi, a una minore disponibilità di carboidrati immagazzinati per la formazione precoce del legno nella primavera successiva (LEBOURGEOIS *et al.* 2004), con conseguente riduzione della crescita che, a lungo andare, potrebbe portare ad una ridotta vitalità della pianta. Secondo STOJINIĆ *et al.* (2013), i faggi che provengono da ambienti relativamente più umidi sono in grado maggiormente di far fronte a condizioni più xeriche, mentre la provenienza da stazioni con condizioni di clima più caldo, anche se simili in termini di precipitazioni annuali, porterebbe alla sofferenza di gelo tardivo a causa della diversa stagionalità delle temperature (KRAMER *et al.* 2017).

AUGUSTAITIS *et al.* (2015) hanno ipotizzato che i recenti cambiamenti ambientali globali abbiano favorito la migrazione a nord-est del faggio europeo al di fuori del suo areale di distribuzione. Per verificare questa ipotesi, è stata effettuata un'analisi dendrocronologica della serie di anelli di faggio in otto siti in Polonia e Lettonia. I risultati hanno messo in luce come il gelo nei mesi invernali e il caldo nel mese di giugno, insieme alla siccità nel periodo vegetativo, abbiano limitato la crescita del faggio al di fuori del suo areale di distribuzione naturale nell'Europa nordorientale. Secondo alcune previsioni, **la futura espansione e crescita del faggio in Europa sarà probabilmente limitata dal cambiamento climatico, guidato principalmente dalla mancanza di precipitazioni e da eventi siccitosi; tuttavia, l'aumento dei livelli di CO₂ potrebbe compensare gli effetti negativi della siccità** (GENNARETTI *et al.* 2020).

Clima e produttività del faggio

La crescita annuale delle specie forestali è influenzata da diversi fattori e la variazione annua delle ampiezze anulari può essere considerata come il frutto dell'in-

terazione del naturale *trend* di crescita annuale con il clima e i disturbi localizzati e diffusi i cui effetti possono interessare parte o l'intero popolamento forestale (COOK e KAIRIUKSTIS 1990)¹⁾.

A livello di popolamento, diversi studi hanno registrato un aumento della biomassa forestale negli ultimi 50 anni del secolo scorso (SPIECKER *et al.* 1996, BRÄKER 1996, BERT *et al.* 1997), anche se vi sono opinioni differenti. Infatti, alcuni studi riportano un aumento della produttività dei popolamenti di faggio tra il 1960 e il 2000, con un gradiente da est a ovest (PRETZSCH *et al.* 2014, BOSELA *et al.* 2016). Mentre altri studi riportano come le popolazioni di faggio in tutta Europa abbiano subito un calo dei tassi di crescita negli ultimi decenni lungo un gradiente latitudinale (BOSELA *et al.* 2018, MARTINEZ DEL CASTILLO *et al.* 2022).

L'inizio della produzione legnosa dipende principalmente dalla temperatura primaverile e dal suo accumulo termico nel lungo periodo (JEŽIĆ *et al.* 2011). Inoltre, le soglie termiche per l'inizio e la fine della xilogenesi sembrano essere importanti per la produzione e la maturazione dello xilema stesso (LIANG e CAMARERO 2018). Tuttavia, le temperature estremamente elevate nella tarda primavera e all'inizio dell'estate causano un brusco calo nella crescita del fusto. Mentre i recenti studi sulla fenologia cambiale confermano che la pre-

1) L'analisi degli anelli legnosi può essere utile per studi retrospettivi che valutano i cambiamenti nella produttività a lungo termine e il sequestro di carbonio (C) nei soprassuoli forestali. Gli anelli sono in grado di fornire una stima quantitativa della biomassa prodotta. Difatti, sono già stati utilizzati per valutare le tendenze della produttività primaria del soprassuolo a livello di popolamento (ad es. GRAUMLICH *et al.* 1989) e per valutare gli andamenti di sequestro di carbonio (YANAI *et al.* 2000, MUND *et al.* 2002). Alcuni studi hanno indicato che l'aumento di CO₂ induce un aumento della larghezza degli anelli degli alberi (ad es. LAMARCHE e HIRSCHBOECK 1984, NICOLUSSI *et al.* 1995), mentre altri dati indicano una mancanza di correlazione tra queste variabili (es. KIENAST e LUXMOORE 1988, BRIFFA *et al.* 1990).

BOX 1.1-1

NAO e ENSO

La NAO (North Atlantic Oscillation) è caratterizzata da un'oscillazione della massa atmosferica tra l'Artico e l'Atlantico subtropicale. Quando la NAO è in fase "positiva", il gradiente di pressione meridionale invernale sull'Atlantico settentrionale risulta essere ampio, perché il centro di bassa pressione islandese e il centro di alta pressione delle Azzorre sono entrambi rafforzati. Entrambi i centri si indeboliscono durante la fase "negativa". Le variazioni del gradiente di pressione da una fase all'altra producono grandi cambiamenti nella velocità e nella direzione media del vento che investe l'Atlantico settentrionale. Anche il trasporto di calore e umidità tra l'Atlantico e i continenti circostanti varia notevolmente, così come l'intensità e il numero delle tempeste invernali, i loro percorsi e il tempo ad esse associato (tratto da HURRELL *et al.* 2001).

Il ciclo El Niño-Southern Oscillation (ENSO), una fluttuazione tra condizioni insolitamente calde (El Niño) e fredde (La Niña) nel Pacifico tropicale, è la più importante variazione climatica annuale sulla Terra. El Niño e La Niña si ripetono in genere ogni 2-7 anni e si sviluppano in associazione alle oscillazioni dell'Oscillazione Meridionale, un modello di pressione atmosferica che attraversa gli oceani tropicali Indiano e Pacifico e che è intimamente legato alla forza degli alisei del Pacifico. L'ENSO è unico tra i fenomeni climatici per la sua forza, prevedibilità e influenza globale, proiettandosi oltre il Pacifico tropicale attraverso teleconnessioni atmosferiche che influenzano i modelli di variabilità meteorologica in tutto il mondo (McPHADEN *et al.* 2006).

precipitazione non è un fattore limitante durante la xilogenesi del faggio, in particolare, all'interno del suo areale naturale di distribuzione (PRISLAN *et al.* 2018).

Infine, va fatto rilevare che la radiazione solare può influenzare le condizioni idrologiche dei fusti di faggio, causando una carenza d'acqua durante l'estate (GESSLER *et al.* 2001) che, insieme all'aumento della traspirazione dovuta all'alta temperatura, può influenzare negativamente il potenziale idrico delle foglie (KÖCHER *et al.* 2009) e, quindi, la variazione di circonferenza del fusto (BETSCH *et al.* 2011).

Il ruolo dell'altitudine

L'altitudine esercita un ruolo importante sullo sviluppo diametrico del faggio e, quindi, sull'accrescimento in generale. Studi condotti su popolamenti compresi tra quota 200 e 1.500 m s.l.m., di età tra 200 e 400 anni, hanno messo in evidenza la variazione dello spessore degli anelli legnosi che in passato aumentava da tre a quattro volte da siti di alta a quelli di bassa quota (DI FILIPPO *et al.* 2007). Tale variazione spaziale nella crescita radiale dei fusti è stata spiegata dalle differenze ambientali associate al gradiente di elevazione, come ad esempio una diminuzione della temperatura e della durata della stagione di crescita generata da una maggiore altitudine.

Tuttavia, i risultati dei rilievi dendroclimatici effettuati sempre nello stesso studio (DI FILIPPO *et al.* 2007) indicano un gradiente ambientale di crescente siccità estiva che influenza negativamente i siti a bassa altitudine, mentre quelli ad alta quota mostrano un impatto positivo. Anche lo studio svolto da CHEN *et al.* (2015), che ha preso in esame 9 campioni di faggio nelle aree marginali della Penisola iberica, dell'Italia e della Bulgaria durante la primavera e l'estate del 2013, evidenzia come le alte temperature dell'estate possono influire negativamente sulla formazione degli anelli legnosi del

faggio durante la stagione vegetativa. Va comunque fatto rilevare che, vicino al limite superiore della sua gamma altitudinale, il faggio beneficia di temperature più elevate, ma soffre a cause di eccessive precipitazioni in tarda primavera (maggio) e durante l'estate.

In sintesi, **la crisi climatica in atto, con aumento delle temperature e riduzioni delle precipitazioni, favorirà sempre più la migrazione del faggio verso quote più elevate.**

Interazione suolo-faggio nello scenario del cambiamento climatico

Negli ecosistemi forestali, l'influenza specifica delle risorse pedologiche sulla produttività del popolamento risulta di difficile valutazione a causa dell'interazione di molte altre variabili ecologiche che influenzano la crescita degli alberi. In uno studio (CALVARUSO *et al.* 2017) è stato analizzato il rapporto tra le risorse nutritive del suolo e la crescita e la nutrizione minerale di faggi maturi nella foresta del Nord-Est della Francia (Montiers, parte occidentale della Lorena) in un gradiente naturale del suolo: da quello calcico poco profondo a quello acido profondo, in condizioni di clima, deposizioni atmosferiche, composizione e gestione simile. Le risorse del suolo sono state valutate attraverso la quantificazione delle scorte di acqua disponibile e di nutrienti minerali (Ca, Mg, K e P2.5).

Le osservazioni condotte nell'area di studio suggeriscono che la colonizzazione efficiente delle radici, così come un efficiente ciclo di nutrienti, può consentire di mantenere la crescita del popolamento e la nutrizione su terreni con basse riserve di acqua e nutrienti. Le radici possono accedere alle fonti di nutrienti e di acqua colonizzando l'orizzonte profondo del suolo (DIJKSTRA e SMITS 2002, BRÉDA *et al.* 2006). Questa strategia è di



grande importanza durante i periodi di siccità estiva perché le riserve idriche degli orizzonti dei suoli superficiali sono esaurite. È stato osservato, invece, che la produttività potenziale delle foreste di faggio è diminuita in modo significativo in condizioni di suolo sfavorevoli come il suolo poco profondo o con limitazione di potassio (K) o nei "rendisol" (Box 11-2).

La capacità delle piante di rispondere in modo appropriato alla disponibilità di acqua e nutrienti è di fondamentale importanza per il loro adattamento all'ambiente. Gli ecosistemi forestali che crescono su terreni a basso contenuto di nutrienti sono noti per riciclare in modo efficiente gli elementi attraverso processi biologici e biochimici come la traslocazione degli stessi all'interno degli alberi, la formazione e la mineralizzazione di grandi quantità di materia organica restituita al suolo attraverso la lettiera (VAUGHAN e MALCOLM 1985, TIESSEN *et al.* 1994, VAN DER HEIJDEN *et al.* 2013). Questa strategia permette la conservazione degli *stock* di elementi a bassa concentrazione nei suoli. In sintesi, così come suggerito da LEGOUT *et al.* (2014), **il contributo dei processi biologici al ciclo dell'acqua e dei nutrienti può quindi diventare dominante rispetto ai processi geochimici in condizioni di carenza di nutrienti.**

Fruttificazione del faggio e accrescimento

L'aumento delle temperature a causa del cambiamento climatico sembra generare un aumento della frequenza delle annate con un'elevata produzione di semi nelle faggete europee (pasciona) (DROBYSHV *et al.* 2010). **Poiché l'alta produzione di semi ha un costo elevato in termini di consumo di risorse, la crescita radiale del fusto negli anni di pasciona, e a volte anche negli anni successivi, risulta essere inferiore a quelle annate caratterizzate da assenza di produzione di semi** (MUND

et al. 2010, HACKET-PAIN *et al.* 2015, MÜLLER-HAUBOLD *et al.* 2015). Tutto ciò deriva dall'investimento delle risorse, come C ed N, di solito usate per la crescita radiale, per produrre grandi quantità di semi, il che ne riduce la crescita (*growth-reproduction trade-off*, HACKET-PAIN *et al.* 2015). Alcuni studi affermano che le alte temperature o l'elevata radiazione solare dell'estate precedente funzionino come fattori scatenanti di un'elevata produzione di semi (MÜLLER-HAUBOLD *et al.* 2015), suggerendo dunque come gli andamenti climatici futuri potrebbero influenzare la produttività di queste foreste e i loro cicli biogeochimici.

Ulteriori approfondimenti sono riportati nel Capitolo 4.5.

Fenologia e clima

Gli alberi rispondono prontamente alle mutevoli condizioni meteorologiche modificando i tempi delle fasi fenologiche fogliari e xilematiche (MENZEL e ESTRELLA 2001), ed è per questo che il monitoraggio delle fasi di fenologia fogliare e dello xilema può rivelare le risposte delle specie alle condizioni climatiche locali e/o regionali (CHMIELEWSKI e RÖTZER 2001).

Nei climi temperati, la tempistica delle varie fasi fenologiche dipende soprattutto dalla combinazione tra temperatura (VITASSE *et al.* 2011) e segnali fotoperiodici (WAY e MONTGOMERY 2015). **L'aumento della temperatura negli ultimi decenni ha causato, però, lo spostamento delle fasi fenologiche, determinando un allungamento della potenziale stagione di crescita** (PIAO *et al.* 2008). Le fasi fenologiche autunnali mostrano solitamente limitate variazioni intra-annuali (CHMIELEWSKI e RÖTZER 2001); pertanto, l'allungamento della stagione di crescita può essere attribuito alla variabilità nelle fasi primaverili (VITASSE *et al.* 2011). Una stagione di crescita più lunga e una maggiore attività fotosintetica possono portare a un maggiore sequestro del carbonio (PIAO *et al.* 2008) o a tassi più elevati di fotosintesi (POLGAR e PRIMACK 2011). La ricerca condotta da KOLÁŘ *et al.* (2016) nelle Drahany Highlands (Repubblica Ceca), monitorando la fenologia fogliare per 20 anni, utilizzando 10 alberi di faggio a cui ne sono stati poi aggiunti altri 7 per analisi dendrocronologiche, ha messo in luce tendenze diverse per gli eventi primaverili e autunnali che caratterizzano il periodo di crescita: il dispiegamento fogliare (inizio periodo) è rimasto invariato nel corso degli anni di studio e si è verificato alla fine di aprile o all'inizio di maggio; invece, la colorazione autunnale delle foglie (fine periodo) è avvenuta, negli ultimi anni, tardivamente, verificandosi agli inizi di novembre, cioè quando le foglie erano già cadute nella maggior parte degli anni precedenti. Diversi studi (ad es. CHUINE 2010) hanno dimostrato che **la temperatura (minima, media e massima) influenza in modo significativo la fenologia fogliare principalmente anticipando lo schiudersi delle gemme fogliari; invece, la senescenza autunnale è influenzata principalmente dal deficit di acqua nel suolo veicolato sempre dalla temperatura.** Diversi studi riportano l'estensione della stagione vegetativa dovuta dall'anticipazione dell'emissione fogliare primaverile (ad esempio, CHMIELEWSKI e RÖTZER 2001), ad altitudini più elevate di circa 1.000 m s.l.m., ed il ritardo nelle fasi di senescenza autunnale (DELPIERRE *et al.* 2009), o entrambi (HÁJKOVÁ *et al.* 2010). Ulteriori approfondimenti sono riportati nel Capitolo 5.2.

BOX 11-2

Rendisol

I Rendisol appartengono al gruppo dei Leptosuoli, che sono i suoli più estesi al mondo. I Leptosuoli si concentrano soprattutto sulle zone montuose e in quelle aree in cui il suolo è stato intensamente eroso, come lungo i corsi dei fiumi. Questi suoli sono contraddistinti da una profondità limitata con la presenza della roccia madre entro i 25 cm dalla superficie, oppure particolarmente ricchi in carbonato di calcio (>40% entro 25 cm dalla superficie). I Leptosuoli di colore scuro, ricchi di humus, vengono definiti rendisuoli.

Fonte: ISRIC - World Soil Foundation.

Conclusioni

L'analisi condotta fa emergere un quadro a volte chiaro e univoco, altre volte in contrasto, sulle modalità di risposta del faggio ai cambiamenti climatici a seconda delle condizioni geografiche/stazionali in cui i popolamenti studiati si trovano. Il riscaldamento globale spinge i ricercatori forestali a riconsiderare la gestione tradizionale per adattare e preservare le foreste di faggio e i servizi ecosistemici che forniscono.

Lo studio della crescita degli alberi, la determinazione della risposta della rigenerazione dei semi e delle diverse provenienze ai trattamenti selvicolturali forniscono una guida utile per orientare la selvicoltura del faggio in una prospettiva a lungo termine. Tuttavia, **per poter definire adeguate opzioni gestionali in uno scenario mutevole e per far fronte ai cambiamenti climatici in atto, è necessario approfondire le modalità di risposta attraverso una rete di monitoraggio multi-obiettivo, continua e di lungo periodo.**

BIBLIOGRAFIA

- AUGUSTAITIS A., KLIUČIUS A., MAROZAS V., PILKAUSKAS M., AUGUSTAITIENE I., VITAS A., STASZEWSKI T., JANSONIS A., DREIMANIS A., 2015 - **Sensitivity of European beech trees to unfavorable environmental factors on the edge and outside of their distribution range in northeastern Europe.** *Iforest*, 9, 259-269. <https://doi.org/10.3832/ifor1398-008>
- BECKER M., NIEMINEN T. M., GÉRÉMIA F., 1994 - **Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France.** The role of climate and atmospheric CO₂. *Ann. For. Sci.*, 51(5), 477-492. <https://doi.org/10.1051/forest:19940504>
- BERKI I., RASZTOVITS E., MORICZ N., MÁTYÁS C., 2009 - **Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary.** *Cereal Research Communications*, 37, 613-616. www.jstor.org/stable/90003497
- BERT D., LEAVITT S. W., DUPOUEY J.L., 1997 - **Variations of wood δ13C and water-use efficiency of *Abies alba* during the last century.** *Ecology*, 78(5), 1588-1596. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1588:VOWCAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1588:VOWCAW]2.0.CO;2)
- BETSCH P., BONAL D., BREDA N., MONTPIED P., PEIFFER M., TUZET A., GRANIER A., 2011 - **Drought effects on water relations in beech: The contribution of exchangeable water reservoirs.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(5), 531-543. <https://doi.org/10.1016/j.agrfor.2010.12.008>
- BOSELA M., LUKAC M., CASTAGNERI D., SEDMÁK R., BIBER P., CARRER M., KONÓPKA B., NOLA P., NAGEL T.A., POPA I., 2018 - **Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe.** *Sci. Total Environ.* 615, 1460-1469.
- BOSELA M., ŠTEFANČÍK I., PETRÁŠ R., VACEK S., 2016 - **The effects of climate warming on the growth of European beech forests depend critically on thinning strategy and site productivity.** *Agric For Meteorol.* Elsevier; 222:21-31.
- BRÄKER O. U., 1996 - **Growth Trends of Swiss Forests: Tree-Ring Data. Case Study Toppwald.** In H. SPIEKER, K. MIELIKÄINEN, M. KÖHL, J. P. SKOVSGAARD (Eds.), *Growth Trends in European Forests: Studies from 12 Countries* (pp. 199-217). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-61178-0_16
- BREDA N., HUC R., GRANIER A., DREYER E., 2006 - **Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences.** *Ann. For. Sci.*, 63(6), 625-644. <https://doi.org/10.1051/forest:2006042>
- BRIFFA K. R., BARTHOLIN T. S., ECKSTEIN D., JONES P. D., KARLÉN W., SCHWEINGRUBER F. H., ZETTERBERG P., 1990 - **A 1,400-year tree-ring record of summer temperatures in Fennoscandia.** *Nature*, 346(6283), 434-439. <https://doi.org/10.1038/346434a0>
- CALVARUSO C., KIRCHEN G., SAINT-ANDRÉ L., REDON P. O., TURPAULT M. P., 2017 - **Relationship between soil nutritive resources and the growth and mineral nutrition of a beech (*Fagus sylvatica*) stand along a soil sequence.** *Catena*, 155, 156-169. doi: 10.1016/j.catena.2017.03.013
- CHEN K., DORADO-LIÑÁN I., AKHMETZANOV L., GEA-IZQUIERDO G., ZLATANOV T., MENZEL A., 2015 - **Influence of climate drivers and the North Atlantic oscillation on beech growth at marginal sites across the Mediterranean.** *Climate Research*, 66(3), 229-242. <https://doi.org/10.3354/cr01345>
- CHMIELEWSKI F. M., RÖTZER T., 2001 - **Response of tree phenology to climate change across Europe.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 108(2), 101-112. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00233-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00233-7)
- COOK E.R., KAIRUKSTIS L.A., 1990 - **Methods of Dendrochronology.** Dordrecht, Netherlands: Kluwer. 394 pp.
- CHUINE I., 2010 - **Why does phenology drive species distribution?** *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365, 3149-3160. doi:10.1098/rstb.2010.0142
- CZÚCZ B., GÁLHIDY L., MÁTYÁS C., 2011 - **Present and forecasted xeric climatic limits of beech and sessile oak distribution at low altitudes in Central Europe.** *Annals of Forest Science*, 68(1), 99-108. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0011-4>
- D'ARRIGO R. D., JACOBY G. C., 1993 - **Secular trends in high northern latitude temperature reconstructions based on tree rings.** *Climatic Change*, 25 (2), 163-177. <https://doi.org/10.1007/BF01661204>
- DELPPIERRE N., DUFRÈNE E., SOUDANI K., ULRICH E., CECCHINI S., BOÉ J., FRANÇOIS C., 2009 - **Modelling interannual and spatial variability of leaf senescence for three deciduous tree species in France.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6), 938-948. <https://doi.org/10.1016/j.agrfor.2008.11.014>
- DI FILIPPO A., BIONDI F., CUFAR K., DE LUIS M., GRABNER M., MAUGERI M., SABA E.P., SCHIRONE B., PIOVESAN G., 2007 - **Bioclimatology of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Eastern Alps: spatial and altitudinal climatic signals identified through a tree-ring network.** *Journal of Biogeography* 34 (11), 1873-1892. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2007.01747.x>
- DIJKSTRA, F. A., & SMITS, M. M. (2002). **Tree species effects on calcium cycling: the role of calcium uptake in deep soils.** *Ecosystems*, 5(4), 385-398. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0082-4>
- DITTMAR C., ZECH W., ELLING W., 2003 - **Growth variations of Common beech (*Fagus sylvatica* L.) under different climatic and environmental conditions in Europe a dendroecological study.** *Forest Ecology and Management* 173(1): 63-78. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00816-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00816-7)
- DROBYSHEV I., ÖVERGAARD R., SAYGIN I., NIKLASSON M., HICKLER T., KARLSSON M., SYKES M. T., 2010 - **Masting behaviour and dendrochronology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in southern Sweden.** *Forest Ecology and Management*, 259(11), 2160-2171. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.01.037>
- DYDERSKI M.K., PAŻ S., FRELICH L.E., JAGODZIŃSKI A.M., 2018 - **How much does climate change threaten European forest tree species distributions?** *Glob Change Biol.* 24: 1150-1163. <https://doi.org/10.1111/gcb.13925>
- GARAMSZEGI B., KERN Z., 2014 - **Climate influence on radial growth of *Fagus sylvatica* growing near the edge of its distribution in Bükk Mts., Hungary.** *Dendrobiology*, 72, 93-102. <https://doi.org/10.12657/denbio.072.008>
- GENNARETTI F., OGEE, J., SAINTE-MARIE J., CUNTZ M., 2020 - **Mining ecophysiological responses of European beech ecosystems to drought.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 280, 107780.
- GESSELER A., KEITEL C., KREUZWIESER J., MATYSSER R., SEILER W., RENNENBERG H., 2007 - **Potential risks for European beech (*Fagus sylvatica* L.) in a changing climate.** *Trees*. Springer;21:1-11.
- GESSELER A., SCHREMPF S., MATZARAKIS A., MAYER H., RENNENBERG H., ADAMS M. A., 2001 - **Radiation modifies the effect of water availability on the carbon isotope composition of beech (*Fagus sylvatica*).** *New Phytologist*, 150(3), 653-664. <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00136.x>
- GRAUMLICH L. J., BRUBAKER L. B., GRIER C. C., 1989 - **Long-Term Trends in Forest Net Primary Productivity: Cascade Mountains, Washington.** *Ecology*, 70(2), 405-410. <https://doi.org/10.2307/1937545>
- HACKET-PAIN A. J., ASCOLI D., VACCHIANO G., BIONDI F., CAVIN L., CONEDERA M., DROBYSHEV I., LIÑÁN I. D., FRIEND A. D., GRABNER M., HARTL C., KREYLING J., LEBOURGEOIS F., LEVANIĆ T., MENZEL A., VAN DER MAATEN E., VAN DER MAATEN-THEUNISSEN M., MUFFLER L., MOTTA R., ... ZANG C. S., 2018 - **Climatically controlled reproduction drives interannual growth variability in a temperate tree species.** *Ecology Letters*, 21(12), 1833-1844. <https://doi.org/10.1111/ele.13158>

- HACKET-PAIN A. J., CAVIN L., FRIEND A. D., JUMP A. S., 2016 - **Consistent limitation of growth by high temperature and low precipitation from range core to southern edge of European beech indicates widespread vulnerability to changing climate.** *European Journal of Forest Research*, 135(5), 897–909. <https://doi.org/10.1007/s10342-016-0982-7>
- HACKET-PAIN A. J., FRIEND A. D., LAGEARD J. G. A., THOMAS P. A., 2015 - **The influence of masting phenomenon on growth-climate relationships in trees: explaining the influence of previous summers' climate on ring width.** *Tree Physiology*, 35(3), 319–330. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv007>
- HÁJKOVÁ L., NEKOVÁŘ J., RICHTEROVÁ D., 2010 - **Assessment of vegetative phenological phases of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in relation to effective temperature during period of 1992–2008 in Czechia.** *Folia Oecologica*, 37(2), 152–161.
- HLÁSNÝ T., BARCZA Z., FABRIKA M., BALÁZS B., CHURKINA G., PAJTIK J., SEDMÁK R., TURČÁNI M., 2011 - **Climate change impacts on growth and carbon balance of forests in Central Europe.** *Climate Research*, 47(3), 219–236. <https://doi.org/10.3354/cr01024>
- HURRELL J. W., KUSHNIR Y., VISBECK M., 2001 - **The North Atlantic Oscillation.** *Science*, 291 (5504), 603–605. <https://doi.org/10.1126/science.1058761>
- ISRIC, sito web: www.isric.org/explore/world-soil-distribution/leptosols consultazione in data: 24/10/2023
- JEŽÍK M., BLAŽENEC M., STŘELCOVÁ K., DITMAROVÁ L., 2011 - **The impact of the 2003–2008 weather variability on intra-annual stem diameter changes of beech trees at a submontane site in central Slovakia.** *Dendrochronologia*, 29 (4), 227–235. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.009>
- KIENAST F., LUXMOORE R. J., 1988 - **Tree-ring analysis and conifer growth responses to increased atmospheric CO₂ levels.** *Oecologia*, 76(4), 487–495. <https://doi.org/10.1007/BF00397859>
- KÖCHER P., GEBAUER T., HORNA V., LEUSCHNER, C., 2009 - **Leaf water status and stem xylem flux in relation to soil drought in five temperate broad-leaved tree species with contrasting water use strategies.** *Annals of Forest Science*, 66(1), 101–101. <https://doi.org/10.1051/forest/2008076>
- KOLÁŘ T., GIAGLI K., TRNKA M., BEDNÁŘOVÁ E., VAVRČEK H., RYBNÍČEK M., 2016 - **Response of the leaf phenology and tree-ring width of European beech to climate variability.** *Silva Fennica* vol. 50 no. 2 article id 1520. <https://doi.org/10.14214/sf1520>
- KOTTEK M., GRIESER J., BECK C., RUDOLF, B., RUBEL F., 2006 - **World map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- KRAMER K., DUCOUSO A., GÓMORY D., HANSEN J. K., IONITA L., LIESEBACH M., LORENTZ A., SCHÜLLER S., SULKOWSKA M., DE VRIES S., VON WÜHLISCH G., 2017 - **Chilling and forcing requirements for foliage bud burst of European beech (*Fagus sylvatica* L.) differ between provenances and are phenotypically plastic.** *Agricultural and Forest Meteorology*, 234–235, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.002>
- LA MARCHÉ V. C., HIRSCHBOECK K. K., 1984 - **Frost rings in trees as records of major volcanic eruptions.** *Nature*, 307(5947), 121–126. <https://doi.org/10.1038/307121a0>
- LEBOURGEOIS F., COUSSEAU G., DUCOS Y., 2004 - **Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe, France).** *Annals of Forest Science*, 61(4), 361–372. <https://doi.org/10.1051/forest:2004029>
- LEGOUT A., HANSSON K., HEIJDEN VAN DER G., LACLAU J. P., AUGUSTO L., RANGER J., 2014 - **Chemical fertility of forest soils: Basic concepts.** *Revue forestière française*, 66. doi: 10.4267/2042/56262
- LENOIR J., GÉGOUT J.C., PIERRAT J.C., BONTEMPS J.D., DHÔTE J.F., 2009 - **Differences between tree species seedling and adult altitudinal distribution in mountain forests during the recent warm period (1986–2006).** *Ecography*, 32(5), 765–777. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05791.x>
- LIANG E., CAMARERO J.J., 2018 - **Threshold-dependent and non-linear associations between temperature and tree growth at and below the alpine treeline.** *Trees*, 32(2), 661–662.
- LINDERHOLM H. W., WALTHER A., CHEN D., 2008 - **Twentieth-century trends in the thermal growing season in the Greater Baltic Area.** *Climatic Change*, 87 (3), 405–419. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9327-3>
- LIONELLO P., MALANOTTE-RIZZOLI P., BOSCOLO R., ALPERT P., ARTALE V., LI L., LUTERBACHER J., MAY W., TRIGO R., TSIMPLIS M., ULBRICH U., XOPLAKI E., 2006 - **The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues.** *Developments in Earth and Environmental Sciences*, 4(C), 1–26. [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80003-0)
- MARTINEZ DEL CASTILLO E., ZANG C.S., BURAS A., et al., 2022 - **Climate-change-driven growth decline of European beech forests.** *Commun Biol* 5, 163 <https://doi.org/10.1038/s42003-022-03107-3>
- MÁTYÁS C., BERKI I., CZÚCZ B., GÁLOS B., MÓRICZ N., RASZTOVIS E., 2010 - **Future of beech in southeast Europe from the perspective of evolutionary ecology.** *Acta Silvatica Et Lignaria Hungarica*, 6, 91–110.
- MAXIME C., HENDRIK D., 2011 - **Effects of climate on diameter growth of co-occurring *Fagus sylvatica* and *Abies alba* along an altitudinal gradient.** *Trees*, 25(2), 265–276. <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0503-0>
- MCPHADEN M. J., ZEBIAK S. E., GLANTZ M. H., 2006 - **ENSO as an Integrating Concept in Earth Science.** *Science*, 314(5806), 1740–1745. <https://doi.org/10.1126/science.1132588>
- MENZEL A., ESTRELLA N., 2001 - **Plant Phenological Changes.** In G.R. WALTHER, C. A. BURGA, P. J. EDWARDS (Eds.), "Fingerprints" of Climate Change: Adapted Behaviour and Shifting Species Ranges (pp. 123–137). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8692-4_8
- MÜLLER-HAUBOLD H., HERTEL D., LEUSCHNER C., 2015 - **Climatic Drivers of Mast Fruiting in European Beech and Resulting C and N Allocation Shifts.** *Ecosystems*, 18(6), 1083–1100. <https://doi.org/10.1007/s10021-015-9885-6>
- MUND M., KUMMETZ E., HEIN M., BAUER G.A., SCHULZE E.D., 2002 - **Growth and carbon stocks of a spruce forest chronosequence in central Europe.** *Forest Ecology and Management*, 171(3), 275–296. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00788-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00788-5)
- MUND M., KUTSCH W. L., WIRTH C., KAHL T., KNOHL A., SKOMARKOVA M. V., SCHULZE E.D., 2010 - **The influence of climate and fructification on the inter-annual variability of stem growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forest.** *Tree Physiology*, 30(6), 689–704. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq027>
- NICOLUSSI K., BORTENSCHLAGER S., KÖRNER C., 1995 - **Increase in tree-ring width in subalpine *Pinus cembra* from the central Alps that may be CO₂-related.** *Trees*, 9(4), 181–189. <https://doi.org/10.1007/BF00195270>
- PENUELAS J., OGAYA R., BOADA M. S., JUMP A., 2007 - **Migration, invasion and decline: changes in recruitment and forest structure in a warming-linked shift of European beech forest in Catalonia (NE Spain).** *Ecography*, 30(6), 829–837. <https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05247.x>
- PIAO S., CHAIS P., FRIEDLINGSTEIN P., PEYLIN P., REICHSTEIN M., LUYSSAERT S., MARGOLIS H., FANG J., BARR A., CHEN A., GRELE A., HOLLINGER D. Y., LAURILA T., LINDROTH A., RICHARDSON A. D., VESALA T., 2008 - **Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming.** *Nature*, 451(7174), 49–52. <https://doi.org/10.1038/nature06444>
- PIOVESAN G., SCHIRONE B., 2000 - **Winter North Atlantic oscillation effects on the tree rings of the Italian beech (*Fagus sylvatica* L.).** *International Journal of Biometeorology*, 44(3), 121–127. <https://doi.org/10.1007/s004840000055>
- POLGAR C. A., PRIMACK R. B., 2011 - **Leaf-out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems.** *New Phytologist*, 191(4), 926–941. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03803.x>
- PRETZSCH H., BIBER P., SCHÜTZE G., UHL E., RÖTZER T., 2014 - **Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870.** *Nat. Commun.* 5, 1–10. <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>
- PRISLAN P., ČUFAR K., DE LUIS M., GRICAR J., 2018 - **Precipitation is not limiting for xylem formation dynamics and vessel development in European beech from two temperate forest sites.** *Tree Physiology*, 38(2), 186–197. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx167>
- ROZAS V., 2001 - **Detecting the impact of climate and disturbances on tree-rings of *Fagus sylvatica* L. and *Quercus robur* L. in a lowland forest in Cantabria, Northern Spain.** *Ann. For. Sci.*, 58(3), 237–251. <https://doi.org/10.1051/forest:2001123>
- SABATÉ S., GRACIA C. A., SÁNCHEZ A., 2002 - **Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region.** *Forest Ecology and Management*, 162(1): 23–37. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00048-8)
- SÁENZ-ROMERO C., KREMER A., NAGY L., ÚJVÁRI-JÁRMAY É., DUCOUSO A., KÓCZÁN-HORVÁTH A., HANSEN J.K., MÁTYÁS C., 2019 - **Common garden comparisons confirm inherited differences in sensitivity to climate change between forest tree species.** *PeerJ* 7:6213. <https://doi.org/10.7717/peerj.6213>
- SPIECKER H., MIELIKÄINEN K., KOHL M., SKOVSGAARD J.P., 1996, (eds.) - **Growth trends in European forests: studies from 12 countries.** *European Forest Institute Research Report No. 5.* Springer, 372 p.

STOJNIC S., SASS-KLAASSEN U., ORLOVIC S., MATOVIC B., EILMANN B., 2013 - **Plastic growth response of European beech provenances to dry site conditions.** IAWA Journal, 34(4), 475-484. <https://doi.org/10.1163/22941932-00000038>

TEGEL W., SEIM A., HAKELBERG D., HOFFMANN S., PANEV M., WESTPHAL T., BÜNTGEN U., 2014 - **A recent growth increase of European beech (*Fagus sylvatica* L.) at its Mediterranean distribution limit contradicts drought stress.** European Journal of Forest Research, 133(1), 61-71. <https://doi.org/10.1007/s10342-013-0737-7>

TIESSEN H., CUEVAS E., CHACON P., 1994 - **The role of soil organic matter in sustaining soil fertility.** Nature, 371(6500), 783-785. <https://doi.org/10.1038/371783a0>

VAN DER HEIJDEN G., LEGOUT A., MIDWOOD A. J., CRAIG C.A., POLLIER B., RANGER J., DAMBERNE E., 2013 - **Mg and Ca root uptake and vertical transfer in soils assessed by an in situ ecosystem-scale multi-isotopic (26Mg & 44Ca) tracing experiment in a beech stand (Breuil-Chenue, France).** Plant and Soil, 369(1), 33-45. <https://doi.org/10.1007/s11104-012-1542-7>

VAN DER MAATEN E., 2012 - **Climate sensitivity of radial growth in European beech (*Fagus sylvatica* L.) at different aspects in southwestern Germany.** Trees - Structure and Function, 26(3), 777-788. <https://doi.org/10.1007/s00468-011-0645-8>

VAUGHAN D., MALCOLM R. E., 1985 - **Influence of Humic Substances on Growth and Physiological Processes.** In D. VAUGHAN e R. E. MALCOLM (Eds.), Soil Organic Matter and Biological Activity (pp. 37-75). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-5105-1_2

VISBECK M. H., HURRELL J. W., POLVANI L., CULLEN H. M., 2001 - **The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future.** In PNAS November (Vol. 6, Issue 23). www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.231391598

VITASSE Y., FRANÇOIS C., DELPIERRE N., DUFRÉNE E., KREMER A., CHUINE I., DELZON S., 2011 - **Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees.** Agricultural and Forest Meteorology, 151(7), 969-980. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.003>

WAY D.A., MONTGOMERY R.A., 2015 - **Photoperiod constraints on tree phenology, performance and migration in a warming world.** Plant, Cell & Environment, 38(9), 1725-1736. <https://doi.org/10.1111/pce.12431>

YANAI R. D., ARTHUR M. A., SICCAMA T. G., FEDERER C. A., 2000 - **Challenges of measuring forest floor organic matter dynamics: Repeated measures from a chronosequence.** Forest Ecology and Management, 138(1), 273-283. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00402-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00402-3)

AUTORI

Vittorio Garfi, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise.
E-mail: vittorio.garfi@unimol.it

Eduardo Antenucci, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise.
E-mail: e.antenucci2@studenti.unimol.it

Serena Antonucci, DipAAA - Dipartimento di Agricoltura, Ambiente e Alimenti, Università degli Studi del Molise. E-mail: serena.antonucci@unimol.it

Marco Marchetti, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise.
E-mail: marco.marchetti@unimol.it

1.1 | Abstract

Responses variability to climate change in beech forest

Climate change influences the stability and health of forests, impacting on forest structure, composition, and functioning. European beech is one of the most widespread and important tree species for the European forest sector, and the impact of climate change on this species was analysed through dendrochronology, phenological monitoring, model distribution and multilevel process.

These studies highlighted how the beech productivity and distribution are influenced by temperature with contrasting future projections about the adaptability of this species to climate change. The increasing temperature plays a role in the length of the growing season, especially with increasing spring temperature

that determined an early budbreak in leaf phenology or an early beginning of wood production. Low precipitation also limits beech forest productivity. Moreover, temperature defines the shifting climate zones poleward in the mid to high latitudes and shifting upward in regions of higher elevation modifying the species distribution. However, large uncertainties exist due to the anomalies of precipitations that with temperature influence the soil water contents and the availability of soil nutrients modifying the growth. Finally, also reproduction is affected by climate and in relation to growth is subjected to trade-offs in the allocation and depletion of resources.





CAPITOLO 2

LE INDAGINI CONOSCITIVE DEL PROGETTO AFORCLIMATE

- 2.1** Percezione degli addetti ai lavori
e flessibilità normativa
*Due indagini conoscitive per analizzare possibili
soluzioni sull'adattamento delle foreste al
cambiamento climatico*



2.1

Percezione degli addetti ai lavori e flessibilità normativa

Due indagini conoscitive per analizzare possibili soluzioni sull'adattamento delle foreste al cambiamento climatico

Vittorio Garfi - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Luigi Torreggiani - Compagnia delle Foreste

Eduardo Antenucci - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Ugo Chiavetta - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Le pratiche di gestione forestale possono avere un grande effetto sulla capacità delle foreste di adattarsi alla crisi climatica in atto. Una gestione adattiva, in questo contesto, mira a preservare e sviluppare la funzionalità delle foreste come prerequisito per soddisfare le future esigenze di servizi ecosistemici (WAGNER 2014). Per gestione adattiva si intende un approccio gestionale basato sull'apprendimento che incorpora, nelle decisioni, l'esperienza acquisita dai risultati delle azioni precedenti (Canadian Standards Association 1996). A tal fine, le strategie selvicolturali che possono essere messe in atto in ambito gestionale comprendono diverse opzioni, quali:

- **resistenza**, che mira alla conservazione dello stato attuale della foresta attraverso operazioni colturali *ad hoc*;
- **resilienza**, volta a favorire la capacità dell'ecosistema di assorbire i disturbi e di rimanere in gran parte invariato;
- **risposta**, volta a facilitare la transizione degli ecosistemi dalle condizioni attuali a quelle future (MILLAR *et al.* 2007), determinate, nel nostro caso, dal cambiamento climatico in atto.

La pianificazione e la gestione forestale hanno un ruolo fondamentale nel favorire e aiutare i processi di adattamento. Per poter pianificare e gestire in modo adattativo bisogna tuttavia essere consci del problema e delle possibili soluzioni. In questo quadro, il progetto AForClimate ha reputato interessante:

- **comprendere la percezione di tecnici e gestori forestali** a riguardo dell'impatto del cambiamento climatico sulle foreste e conoscere la loro opinione rispetto a possibili soluzioni per aumentarne l'adattamento;
- **raccogliere suggerimenti** rispetto ad esperienze, buone pratiche e possibili soluzioni già in essere.
- **verificare la fattibilità pratica di alcune scelte di adattamento della pianificazione alla variabilità climatica**, indagando su quale sia, all'interno della regolamentazione regionale, il livello di flessibilità dei piani forestali di 3° livello (livello aziendale) in termini temporali, di prelievo e selvicolturali.

A tal fine, **nell'ambito dell'Azione C3 del progetto AForClimate, sono stati realizzati due diversi questionari:**

- un primo questionario, a più ampia scala, rivolto agli addetti ai lavori del settore forestale (gestori forestali, ma anche funzionari delle pubbliche amministrazioni e studenti), con l'obiettivo di indagare la percezione di tali *stakeholder* rispetto al problema (impatto della crisi climatica sugli ecosistemi forestali) e di conoscere le soluzioni gestionali ritenute maggiormente efficaci;

- un secondo questionario, più specifico, rivolto ai funzionari delle Regioni e delle Province Autonome italiane, con l'obiettivo di indagare l'effettiva possibilità di rendere i Piani di gestione forestale più flessibili.

Il campione

Il primo questionario ha raccolto risposte da ben **246 addetti ai lavori italiani**. La distribuzione geografica dei rispondenti ha mostrato una buona omogeneità: il 16% proveniva dal Nord-Ovest, il 29% dal Nord-Est, un altro 29% dal Centro, il 19% dal Sud e il 7% dalle Isole. La distribuzione del campione per professione ha mostrato una buona variabilità tra le diverse categorie di *stakeholder*: è prevalsa quella dei "Ricercatori/Docenti universitari" (28,5%), seguita dalle categorie "Liberi professionisti/Gestori di foreste private", "Funzionari Pubbliche Amministrazioni" e "Studenti", entrambe al 17% circa. Un po' meno rappresentate, ma comunque presenti, le categorie "Gestori di foreste pubbliche" e "Proprietari forestali privati", rispettivamente con il 5,7% e il 4,5%. Rappresentate con percentuali minori (dall'1 al 3%) le categorie "Associazione ambientalista", "Impresa boschiva/Impresa agro-forestale" e "Associazione di categoria agricola/forestale".

Il secondo questionario ha ricevuto risposte da **16 rappresentanti di Regioni e Province Autonome su 21 potenzialmente raggiungibili**: Piemonte, Valle d'Aosta, Liguria, P.A. Trento, P.A. Bolzano, Veneto, Friuli-Venezia Giulia, Emilia-Romagna, Toscana, Marche, Abruzzo, Molise, Lazio, Campania, Basilicata e Sicilia. Sono mancate all'appello soltanto Lombardia, Umbria, Puglia, Calabria e Sardegna.

Risultati - Primo questionario

Percezione del problema

La prima parte del questionario dedicato agli addetti ai lavori era relativa alla percezione generale del problema. Dall'elaborazione dei risultati (Figura 2.1-1) si evince chiaramente come nel settore forestale italia-

no prevalga, in generale, una percezione assai negativa rispetto all'impatto del cambiamento climatico sulla funzionalità degli ecosistemi forestali. A breve termine (orizzonte temporale di 20 anni) il 68,3% del campione considera l'impatto come "negativo" e il 10,6% come

"decisamente negativo". Solo il 14,6% considera che il cambiamento climatico "non avrà alcun impatto" sulle foreste. In un orizzonte temporale di medio termine (tra 20-50 anni) cresce decisamente la percentuale di chi ritiene che il cambiamento climatico avrà un impatto

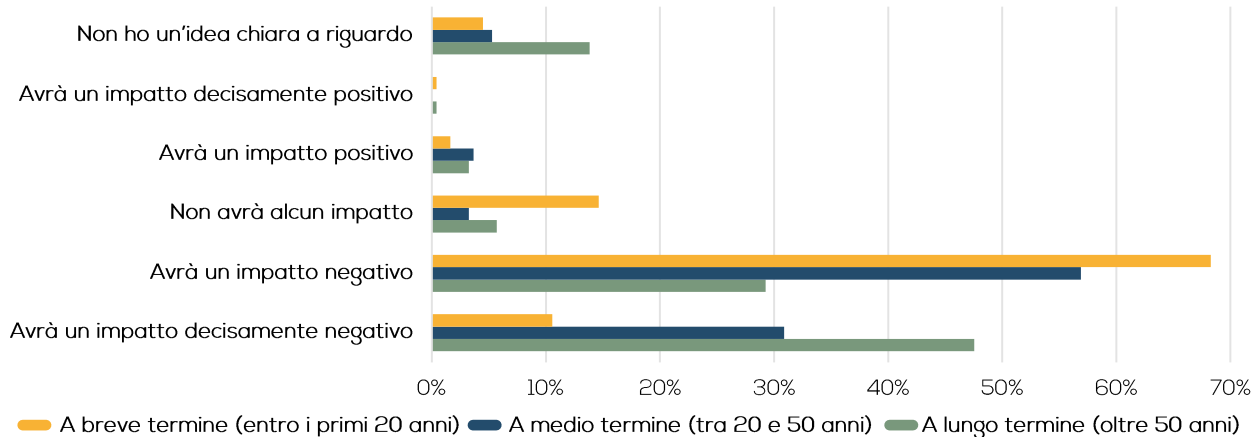


Figura 2.1-1 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alla percezione del problema da parte degli addetti ai lavori, nel breve, medio e lungo termine.

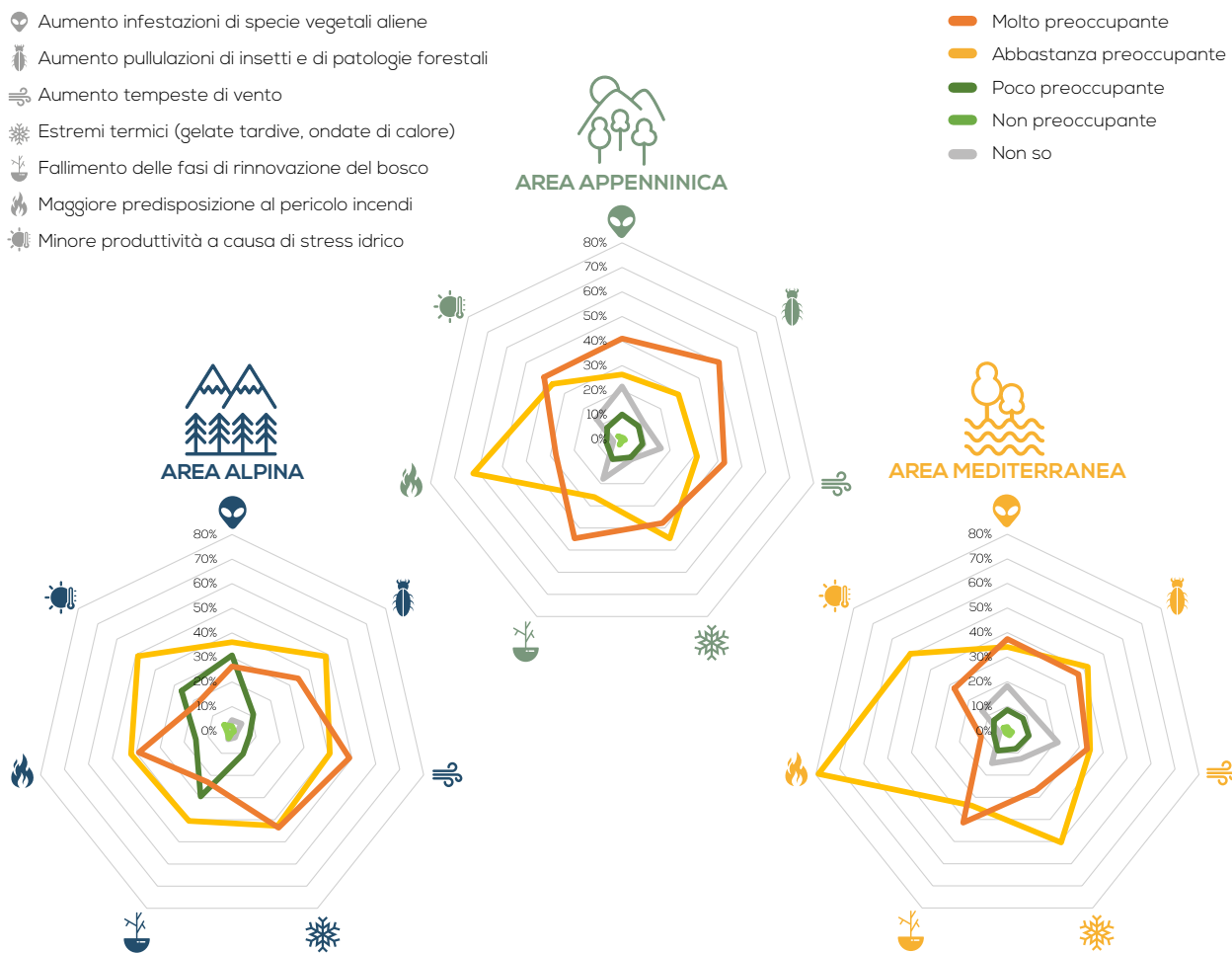


Figura 2.1-2 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alla preoccupazione rispetto a specifici fattori di rischio nelle tre aree geografiche indagate.

to "decisamente negativo" (30,9%) e cala chi pensa che "non avrà alcun impatto" (3,3%). In orizzonte temporale di lungo termine infine (oltre 50 anni), cresce sensibilmente la percentuale di chi "non ha un'idea chiara a riguardo" (13,8%) ma crescono ancora le risposte relative ad un impatto "decisamente negativo" (48%). **In tutti e tre gli orizzonti temporali, le risposte "negativo" e "decisamente negativo", sommate assieme, superano sempre il 77%.** È quindi evidente che, secondo la stragrande maggioranza degli addetti ai lavori del settore forestale, il cambiamento climatico sia un problema molto serio per il futuro delle foreste italiane, che va quindi affrontato rapidamente e con grande urgenza. Di conseguenza, traspare molta attenzione su questo tema e tanta attesa per soluzioni e investimenti volti ad adattare le foreste italiane ai nuovi scenari che il cambiamento climatico sta delineando.

Singoli fattori di rischio

Il questionario ha indagato anche la preoccupazione degli addetti ai lavori rispetto ad alcuni specifici fattori di rischio. Su questo aspetto è interessante osservare come la percezione sia risultata assai differente nelle tre diverse aree geografiche indagate (alpina, appenninica e mediterranea). Per l'area alpina, **uno dei fattori di rischio più preoccupanti è senza dubbio l'aumento**

delle tempeste di vento, risultato probabilmente enfatizzato dalla recente tempesta Vaia che, a fine ottobre 2018, ha colpito fortemente le foreste nord-orientali delle Alpi italiane, in particolare i boschi di abete rosso. Tuttavia, per questa area geografica, destano grande preoccupazione anche l'aumento degli agenti patogeni (come l'attuale estesa infestazione di bostrico - *Ips Typographus*), il rischio di incendi, lo stress idrico e le temperature estreme.

Per l'area appenninica e mediterranea è invece l'incremento del rischio incendi ad essere considerato il principale fattore di pericolo, ma preoccupano molto anche l'aumento delle patologie, lo stress idrico e il fallimento delle fasi di rinnovazione.

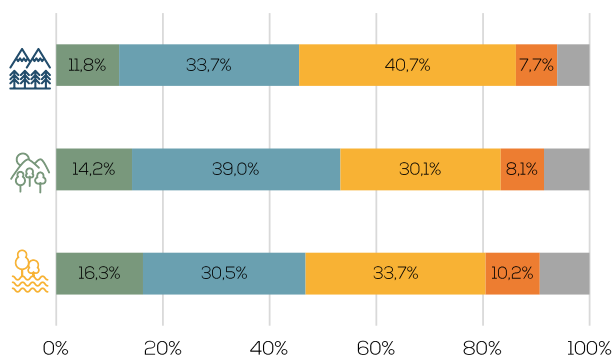
I grafici radar raccolti in Figura 2.1-2 consentono un'immediata visualizzazione dei cambiamenti di percezione nelle tre aree geografiche indagate rispetto ai vari fattori di rischio, mostrando anche come diminuisce la percentuale dei fattori considerati "non preoccupanti" passando dall'area alpina a quella mediterranea, evidentemente più esposta, già da tempo, alla maggior parte di essi.

Possibili soluzioni gestionali

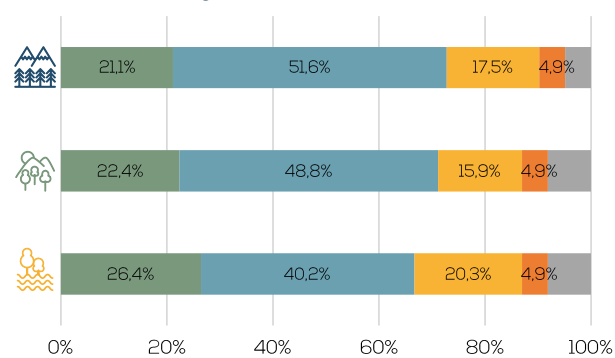
La seconda parte del questionario ha esplorato l'opinione degli addetti ai lavori sulle possibili soluzioni ge-

■ Molto efficace ■ Poco efficace ■ Non so
■ Abbastanza efficace ■ Per nulla efficace

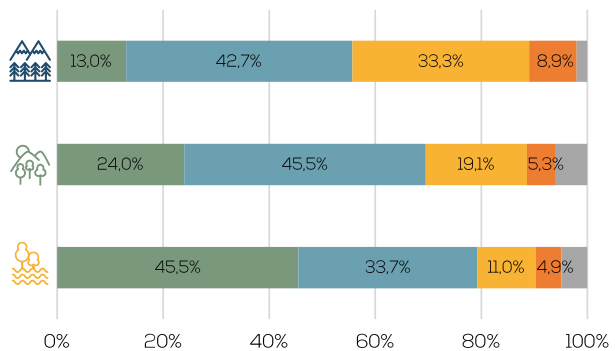
Diradare in modo più incisivo per diminuire sensibilmente la competizione



Favorire specie meno a rischio attraverso diradamenti e sottopiantagioni



Diminuire la quantità di biomassa, in particolare nello strato arbustivo e/o erbaceo, per ridurre intensità e capacità di diffusione del fuoco



Aumentare la complessità strutturale e specifica per aumentare resistenza e/o resilienza a fenomeni meteorologici ed estremi

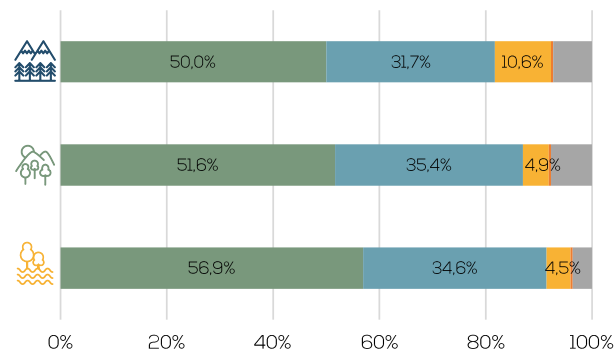


Figura 2.1-3 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alle quattro possibili soluzioni gestionali ritenute maggiormente efficaci dai rispondenti.

stionali per incrementare l'adattamento delle foreste ai cambiamenti climatici (Figura 2.1-3).

Per quanto riguarda le soluzioni gestionali **appare chiaro, in tutte le aree geografiche indagate, che "Aumentare la complessità strutturale e specifica per incrementare resistenza e/o resilienza a fenomeni meteorologici ed estremi" sia l'attività considerata più efficace per far fronte ai cambiamenti climatici in atto.**

L'unica eccezione riguarda l'area mediterranea, dove, come previsto, gli interventi selvicolturali finalizzati alla prevenzione incendi sono quelli considerati di maggiore importanza. È rilevante notare che 4 *stakeholder* forestali su 5 considerino la selvicoltura come un'attività efficace o addirittura molto efficace, in generale, per l'adattamento delle foreste ai cambiamenti climatici, indipendentemente dalla singola tecnica presa in considerazione, dimostrando perciò grande fiducia rispetto alla gestione attiva delle foreste. Interessante però, al tempo stesso, notare come l'azione di "Diradare in modo più incisivo per diminuire sensibilmente la competizione" sia molto divisiva: circa la metà del campione la reputa efficace o molto efficace, mentre l'altra metà la valuta come poco o per nulla efficace.

Il questionario ha anche indagato quali soluzioni di pianificazione forestale sono percepite come più efficaci nell'adattamento ai cambiamenti climatici (Figura 2.1-4).

I risultati hanno mostrato, anche in questo caso, che "Aumentare la diversità strutturale e compositiva a scala di paesaggio", con l'obiettivo di diversificare la risposta dei popolamenti forestali ai disturbi (sia biotici che abiotici), sia considerata l'attività più adeguata, con il 90% dei rispondenti che la considera un'opzione efficace o molto efficace.

Anche l'azione: "Prevedere attività di prevenzione degli incendi finalizzate ad interrompere la continuità orizzontale e/o verticale del combustibile" è ritenuta da molti una soluzione assai efficace, con l'85% delle risposte positive.

Non ultimo, anche il costante monitoraggio sulla reazione delle foreste al clima come elemento di supporto alla pianificazione, parte centrale del progetto AForClimate, è stato considerato mediamente efficace dagli *stakeholder* che hanno compilato il questionario: 3 su

5 ritengono questa soluzione come efficace o molto efficace.

Possibili soluzioni di governance

Il primo questionario, infine, ha anche indagato la percezione sull'esistenza, in Italia, di valide soluzioni di governance capaci di adattare le foreste al cambiamento climatico in corso.

Alla domanda riguardante la disponibilità di finanziamenti pubblici per realizzare azioni concrete in grado di aumentare la resistenza e/o la resilienza delle foreste ai cambiamenti climatici, il 56% delle risposte sono state: "Sì, ma da incrementare". **Questo a sottolineare la presenza di finanziamenti, che tuttavia non sono ritenuti evidentemente sufficienti per permettere di concretizzare azioni efficaci.** Per quanto concerne le fonti di finanziamento, il 55,3% delle risposte citano l'Unione Europea tra i principali finanziatori di interventi per aumentare la resistenza e/o la resilienza dei boschi italiani. La principale fonte di finanziamento europeo indicato dai rispondenti risulta essere il Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale (FEASR).

Un quesito era anche volto a comprendere se la normativa nazionale e regionale sulla gestione forestale, secondo i rispondenti, ponesse delle limitazioni alle azioni in grado di incrementare la resistenza e/o la resilienza dei boschi italiani ai cambiamenti climatici. Il 37% degli *stakeholder* coinvolti ha indicato "Sì, ma solo in parte", mentre soltanto il 3% ha risposto "L'attuale assetto normativo non è limitativo e, anzi, incoraggia azioni di questo tipo". Per il 15%, invece, "Le attuali norme sono molto limitative". I principali limiti riscontrabili, con il 39% delle risposte registrate, possono essere ricondotti a "restrizioni, vincoli e sanzioni eccessive", seguiti da una "visione non olistica del bosco" da parte dell'attuale normativa (20%), da "difficoltà burocratiche per realizzare gli interventi" e dalla "mancanza di coordinamento tra gli enti competenti" (11% rispettivamente).

Alla domanda "Come giudica l'istituzione di un Tavolo tecnico su foreste e cambiamento climatico formato da Ministeri competenti, Regioni e Province Autonome ed esperti?", il 50% dei partecipanti al questionario ha risposto "assolutamente necessario", mentre il 40% "si-

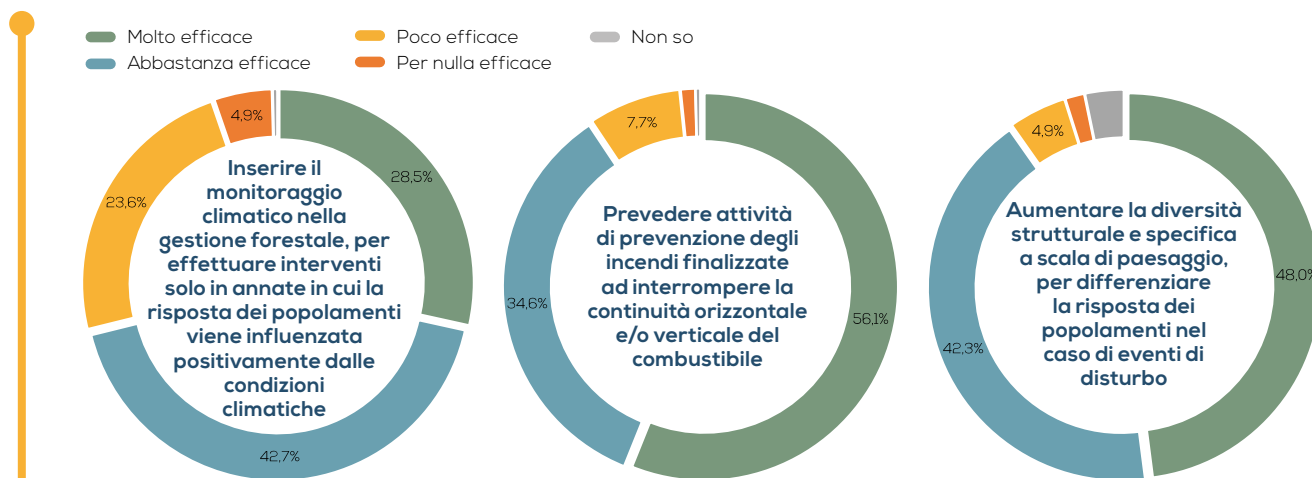


Figura 2.1-4 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alle tre possibili soluzioni di pianificazione ritenute maggiormente efficaci dai rispondenti.

curamente utile". Tali opinioni rafforzano l'idea che un Tavolo tecnico sulla tematica "Foreste e cambiamento climatico", come quello inaugurato dal progetto AForClimate, possa svolgere nel prossimo futuro un ruolo centrale per indirizzare le azioni di incremento di resistenza e resilienza degli ecosistemi forestali.

Risultati - Secondo questionario

Il secondo questionario, rivolto ai soli funzionari rappresentanti delle Regioni e delle Province Autonome italiane con l'obiettivo di indagare l'effettiva possibilità di rendere i Piani di gestione forestale più flessibili, è stato suddiviso in 3 differenti domande, relative a:

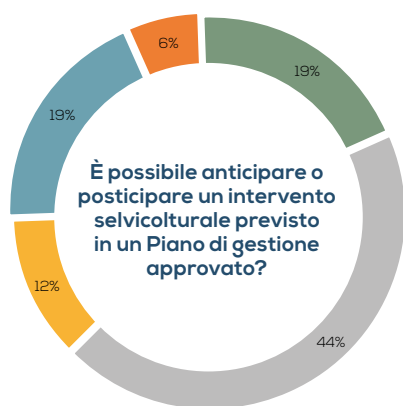
- flessibilità temporale;
- flessibilità selvicolturale in termini di prelievo;
- flessibilità selvicolturale in termini di tipologia d'intervento.

Tutte le domande sono state riferite a Piani di gestione regolarmente approvati.

Flessibilità temporale

Alla domanda: "In presenza di un Piano di gestione forestale regolarmente approvato, è possibile anticipare o posticipare un intervento previsto in una determinata particella qualora si ravvisino necessità oggettive dovute a vari fattori che incidono sulla stabilità e/o migliore funzionalità della foresta?", la maggior parte dei rispondenti (44%) ha risposto: "Sì, ma solo se sono soddisfatte specifiche condizioni". Solo il 6% ha invece risposto: "No, non è prevista alcuna flessibilità temporale". Le altre risposte sono state:

- "Sì, ma con documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi e senza limiti temporali" (19%)
- "Sì, senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi ma solo entro un determinato periodo" (12%)



- Non è prevista alcuna flessibilità temporale
- Sì, ma con documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi e senza limiti temporali
- Sì, ma solo se sono soddisfatte specifiche condizioni
- Sì, senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi e per qualsiasi spostamento
- Sì, senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi ma solo entro un determinato periodo

Figura 2.1-5 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alla possibilità di anticipare o posticipare un intervento previsto in un Piano di gestione forestale approvato.

ministrativi aggiuntivi ma solo entro un determinato periodo" (19%)

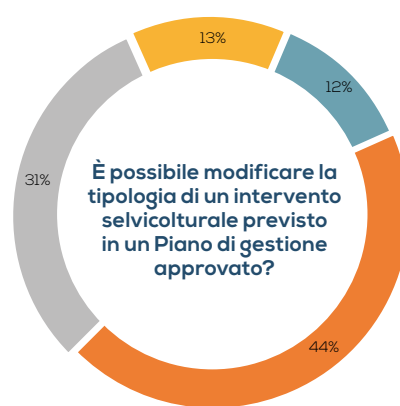
- "Sì, senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi e per qualsiasi spostamento" (12%)

In generale **si può quindi affermare che al momento, in Italia, ci sia una discreta flessibilità per quanto riguarda la possibilità di anticipare o posticipare un intervento selvicolturale pianificato**; azione che, tuttavia, deve essere, nella stragrande maggioranza dei casi, giustificata da documentazione aggiuntiva o da particolari condizioni contingenti (Figura 2.1-5).

Flessibilità selvicolturale

Per quanto riguarda la possibile modifica nell'intensità del prelievo in un intervento selvicolturale previsto da un Piano di gestione, si riscontra la stessa condizione precedente, in cui il 44% dei funzionari coinvolti ha risposto: "È consentito aumentare e/o diminuire il prelievo solo se sono soddisfatte specifiche condizioni". Solo il 13% ha invece indicato come possibile questa azione anche in assenza di condizioni o di particolare documentazione. In tutto il resto delle risposte viene sottolineata la necessità di una documentazione che giustifichi una modifica riguardante l'intensità di prelievo prevista.

Per quanto riguarda invece la possibilità di modifica della tipologia di intervento selvicolturale (Figura 2.1-6), il 44% delle risposte indica che tale variazione è possibile, "ma con documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi", mentre il 31% solo "se sono soddisfatte specifiche condizioni". Il 13% dei rispondenti ha indicato invece che una modifica nella tipologia di intervento è possibile "senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi".



- Non è prevista alcuna flessibilità nella scelta del tipo di diramamento
- Sì, ma con documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi
- Sì, ma solo se sono soddisfatte specifiche condizioni
- Sì, senza alcuna documentazione e/o passaggi amministrativi aggiuntivi

Figura 2.1-6 - Elaborazione delle risposte al questionario relative alla possibilità di modificare la tipologia di intervento selvicolturale previsto in un Piano di gestione approvato.

Una percentuale simile (12%) ha invece risposto che "Non è prevista alcuna flessibilità nella scelta del tipo di intervento selvicolturale".

Conclusioni

Le due indagini realizzate nell'ambito di AForClimate sono risultate decisamente interessanti e hanno contribuito a rendere esplicite alcune informazioni e a chiarire punti fermi su cui si potranno basare alcune delle scelte future nell'ambito dell'adattamento delle foreste alla crisi climatica:

- **il settore forestale italiano ha ben chiaro il problema ambientale che ha di fronte** e quindi necessita di strumenti concreti per iniziare ad operare attraverso soluzioni efficaci;
- due nette linee generali di indirizzo, sottolineate dalla maggior parte dei rispondenti, riguardano **la necessità di una maggiore diversificazione dei popolamenti forestali**, sia in termini strutturali che specifici, a livello di singolo popolamento e/o di paesaggio, e **l'implementazione di attività di prevenzione antincendio**, specialmente nell'area mediterranea;
- dal punto di vista della *governance*, secondo gli *stakeholder* coinvolti è necessario **più impegno e maggiore chiarezza per quanto riguarda le politiche di finanziamento e incentivo**, in modo da favorire un cambiamento gestionale verso attività volte a rendere le foreste più resilienti. Per fare ciò, l'istituzione di un Tavolo tecnico nazionale permanente che si confronti costantemente su questi temi, influenzando politiche e promuovendo buone pratiche, potrebbe essere una scelta lungimirante;
- **l'attuale normativa sulla pianificazione forestale di terzo livello appare discretamente flessibile**, anche se tale elasticità non è stata pensata, nello specifico, per poter operare in un contesto di crisi climatica. In questo scenario, l'istituzione di un Tavolo tecnico nazionale potrebbe portare a proposte di modifica normativa in tal senso, spingendo Regioni e Province Autonome a considerare maggiormente la variabilità climatica all'interno dei Piani di gestione forestale.

BIBLIOGRAFIA

GARFI V., TORREGGIANI L., 2020 - **Foreste e cambiamento climatico. Dal questionario AForClimate impatti, rischi e soluzioni nella percezione degli addetti ai lavori.** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi n. 246: 24-25.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION, 1996 - **A sustainable Forest Management System: Guidance Document.** ISSN 0317-5660

MILLAR C. I., STEPHENSON N. L., STEPHENS S. L., 2007 - **Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty.** Ecological Applications 17:2145-2151. <http://dx.doi.org/10.1890/06-1715.1>

WAGNER S., NOCENTINI S., HUTH F., HOOGSTRA-KLEIN M., 2014 - **Forest management approaches for coping with the uncertainty of climate change: trade-offs in service provisioning and adaptability.** Ecology and Society, 19(1).

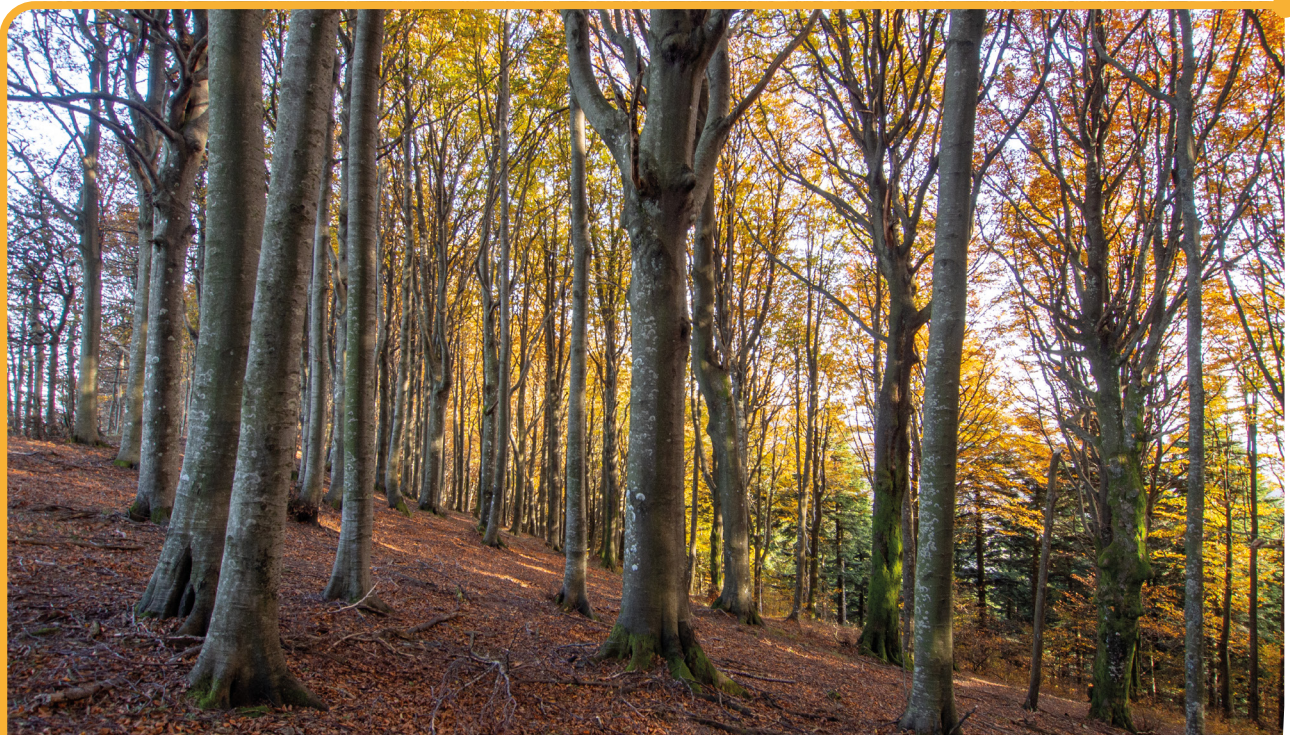
AUTORI

Vittorio Garfi, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise.
E-mail: vittorio.garfi@unimol.it

Luigi Torreggiani, Compagnia delle Foreste.
E-mail: luigitorreggiani@compagniadelleforeste.it

Eduardo Antenucci, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise.
E-mail: e.antenucci2@studenti.unimol.it

Ugo Chiavetta, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: ugo.chiavetta@crea.gov.it



2.2 | Abstract

Perception of professionals and regulatory flexibility

Two cognitive surveys to analyse possible solutions on the adaptation of forests to climate change

Forest planning and management play a key role to foster and assisting adaptation processes. However, in order to plan and manage adaptively, being aware of the problem and the possible solutions is needed. In this context, the AForClimate project found interesting:

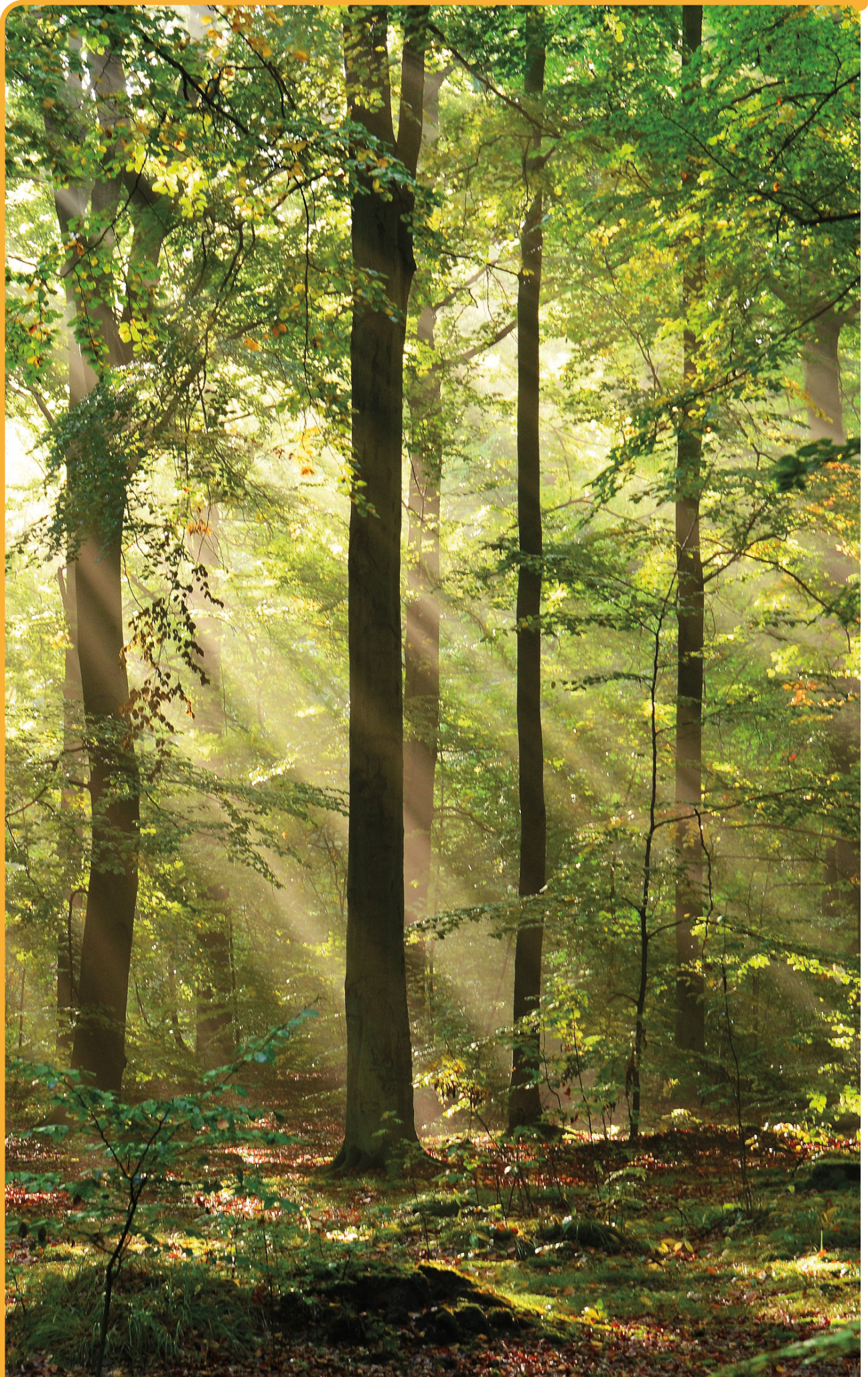
- understand the perception of forest technicians and managers about the impact of climate change on forests and their views on possible solutions to increase their adaptation;
- collect suggestions regarding experiences, good practices and possible solutions already in place.
- verify the practical feasibility of some choices of adaptation of the planning to the climatic variability. Specifically, this is done evaluating the level of flexibility of the third-level forest plans in terms of time, harvesting and silvicultural treatments within the regional regulation.

In order to obtain this aim, within the framework of Action C3 of the AForClimate project, two different questionnaires have been created:

- A first questionnaire, on a large scale, addressed to professionals in the forestry sector (forest managers, but also civil servants and students). Its aim is investigating the perception of these stakeholders regarding problem (impact of the climate crisis on forest ecosystems) and to know the best management solutions;
- A second questionnaire, more specific, addressed to officials of the Italian Regions and Autonomous Provinces. Its aim is investigating the current possibility of making forest management plans more flexible.

The two surveys, carried out under the AForClimate, involved 246 experts and 16 out of 21 Regions and Autonomous Provinces. The results have been interesting and have contributed to get explicit important information on which some of the future choices in the field of adaptation of forests to the climate crisis can be based:

- the Italian forestry sector is aware of the current environmental problem; therefore it needs concrete tools to start operating through effective solutions;
- two clear general guidelines, underlined by most respondents, concern the need for greater diversification of forest stands both on a local scale (in terms of structure and species composition) and on a landscape scale, and the implementation of fire prevention activities, especially in the Mediterranean area;
- From the point of view of governance, according to the stakeholders involved, more commitment and clarity is needed regarding funding and incentive policies, in order to foster a management change towards activities aimed at making more resilient forests. To do this, the establishment of a permanent National Technical Table constantly discussing these issues, influencing policies and promoting good practices, could be a far-sighted choice;
- The current legislation on third-level forest planning appears to be fairly flexible, although this flexibility has not been designed specifically to operate in a climate crisis context. In this scenario, the establishment of a National Technical Table could lead to proposals for regulatory changes in this regard, pushing Regions and Autonomous Provinces to consider more the climate variability within forest management plans.





CAPITOLO 3

ESEMPI DI BUONE PRATICHE DAI PROGETTI LIFE A LIVELLO NAZIONALE E MEDITERRANEO

- 3.1** Le Buone Pratiche nell'esperienza del programma Life
Alcuni esempi su cambiamento climatico e faggete
- 3.2** Le buone pratiche selvicolturali del progetto Life ResilForMed
- 3.3** Gestione adattativa delle faggete: il Life ManFor C.BD



3.1

Le Buone Pratiche nell'esperienza del programma Life

Alcuni esempi su cambiamento climatico e faggete

Marcello Miozzo - D.R.E.Am. Italia

Serena Corezzola - D.R.E.Am. Italia

Il progetto Life GoProFor (LIFE17 GIE/IT/000561) (www.lifegoprofor.eu/it), da cui derivano i contenuti di questo paragrafo, presenta all'interno del suo *Database* (Box 3.1-1) una sezione di esperienze collegate al tema dei Cambiamenti Climatici (CC).

Effettuando una selezione su questo tema, vengono individuate 87 Buone Pratiche (BP), localizzate in larga parte tra Spagna, Italia, Francia e Grecia, marginalmente anche nell'Europa centrale e nell'area baltica (Figura 3.1-1).

Le 87 Buone Pratiche derivano complessivamente da 50 progetti (contributo medio di 1,7 BP per progetto). Analizzando la fonte di finanziamento di questi progetti, emerge che il 46% deriva da progetti di priorità ENV (Ambiente), 32% da progetti di priorità NAT (Natura), 15% da progetti con priorità Clima e infine il 7% da pro-

getti extra Life. Questi ultimi derivano da collaborazioni del *Database* GoProFor con altre linee di programmi europei che hanno usufruito del sistema per l'archiviazione di specifiche pratiche, in particolare legate al tema degli incendi boschivi.

Tra le 87 Buone Pratiche citate, **in questo paragrafo si riportano alcuni esempi di BP che possono essere d'ispirazione per una buona gestione delle faggete.**

Le Buone Pratiche descritte sono 5, scelte escludendo quelle che sono già approfondite in altri punti delle presenti Linee guida.

Segue la descrizione di ciascuna delle Buone Pratiche selezionate, suddivise in schede.

Per sintesi sono descritte solo alcune parti della Buona Pratica; per approfondimenti si rimanda alla relativa scheda del *Database* GoProFor.

BOX 3.1-1

Il *Database* delle Buone Pratiche (BP) di interesse forestale

Il *Database* delle Buone Pratiche di interesse forestale (www.lifegoprofor-gp.eu) è uno strumento *online* per la consultazione delle BP in ambito forestale, derivanti principalmente dall'esperienza del Programma Life. Il *Database* raccoglie e descrive nel dettaglio metodologie, tecniche, processi e soluzioni sperimentati all'interno dei progetti Life e indirizzati alla conservazione della biodiversità forestale e alla gestione delle foreste, in particolar modo all'interno della Rete Natura 2000.

Lo scopo del *Database* è quello di capitalizzare l'esperienza pluridecennale dei progetti europei, fornendo degli strumenti idonei ed efficaci ai gestori della Rete Natura 2000 e di tutti coloro che operano all'interno di questa importante rete di aree protette.

In generale, per BP si intende infatti un'iniziativa (una metodologia, una tecnica, un processo, un progetto) che è stata già provata con successo e che ha il potenziale per essere trasferita in una diversa area geografica. Nell'ambito del progetto Life GoProFor le BP sono quindi intese come strumenti di conservazione della natura in relazione all'ambito forestale.

Le BP riguardano la conservazione di habitat e specie forestali, nonché delle componenti forestali di maggior rilievo per la biodiversità (legno morto, alberi habitat, ambienti umidi e aree aperte nelle foreste, ecc). Comprendono inoltre BP di gestione forestale sostenibile, mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici, lotta e contenimento delle specie aliene e invasive, degli incendi boschivi e altro ancora.

Il *Database* può essere interrogato con chiavi di ricerca in almeno 5 lingue (italiano, inglese, francese, spagnolo e tedesco), mentre i contenuti delle BP sono consultabili in italiano ed in inglese. Al 31/03/2023 sono state raccolte 273 BP provenienti da più di 140 progetti, di cui 46 italiani.

Un successo rilevante da evidenziare è l'entrata del *Database* GoProFor, assieme ad altre piattaforme attinenti, nell'*Hub* afferente al *Framework for Ecosystem Restoration Monitoring* (FERM Registry), implementato dalla *Task Force* delle Buone Pratiche della FAO, nell'ambito dell'iniziativa sul restauro degli ecosistemi (*Task Force on Best Practices, UN Decade on Ecosystem Restoration*).

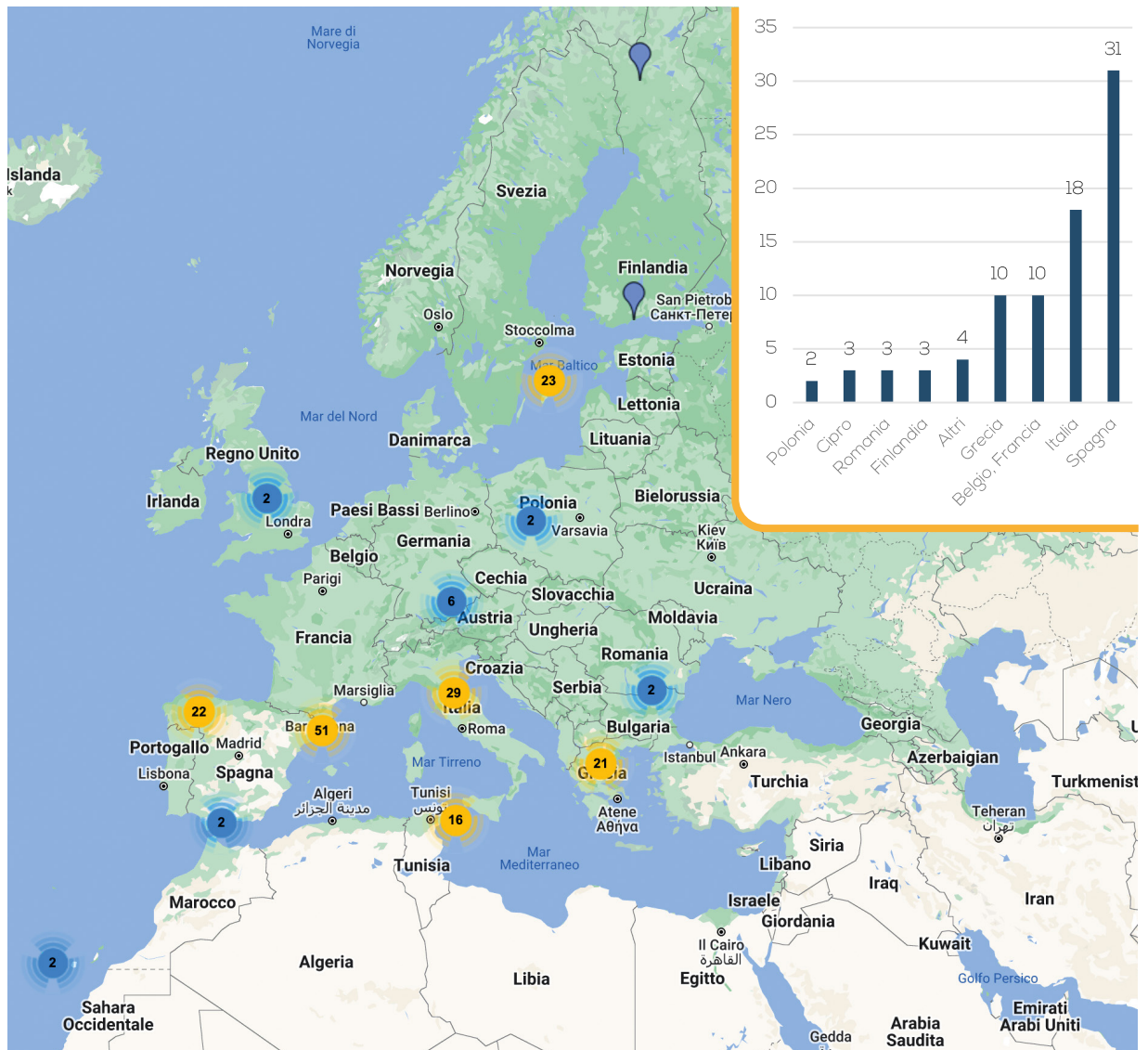


Figura 3.1-1 - Distribuzione delle Buone Pratiche sul tema "Cambiamento Climatico" dal Database del Life GoProFor. Il grafico indica il numero di Buone Pratiche, per Paese, che hanno interessato le faggete e che sono legate all'adattamento delle stesse al cambiamento climatico, anche se catalogate in altre macro tematiche.



SCHEDA 1

Tecniche di migrazione assistita di abete bianco autoctono finalizzate all'incremento dell'habitat 9220*

CODICE: 08 NAT/IT/000371 0001 BHOCG

LINGUA: Italiano/Inglese

PAESE: Italia

PROGETTO LIFE: ReSilFor (LIFE08 NAT/IT/000371)

REFERENTE: MARCELLO MIOZZO - email: miozzo@dream-italia.it

PROBLEMI/MINACCE AFFRONTATE DALLA BP

L'abete bianco, e conseguentemente l'habitat 9220*, è in regressione nelle aree dell'appennino centrale italiano, a causa di azioni storiche perpetuate dall'uomo di eliminazione della specie per trarne produzioni legnose di valore o per fare spazio ad aree pastorali. In epoca moderna sono stati fatti molti interventi di ricostituzione forestale, introducendo tuttavia abeti bianchi di origine alloctona, per lo più provenienti dal centro Europa. Ciò ha portato ad una generale regressione genetica delle popolazioni autoctone di questa specie, generando progenie mescolate con patrimoni genetici diversi e spesso meno variabili. Rimangono attualmente pochi nuclei che per la loro gestione storica hanno conservato *pull* genetici molto variabili e riconducibili alle popolazioni autoctone appenniniche.

OBIETTIVO

Predisposizione di tecniche di migrazione assistita di abete bianco di comprovato patrimonio genetico rappresentativo delle popolazioni autoctone locali, e con una certa capacità adattativa ai cambiamenti climatici, al fine di ampliare e ricostituire porzioni di habitat 9220*.

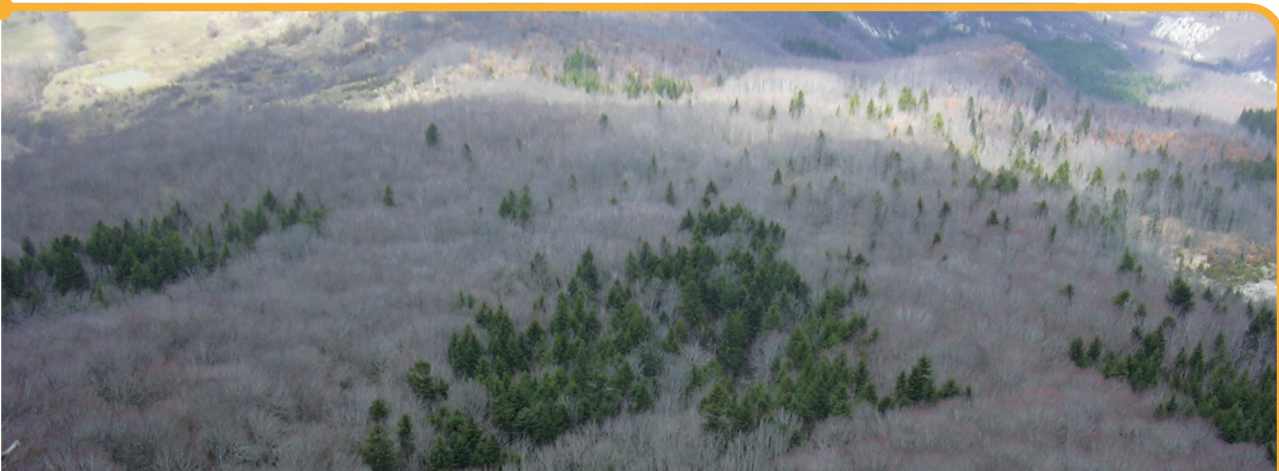
DESCRIZIONE SINTETICA

- **Monitoraggio della biodiversità genetica delle popolazioni autoctone residuali.**

Su ogni sito della popolazione autoctona è richiesta l'installazione di un'area di monitoraggio di 1 ha di estensione. Nell'area sono effettuate analisi genetiche su un campione di individui maturi e sulle loro progenie di rinnovazione naturale al fine di comprendere il livello di biodiversità genetica delle popolazioni originarie. Vengono successivamente scelte le "Piante madri", tenendo conto della loro distribuzione genetica all'interno della popolazione e del livello di plasticità fenologica rispetto alle condizioni climatiche. Il numero di Piante madri individuato è di almeno 20 individui per popolazione.

- **Interventi di piantagione in foresta e coltivazione fino alla produzione del seme.**

Produzione di piantine realizzate per innesto. Le piantine prodotte sono inserite in faggeta in nuclei di circa 25-30 individui e mescolati in relazione alle Piante madri di provenienza. Entro i primi 10 anni dall'impianto è previsto di proseguire con gli interventi di diradamento nella faggeta situata nella corona circolare dell'impianto. Il tempo stimato tra l'impianto e la possibilità di produrre seme da parte dei cloni è di circa 15 anni.



SCHEDA 2

Ripristino della composizione forestale originaria sulle aree disboscate

CODICE: IT NAT/RO/000823 0001 BH0CG

LINGUA: Inglese

PAESE: Romania

PROGETTO LIFE: CARPATHIA Restoration (LIFE11 NAT/RO/000823)

REFERENTE: BARBARA PROMBERGER-FÜRPAŠS – email: b.promberger@carpathia.org

PROBLEMI/MINACCE AFFRONTATE DALLA BP

Dopo quasi un decennio di disboscamento intensivo, il *continuum* dell'habitat forestale, nella valle centrale di Dâmbovița sul lato est del sito Natura 2000 Munții Făgăraș, è interrotto da oltre 1.000 ha di tagli a raso. Molte aree non mostrano alcuna evidenza di rigenerazione sufficiente, portando ad una riduzione delle specie arboree di valore ecologico a favore di quelle commercialmente redditizie, e alla perdita di biodiversità della comunità connessa con gli habitat originari.

OBIETTIVO

Ripristinare la composizione forestale originaria nelle aree disboscate, accelerando i processi di rinaturalizzazione e migliorando la biodiversità nelle aree disboscate e nelle foreste gestite

DESCRIZIONE SINTETICA

Attività preparatorie:

- **identificazione e valutazione delle foreste incontaminate**, sulla base delle informazioni ottenute dalla mappatura e dal telerilevamento;
- **valutazione della composizione arborea originaria** e inventario della rinnovazione forestale su aree disboscate. Questa attività mira a comprendere la composizione spaziale della foresta prima di qualsiasi taglio, in modo che le misure di ripristino possano essere indirizzate al meglio verso lo stato originale;
- **identificazione e mappatura delle radure che mancano di rinnovazione** e che saranno oggetto delle successive attività di ripristino;
- **creazione di un Database digitale** e una mappa GIS con la composizione forestale originale;
- **sviluppo di linee guida per la rinnovazione** con dettagli sull'inventario, l'analisi e la descrizione dello schema di rigenerazione proposto, incluso il numero di alberi da mettere a dimora per ogni unità di area disboscata.

ATTIVITÀ SUL CAMPO

Piantazione di specie arboree originali sulle aree disboscate. Questa azione mira a ripiantare alberi al fine di consentire la ricostituzione dell'ecosistema forestale originario. Le piante da utilizzare possono provenire da boschi vicini, dove la rinnovazione avviene naturalmente (faggio e abete) o da vivaia (in tal caso, sviluppati all'interno del progetto).

Le specie forestali selezionate per il ripristino sono: *Fraxinus excelsior*, *Ulmus glabra*, *Acer pseudo-platanus*, *Sorbus aucuparia* e *Taxus baccata*.



SCHEDA 3

Conservazione delle faggete acidofile con *Ilex aquifolium* (9120) mediante metodi selvicolturali idonei

CODICE: 15 CCA/FR/000021 0004 0H0C0

LINGUA: Inglese/Francese

PAESE: Francia

PROGETTO LIFE: FORECCAsT (LIFE15 CCA/FR/000021)

REFERENTE: Parco Regionale Naturale di Haut-Languedoc - email: accueil@parc-haut-languedoc.fr

PROBLEMI/MINACCE AFFRONTATE DALLA BP

Il cambiamento climatico ha un impatto sulle foreste e sul loro funzionamento ecosistemico. L'aumento delle temperature e la perturbazione dei regimi idrici probabilmente modificheranno in modo significativo l'areale delle specie forestali. Tuttavia, il loro potenziale di adattamento è difficile da valutare di fronte a cambiamenti accelerati. Così, data l'evoluzione incerta e gli equilibri mutevoli, è necessario mettere in discussione la scelta delle specie per la rinnovazione e adattare le pratiche di gestione forestale.

OBIETTIVO

Conservare gli habitat forestali naturali attraverso la selvicoltura adattativa, in particolare i popolamenti corrispondenti all'habitat 9120 ricadenti all'interno di RN2000, attraverso diradamenti sanitari, metodi di velocizzazione della rinnovazione naturale e/o accompagnamento della rinnovazione naturale.

DESCRIZIONE SINTETICA

Questa BP è stata implementata su 3 siti sperimentali situati nel Parco Naturale Regionale dell'Alta Linguadoca (PNR HL) e nei siti Natura 2000 dove è presente l'habitat 9120: in ciascuna modalità di ciascun sistema sono state istituite aree di monitoraggio permanenti. Le misure rilevate sugli appezzamenti sono le seguenti:

- stazioni (rilievo iniziale);
- dendrometria (circonferenze e altezza degli alberi nell'appezzamento);
- descrizione dello stato di salute degli alberi;
- biodiversità (su alcune prove vengono monitorati l'Indice di Biodiversità Potenziale e gli indicatori di biodiversità: flora, insetti impollinatori, pipistrelli, uccelli, insetti saproxilofagi);
- rigenerazione (monitoraggio della rigenerazione naturale);
- rischio incendio (indice di combustibilità CEMAGREF).

1/ Stand Natura 2000 di Bessarèdes

Il popolamento è una fustaia regolare mista a roverella (*Quercus pubescens*) e faggio (*Fagus sylvatica*) allo stadio maturo, con presenza di rinnovazione naturale. Localmente si insediano alcuni nuclei di agrifoglio (*Ilex aquifolium*) dove la rinnovazione non è riscontrata. L'obiettivo, dunque, è di effettuare un diradamento per consentire lo sviluppo della rinnovazione naturale. Qualora fosse impedita dal ricaccio dell'agrifoglio, su quest'ultimo può essere effettuato lo sradicamento delle ceppaie. Il processo si compone di una sola fase: taglio secondario del popolamento per favorire la rinnovazione naturale, con occasionale estirpazione dell'agrifoglio nel sottobosco.

2/ Stand Natura 2000 di Bessarèdes

Il popolamento è una fustaia regolare mista a roverella e faggio, con presenza di abete bianco nel sottobosco e assenza di rinnovazione naturale. Gli obiettivi sono la conservazione dell'habitat e della sua diversità biologica, l'irregolarità dell'insediamento, la promozione della rinnovazione naturale e della variabilità genetica al fine di sfruttare eventuali adattamenti della specie. Il processo si compone di una sola modalità: il taglio irregolare per favorire la rinnovazione. Si tratta di un diradamento sistematico geometrico mediante la realizzazione di interruzioni ogni 20 m accoppiate a un diradamento selettivo.

3/ Popolazione Natura 2000 di Cassagneles.

Il popolamento è un bosco ceduo di faggio. Gli obiettivi della sperimentazione sono preservare l'habitat e la biodiversità biologica che lo compone, modulare il consumo idrico del popolamento al fine di ridurre la vulnerabilità agli eventi climatici estremi e, nel lungo periodo, favorire la rinnovazione naturale, la variabilità genetica per sfruttare eventuali adattamenti del faggio. Il test è composto da un "diradamento" (0,8 ha) di tipo sistematico (interruzioni ogni 20 m) e selettivo. Gli alberi da rilasciare sono stati contrassegnati.

SCHEDA 4

Conversione di monocolture - Ringiovanimento delle monocolture di abete rosso per ripristinare la composizione forestale originaria

CODICE: 11 NAT/RO/000823 0004 BHOCG

LINGUA: Inglese

PAESE: Romania

PROGETTO LIFE: CARPATHIA Restoration (LIFE11 NAT/RO/000823)

REFERENTE: BARBARA PROMBERGER-FÜRPASS - email: b.promberger@carpathia.org

PROBLEMI/MINACCE AFFRONTATE DALLA BP

L'espansione dell'abete rosso alle altitudini normalmente occupate da boschi di latifoglie e misti nei Carpazi rumeni, come risultato della gestione forestale, ha portato a cambiamenti nella struttura naturale di queste foreste. A causa della conformazione monospecifica, esse sono diventate maggiormente vulnerabili a fattori destabilizzanti come tempeste di vento, forti nevicate e attacchi di insetti. Inoltre, una ridotta diversità di specie animali e vegetali ha influenzato negativamente la struttura e l'acidità del suolo. Per ridurre i rischi generati da questi fattori ambientali sono necessarie misure urgenti per migliorare la biodiversità, aumentare la stabilità e ricostruire la composizione naturale di queste monocolture.

OBIETTIVO

Migliorare la biodiversità e avviare il ritorno all'ecosistema originario (faggete di *Luzulo-Fagetum* con *Abies alba* e/o *Picea abies*, o foreste acidofile di abete rosso nella zona montana, e foreste alluvionali con *Alnus glutinosa* nelle aree ripariali) creando gap all'interno di queste monocolture e reintroducendo specie arboree autoctone che sono state eliminate conseguentemente ai tagli boschivi.

DESCRIZIONE SINTETICA

Prima dell'implementazione delle attività sul campo è necessario condurre un'analisi che contenga:

- una distribuzione altitudinale delle aree forestali;
- raccomandazioni sulla distribuzione altitudinale degli interventi;
- definizione dell'intensità dell'intervento per ogni sito;
- individuazione della strategia di abbattimento degli alberi;
- raccomandazioni per prevenire l'incremento di scolitidi;
- scelta delle specie da reinserire.

È raccomandato di utilizzare la forza lavoro delle comunità locali per le attività di utilizzazione, che comporta minori costi di trasporto e supporto da parte delle comunità, un fattore importante per qualsiasi amministratore forestale o di area protetta.

L'attuazione delle misure di conversione avviene attraverso un intervento eseguito creando fino a 5 buche/ha con un diametro di circa 15 metri, tagliando l'abete rosso. Di conseguenza il bosco di abete rosso verrà interrotto ogni 40-50 metri dove saranno successivamente effettuati gli impianti con specie arboree decidue.

SCHEDA 5

Uso dell'app "FORECCAsT by BioClimSol"

CODICE: 15 CCA/FR/000021 0001 000C0

LINGUA: Inglese/Francese

PAESE: Francia

PROGETTO LIFE: FORECCAsT (LIFE15 CCA/FR/000021)

REFERENTE: Parco Regionale Naturale di Haut-Languedoc - email: accueil@parc-haut-languedoc.fr

PROBLEMI/MINACCE AFFRONTATE DALLA BP

Il cambiamento climatico ha un impatto sulle foreste e sul loro funzionamento ecosistemico. L'aumento delle temperature e la perturbazione dei regimi idrici probabilmente modificheranno in modo significativo l'areale delle specie forestali. Tuttavia, il loro potenziale di adattamento è difficile da valutare di fronte a cambiamenti accelerati. Così, data l'evoluzione incerta e gli equilibri mutevoli, è necessario mettere in discussione la scelta delle specie per la rinnovazione e adattare le pratiche di gestione forestale.

OBIETTIVO

Aiutare gli utenti a prendere decisioni consapevoli per adattare la loro gestione ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici. FORECCAsT di Bioclimsol integra lo strumento di supporto decisionale BioClimSol destinato a chi opera sul campo, ai proprietari e ai gestori forestali.

DESCRIZIONE SINTETICA

L'applicazione FORECCAsT by Bioclimsol offre due moduli: il primo riguarda la gestione e il futuro di un popolamento in piedi (modulo "stand in piedi"); il secondo riguarda la rinnovazione e, più in particolare, l'impianto di nuove specie per piantagioni.

L'applicazione FORECCAsT by Bioclimsol utilizza diverse tipologie di dati, in particolare climatici, stazionali e relativi al popolamento forestale indagato. Inoltre, utilizza dati raccolti dall'utente (indispensabili o meno per arrivare ai risultati) e quelli direttamente disponibili scaricabili da server.

Per valutare il livello di rischio gravante sul sistema climatico specie arboree-contesto-sito (mutevole), lo strumento si basa su una serie di dati relativi alla scala dell'area forestale. A seconda delle specie interessate, sono stati sviluppati i seguenti metodi:

- il calcolo di un indice BioClimSol (IBS) viene effettuato per specie che sono state oggetto di studi specifici. Il metodo è empirico, basato su ampie campagne di misurazione sul campo. Le equazioni IBS sviluppate producono modelli del rischio di osservare un fenomeno di declino per una specie. Questo indice si traduce, per l'utente, in un livello di vigilanza specifico dei limiti pedoclimatici per una specie;
- il calcolo di un indice di *optimum* BioClimSol (INB) consente una diagnosi per le altre specie. Il metodo è empirico ed è basato sugli areali di distribuzione naturale delle specie, sui risultati della letteratura e sulle osservazioni degli esperti del settore, si compone di tre parti:
 - livello di adattamento climatico: è la probabilità di trovarsi al centro dell'*optimum* climatico della specie;
 - grado di idoneità del suolo: coniuga l'idoneità della specie rispetto ai criteri di compattezza del suolo, pH, riserva utile, riserva idrica e presenza di calcare attivo;
 - livello di idoneità topografica: si basa sull'idoneità della specie rispetto alla posizione topografica della stazione, in relazione al bilancio idrico.

Un codice colore (verde-arancio-rosso) permette di trascrivere l'adeguatezza o i limiti di una specie a seconda dei fattori analizzati;

- il modulo "stand in piedi" si applica alla gestione dei popolamenti forestali esistenti. Stima con la massima precisione l'adeguatezza tra le specie presenti, il contesto del sito e il clima presente o futuro. Applicabile alle specie per le quali è possibile il calcolo di un indice BioClimSol (IBS), definisce un livello di vigilanza compreso tra 0 e 10. Tale livello è correlato alla quota di parcelle di calibrazione che hanno manifestato decadimento ai sensi del Dipartimento di Salute Forestale (DFS) in condizioni simili. Può portare alla formulazione di alcune raccomandazioni selvicolturali, che sono state dettagliate e sono disponibili per il *download*;
- il modulo "soluzioni di rimboschimento" risponde alla gestione di nuovi imboschimenti. Offre all'utente un set di specie da rimboschimento adattate a priori al contesto del sito e al clima futuro. Può anche essere utilizzato per stimare l'adeguatezza della rigenerazione naturale di un popolamento nel sito e le condizioni climatiche future.

AUTORI

Marcello Miozzo, D.R.E.Am. Italia.
E-mail: miozzo@dream-italia.it

Serena Corezzola, D.R.E.Am. Italia.
E-mail: corezzola@dream-italia.it

3.1 | Abstract

Good Practices in the Life Programme Experience

The Life project GoProFor (LIFE17 GIE/IT/000561) encourages and promotes the exchange of knowledge and tools, the Good Practices deriving from the Life Program experience, among all the subjects operating in the forests within Natura 2000 Network, in order to favor a better integration of forest management with the protection of biodiversity. One of the pillar of the project is precisely the collection and provision, in a single *Database*, of good practices of forest-related Life projects. Among the over 270 GPs present, 87 of them are related to the theme of climate changes. This document shows 5 examples of good practices that can inspire good management of beech forests.

1. **Techniques for the assisted migration** of autochthonous Silver fir aimed at the increase of habitat 9220* (Life ReSilFor)
2. **Restoration of the original forest composition** on clear-felled areas (Life CARPATHIA Restoration)
3. **Conservation of acidophilic beech forests with *Ilex aquifolium*** (9120) by suitable silvicultural methods (sanitary thinning, natural regeneration) (Life FORECCAsT)
4. **Monoculture conversion - Rejuvenation** of spruce monocultures to restore the original forest composition (Life CARPATHIA Restoration)
5. Use of "FORECCAsT by BioClimSol" App to **support species selection** in the context of climate change (Life FORECCAsT).



3.2

Le buone pratiche selvicolturali del progetto Life ResilForMed

Donato Salvatore La Mela Veca - Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università degli Studi di Palermo

Federico Maetzke - Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università degli Studi di Palermo

Sebastiano Sferlazza - Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università degli Studi di Palermo

Il cambiamento climatico in atto

La risposta delle foreste ai cambiamenti climatici presenterà due tendenze opposte:

- una di **diminuzione del patrimonio forestale causata dalla riduzione della disponibilità idrica nelle aree del sud Europa e del Mediterraneo;**
- una di **espansione della flora arborea e di allungamento del periodo vegetativo, nel nord Europa** dove ci saranno più favorevoli condizioni di temperatura ed umidità dei suoli, oltre alla maggiore disponibilità di anidride carbonica per la fotosintesi.

In area Mediterranea ed in particolare nel sud Italia, gran parte della Spagna, Grecia e Turchia, l'aumento previsto dell'aridità renderà le foreste più vulnerabili ai fattori di disturbo biotici (attacchi batterici, parassitari, ecc.) ed abiotici (siccità, incendi, ecc.) riducendone la resistenza e soprattutto compromettendone la resilienza. Alla resilienza si correla la capacità di adattamento dei sistemi. L'adattamento invece rappresenta gli aggiustamenti che i sistemi ecologici, i sistemi umani e socio-economici effettuano o sono in grado di effettuare in relazione ad una perturbazione introdotta al fine di riequilibrare gli stessi sistemi alle mutate condizioni, o agli effetti di tali mutate condizioni. In pratica si tratta di aggiustamenti, che da una parte tendono a minimizzare le conseguenze negative della perturbazione introdotta e, dall'altra parte, a sfruttare le opportunità positive di tale perturbazione, aggiustamenti che nei sistemi ambientali, in assenza di intervento umano, sono per lo più di tipo omeostatico.

L'adattamento dipende dalle capacità che i sistemi considerati hanno ad adattarsi, cioè, di raggiungere un nuovo equilibrio, più o meno analogo al precedente, ma adeguato alla nuova situazione. **Le capacità di adattamento di un dato sistema sono tanto maggiori quanto maggiore è la resilienza del sistema considerato** (o quanto minore è la sua vulnerabilità) e sono tanto maggiori **quanto minore è la sensibilità di tale sistema alla perturbazione introdotta o alle variazioni delle condizioni preesistenti.**

Come conseguenza di queste pressioni in atto, i soprassuoli forestali riducono la loro capacità di concorrere alla stabilità del sistema, ovvero di esplicare i cosiddetti servizi ecosistemici.

La capacità di protezione esercitata dai soprassuoli forestali è molto fragile quando sono soggetti all'esposizione congiunta, frequente e reiterata a fenomeni di pressione antropica quali incendi, sovrappascolamento, sovrasfruttamento delle produzioni legnose, ecc.

Il progetto ResilForMed

È in tale contesto che si inserisce il progetto Life ResilForMed (LIFE11 ENV/IT/000215) (www.resilformed.eu/it) dal titolo "RESILienza al cambiamento climatico delle FOReste MEDiterranee".

I partner di progetto sono stati:

- Università degli studi di Palermo, Dipartimento DSAF: responsabile delle azioni di monitoraggio sia preliminari sia postintervento, ha coordinato le decisioni in campo selvicolturale;
- DRAFD Regione Siciliana, Assessorato regionale delle risorse agricole ed alimentari, Dipartimento regionale Azienda regionale foreste demaniali: responsabile dell'attuazione del progetto e ha implementato le azioni dimostrative del progetto (COORDINATORE).
- D.R.E.Am. Italia Soc.Coop.Agricolo-Forestale: ha sovrinteso ed eseguito tutte le azioni di coordinamento tecnico, definito i modelli selvicolturali e la loro implementazione dimostrativa;
- Comando del Corpo Forestale della Regione Siciliana: è stato responsabile dell'attuazione delle ricadute dei risultati del progetto sulla politica forestale regionale.

Il progetto è stato approvato dalla Commissione Europea il 14 giugno 2012 e si è concluso nel 2017.

Scopo del progetto era l'individuazione delle popolazioni forestali più vulnerabili a seguito dei cambiamenti climatici e l'individuazione di buone pratiche selvicolturali volte a ridurre la vulnerabilità ed aumentarne la resilienza.

Il progetto ha analizzato le foreste siciliane individuando le **aree forestali più sensibili al rischio desertificazione**, per le quali è necessaria l'applicazione di tecniche di gestione forestale volte ad aumentarne la resilienza. Sono stati individuati **indicatori ornitologici e selvicolturali** di resilienza che risultano significativi per valutare nel tempo su scala di paesaggio l'evoluzione della qualità ecosistemica rispetto ai fenomeni di desertificazione. Il progetto ha sviluppato modelli di gestione forestale ottimali raggruppati in cinque Buone Pratiche (BP) di Gestione ritenute significative per il miglioramento o il consolidamento della resilienza delle foreste Mediterranee ai cambiamenti climatici. L'applicabilità delle buone pratiche è stata assicurata attraverso la progettazione e l'esecuzione di specifici interventi in sette aree dimostrative, circa 120 ettari di foreste rappresentative del patrimonio forestale regionale. Il progetto ha coinvolto anche le comunità locali in merito a:

- l'attuazione dei modelli di gestione forestale per favorire la resilienza delle foreste;

- lo sviluppo di un nuovo modello di *governance* del settore forestale che coinvolga attivamente i portatori di interesse locali: comuni, cittadini, associazioni di categoria, operatori economici, gruppi di azione locale, ecc.

L'approccio ritenuto efficace per la mitigazione degli effetti del cambiamento climatico si è articolato attraverso lo sviluppo delle azioni di seguito descritte:

- **Azione A1 - identificazione cartografica** su scala regionale e di paesaggio, delle aree forestali a maggior rischio di desertificazione;
- **Azione A2 - analisi, valutazione e quantificazione degli effetti dei cambiamenti climatici;**
- **Azione A3 - definizione del ruolo di comunità ed ecosistemi** nelle strategie di adattamento ai cambiamenti;
- **Azione A4 - sviluppo di modelli di gestione ottimali** utili a migliorare o consolidare la resilienza degli ecosistemi forestali.

La base di partenza per lo sviluppo del progetto è stata l'identificazione cartografica su scala regionale e di paesaggio delle aree forestali maggiormente sensibili ai cambiamenti climatici (Azione A1). A tal fine, dall'intersezione in ambiente GIS della Carta della sensibilità alla desertificazione (ESAs) della Regione Sicilia con la Carta Forestale della Regione Sicilia è stata ottenuta la Carta della sensibilità al rischio desertificazione delle aree forestali della regione Sicilia a scala 1: 25.000 (Figura 3.2-1).

Dai risultati è emerso che il **49% delle aree forestali siciliane ricadono nella classe di rischio "fragile"**, il 29% nella classe di rischio "critico", il 17% in quella "potenziale" e solo il 5% nella classe "non affetto".

La Carta della sensibilità al rischio desertificazione del-

le aree forestali della Sicilia è stata utilizzata, inoltre, per identificare le aree dimostrative di intervento dove implementare i modelli di gestione ottimali per la resilienza delle foreste. Tali aree sono state scelte secondo i seguenti criteri:

- elevata sensibilità alla desertificazione;
- localizzazione all'interno di aree protette (siti Natura 2000, parchi, riserve);
- ampia rappresentatività delle principali categorie forestali regionali;
- individuazione di contesti selvicolturali diversificati;
- contiguità territoriale e localizzazione all'interno di un singolo comune.

Al fine di analizzare, valutare e quantificare i principali effetti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi forestali (Azione A2), sono state condotte indagini diacroniche in ciascuna delle sette aree di studio considerando quattro periodi (1955, 1968, 1988, 2012). In questo modo, sono stati classificati e quantificati i cambiamenti di uso e di copertura del suolo in tali aree nel corso del tempo prendendo in considerazione sia l'intero periodo (1955-2012) sia i periodi intermedi (1955-1968, 1968-1988, 1988-2012).

I cambiamenti di uso del suolo sono stati classificati in tre classi:

- "invariato", se non sono state registrate variazioni di uso del suolo;
- "evoluzione", laddove sono state riscontrate dinamiche successionali che hanno aumentato la complessità strutturale e/o compositiva degli ecosistemi forestali;
- "degradazione", include quelle formazioni forestali che hanno subito una chiara semplificazione strutturale e/o compositiva.

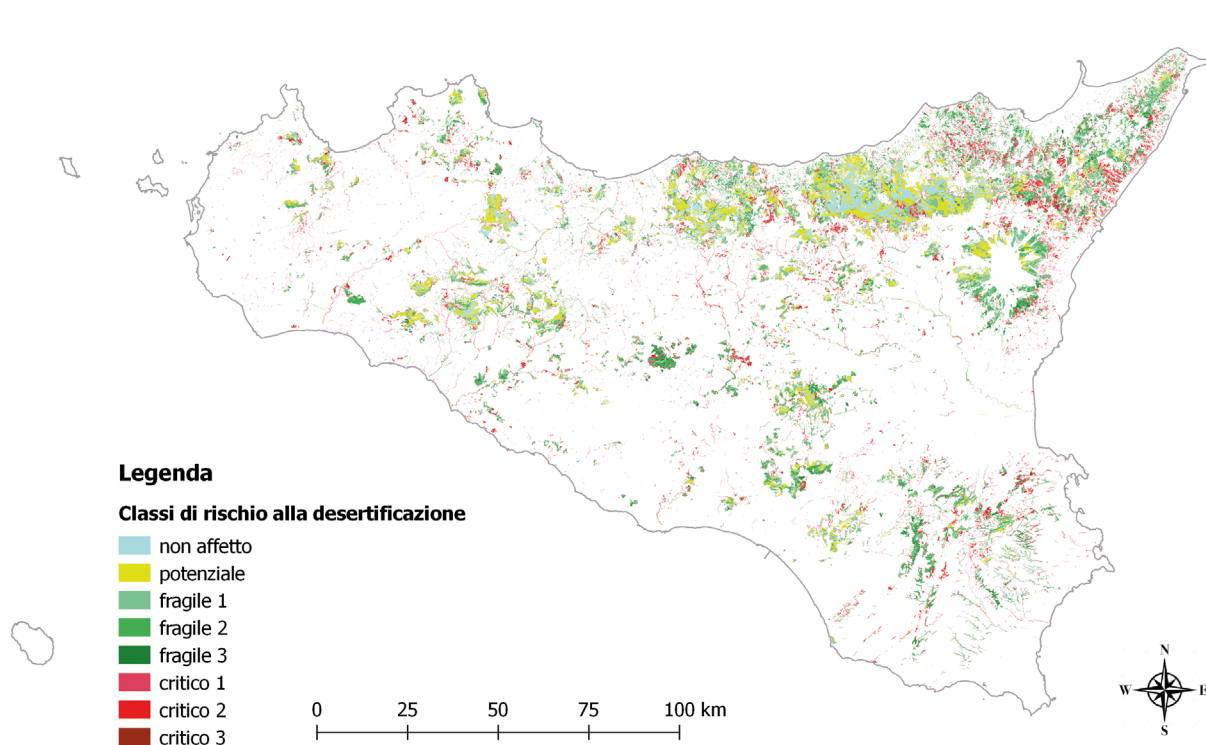


Figura 3.2-1 - Carta della sensibilità al rischio desertificazione delle aree forestali della regione Sicilia.

I cambiamenti del grado copertura del suolo sono stati classificati in quattro classi:

- "invariato";
- "poco significativo", se è stato osservato un cambiamento pari o inferiore al 20%;
- "incremento";
- "decremento", quando è stato registrato rispettivamente un aumento o una riduzione del grado di copertura del suolo superiore al 20%.

Il valore del 20% è stato indicato come soglia minima per considerare significative le variazioni di incremento o decremento del grado di copertura del suolo.

Con riferimento all'Azione A4 riguardante la definizione del ruolo di comunità ed ecosistemi nelle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici, è stato realizzato un piano di campionamento all'interno delle superfici forestali con uso del suolo invariato individuate nell'Azione A3, ovvero quelle superfici che non hanno subito variazioni sia di uso, sia di copertura del suolo. In particolare, sono state investigate formazioni riconducibili a 12 tipi forestali afferenti a 8 categorie forestali della Sicilia al fine di definire una lista di **indicatori selvicolturali di resilienza ritenuti efficaci per mantenere la resilienza e la capacità di adattamento** ai cambiamenti climatici.

Indicatori selvicolturali di resilienza

Gli indicatori selvicolturali di resilienza selezionati sono:

- **composizione arborea**;
- **grado di copertura**;
- **parametri dendrometrici**: densità (n/ha), area basimetrica (m²/ha), diametro medio (cm), altezza media (m), volume (m³/ha); per ogni tipologia forestale sono stati calcolati il valore minimo di ciascun parametro richiesto per il mantenimento della resilienza e della capacità di adattamento della formazione forestale;

- **diversità strutturale**: distribuzione verticale ed orizzontale;
- **presenza/assenza di specie arboree sporadiche e/o endemiche**;
- **presenza/assenza di alberi vetusti**;
- **presenza/assenza di rinnovazione naturale: composizione, densità, fattori limitanti**;
- **presenza/assenza di legno morto**: volume e classi di decadimento;
- **presenza/assenza di fenomeni di dissesto idrogeologico**.

Durante l'attività di campionamento sono state anche registrate le specie arboree sporadiche e/o endemiche presenti. Queste specie rappresentano un importante elemento di biodiversità e resilienza dei boschi, per questa ragione occorre proteggerle e favorire una maggiore presenza e diffusione.

L'attività di campionamento, analisi e monitoraggio degli indicatori di resilienza sono state propedeutiche per sviluppare modelli di gestione ottimali per migliorare o consolidare la resilienza degli ecosistemi forestali. La definizione di questi modelli ha richiesto un approccio metodologico rigoroso per valutare in termini oggettivi le condizioni attuali e auspicabili di formazioni forestali molto diversificate. Lo strumento operativo messo a punto per l'analisi della realtà forestale è la "Scheda di valutazione della resilienza forestale" consultabile nelle linee guida disponibili al sito www.resilformed.eu/it alla sezione "documenti di progetto/report di progetto".

La scheda è una sorta di guida che permette di valutare gli indicatori selvicolturali di resilienza relativi alla formazione forestale e il contesto stagionale in cui essa si colloca allo stato attuale e la condizione ottimale auspicabile sotto il profilo della resilienza ai cambiamenti climatici nel breve, medio e lungo periodo.

Una volta definite le condizioni auspicabili, è **necessa-**

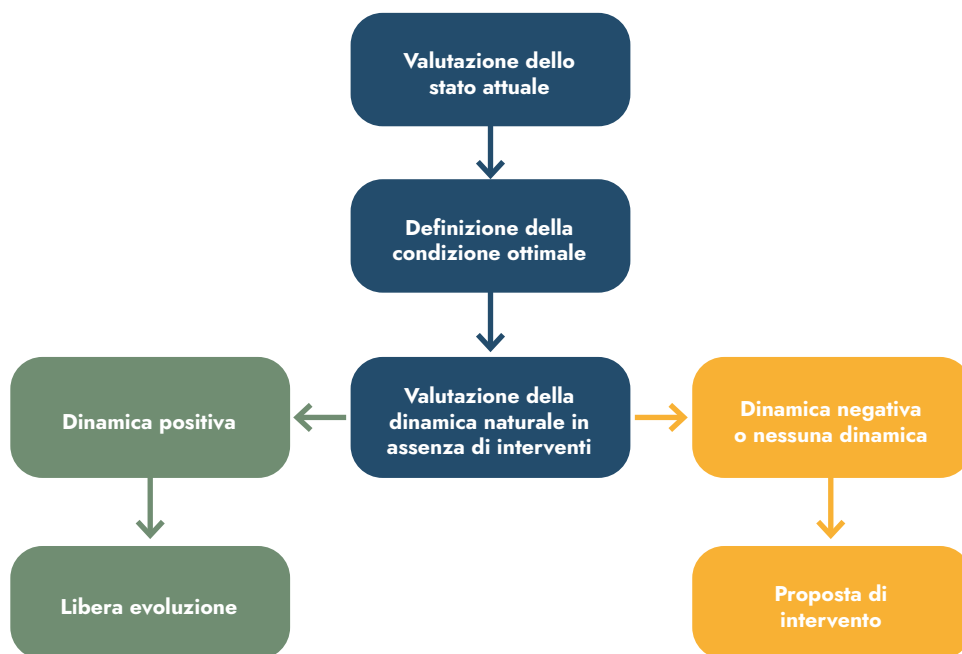


Figura 3.2-2 - Procedimento di valutazione di ciascun indicatore e definizione delle necessità di intervento ai fini della resilienza forestale.

rio valutare se in assenza di interventi colturali l'evoluzione naturale della formazione forestale conduca o meno verso la direzione auspicata e con quali ritmi; se l'evoluzione naturale non procede nel senso auspicabile e/o i tempi necessari per l'evoluzione sono troppo lunghi, è possibile definire gli interventi da attuare per modificare o accelerare le dinamiche verso la condizione ideale. L'esigenza da cui deriva questa impostazione metodologica (Figura 3.2-2) è quella di razionalizzare i ragionamenti e rendere il più possibile oggettiva la valutazione e quindi la successiva definizione degli interventi.

Le buone pratiche selvicolturali

L'approccio seguito ha fornito una chiara definizione delle azioni colturali da intraprendere sulle formazioni

forestali investigate: è stato possibile definire i modelli gestionali da applicare in relazione alla categoria (o tipo) forestale di appartenenza, raccolti in cinque Buone Pratiche (BP) gestionali ritenute significative per la prevenzione dell'impatto dei cambiamenti climatici e che agiscono principalmente sul miglioramento della resilienza ecosistemica.

Le BP definite sono le seguenti:

- **BPO1 - Aumento della mescolanza e della tenuta idrogeologica del soprassuolo.** Interventi selvicolturali a favore di specie edificatrici del suolo (nutrienti, tessitura e struttura), che contemporaneamente assicurino o conservino adeguati livelli di sostanza organica nel suolo, garantiscano il miglioramento del rifornimento idrico dello stesso e condizioni di luce e temperatura favorevoli all'accelerazione delle dinamiche successionali progressive.

Tipologia forestale	Tipo/variante	BP	Categoria di intervento forestale
Querceti di rovere e roverella	Querceto xerofilo di roverella dei substrati carbonatici	03	A) Tramarratura delle ceppaie di roverella bruciate, deperienti e/o malformate B) Introduzione di specie quercine autoctone in formazioni prive di piante portasemi C) Riduzione del carico di combustibile per ridurre il rischio di incendi D) Esclusione del pascolo
Sugherete	Sughereta termomediterranea costiera	01	Opere di ingegneria naturalistica per il controllo dei fenomeni erosivi
		02	Diradamenti selettivi a carico delle specie esotiche introdotte
		03	A) Tramarratura delle ceppaie di roverella bruciate, deperienti e/o malformate B) Introduzione di specie quercine autoctone in formazioni prive di piante portasemi C) Riduzione del carico di combustibile per ridurre il rischio di incendi D) Esclusione del pascolo
Leccete	Lecceta mesoxerofila	04	A) Avviamento dei cedui a fustaia B) Interventi di selvicoltura d'albero
	Lecceta xerofila mesomediterranea, variante dei substrati silicatici	02	A) Diradamenti selettivi a carico delle specie esotiche introdotte B) Introduzione di specie quercine autoctone in formazioni prive di piante portasemi C) Esclusione del pascolo
Cerrete	Cerreta montana	04	A) Avviamento dei cedui a fustaia B) Interventi di selvicoltura d'albero
Faggete	Faggeta mesofila calcifila	04	A) Avviamento dei cedui a fustaia B) Interventi di selvicoltura d'albero
	Faggeta mesofila dei substrati silicatici	01	A) Diradamenti selettivi a carico delle specie esotiche introdotte B) Introduzione di specie quercine autoctone in formazioni prive di piante portasemi C) Esclusione del pascolo
Pinete di pino laricio	Pineta superiore di pino laricio	02	Diradamenti selettivi a carico delle specie esotiche introdotte
Pinete di pini mediterranei	Pineta di pino marittimo di Pantelleria	04	A) Diradamento selettivo nella fustaia di pino marittimo per ridurre la competizione interspecifica B) Sfollo a carico della spessina di pino marittimo
Rimboschimenti	Rimboschimento di eucalpti	02	A) Diradamenti selettivi a carico di <i>Eucalyptus</i> spp. B) Taglio dei ricacci sulle ceppaie di <i>Eucalyptus</i> spp. C) Introduzione di specie arboree e arbustive autoctone
		05	Realizzazione di fasce boscate con funzione di corridoio ecologico con impianto di specie arboree e arbustive autoctone
	Rimboschimento di eucalpti, variante con latifoglie in successione	02	A) Diradamenti selettivi a carico di <i>Eucalyptus</i> spp. B) Taglio dei ricacci sulle ceppaie di <i>Eucalyptus</i> spp. C) Introduzione di specie quercine autoctone in formazioni prive di piante portasemi
	Rimboschimento mediterraneo di conifere variante a pino d'Aleppo	02	A) Diradamento selettivo su pino d'Aleppo per ridurre la competizione interspecifica B) Introduzione di specie arboree autoctone
		03	Riduzione del carico di combustibile per ridurre il rischio di incendi
		05	Realizzazione di fasce boscate con funzione di corridoio ecologico con impianto di specie arboree e arbustive autoctone.
Rimboschimento montano di conifere	02	Diradamenti selettivi a carico delle specie esotiche introdotte	
Macchie e arbusteti mediterranei		03	A) Tramarratura delle specie della componente arborea B) Introduzione di specie arboree e arbustive autoctone C) Riduzione del carico di combustibile per ridurre il rischio di incendi

Tabella 3.2-1 - Interventi previsti differenziati per tipologia forestale e per Buona Pratica (BP) gestionale.

- **BP02 - Rinaturalizzazione dei soprassuoli artificiali.** Interventi selvicolturali finalizzati ad assecondare i processi di rinaturalizzazione con l'obiettivo di aumentare la stabilità e quindi l'efficienza ecologico-strutturale dell'ecosistema, ma anche interventi di reinserimento di specie autoctone in soprassuoli privi di piante portaseme.
- **BP03 - Ripristino e recupero di aree degradate.** Interventi selvicolturali in boschi degradati (per pascolo o percorsi dal fuoco) finalizzati al recupero del soprassuolo forestale (ad es., tramarratura per le specie quercine o introduzione di specie autoctone più resistenti agli incendi).
- **BP04 - Aumento e sviluppo della complessità strutturale dei soprassuoli.** Interventi selvicolturali di conversione dei boschi cedui (leccete, querceti caducifogli, faggete) all'interno delle aree protette, al fine di creare delle comunità con maggiore produttività e stabilità ecosistemica.
- **BP05 - Aumento e sviluppo delle connettività nei sistemi agro-forestali.** Interventi selvicolturali finalizzati a ridurre la frammentazione delle superfici forestali in modo da aumentarne la connettività e attenuare l'influenza delle attività antropiche delle aree circostanti (superfici agricole, pascoli).

L'applicabilità delle buone pratiche sviluppate è stata assicurata attraverso la progettazione e l'esecuzione di specifici interventi (Tabella 3.2-1), differenziati in funzione della tipologia forestale e delle diverse criticità emerse, orientati alla corretta gestione selvicolturale, alla conservazione e salvaguardia della biodiversità e del paesaggio, al mantenimento e/o miglioramento dell'assetto idrogeologico del territorio.

La scheda di valutazione della resilienza forestale

La scheda di valutazione della resilienza forestale consente contestualmente la definizione dello stato attuale del popolamento forestale in termini di resilienza, l'individuazione dello stato ottimale auspicabile, da perseguire come obiettivo finale di lungo periodo (30 anni) e degli obiettivi di breve (5 anni) e medio (15 anni) periodo perseguibili attraverso idonei interventi selvicolturali (Figura 3.2-3).

Le prime due colonne della scheda contengono la lista degli indicatori da esaminare e la loro descrizione.

La terza colonna contiene una indicazione sintetica degli obiettivi "ideali" da perseguire nel medio-lungo periodo per conseguire un incremento della resilienza forestale. Si tratta di obiettivi di carattere generale che tuttavia possono essere puntualizzati e meglio specificati a scala di categoria (o tipo) forestale.

Le colonne successive devono essere compilate in relazione ai casi concreti di studio, con il supporto delle indicazioni contenute nei capitoli successivi.

Si procede quindi con la collocazione di una spunta nelle caselle che definiscono lo stato e le tendenze evolutive nel breve (5 anni), medio (15 anni) e lungo (30 anni) periodo. Questo punto riveste una fondamentale importanza, in quanto sarà l'analisi del posizionamento del simbolo a determinare la necessità o meno di intervenire ed, eventualmente, quando e in che maniera. La colonna è divisa verticalmente in cinque settori di diverso colore: il settore centrale di colore bianco indi-

ca una condizione di stasi o di resilienza minima, i due settori alla sinistra di colore rosso indicano un graduale peggioramento, i due settori alla destra di colore verde indicano un graduale miglioramento dell'indicatore considerato in assenza di interventi. Il procedimento logico consiste nell'ipotizzare un'evoluzione naturale della formazione negli intervalli di tempo considerati, valutando se le modificazioni che possono intervenire naturalmente possono contribuire positivamente o negativamente alla resilienza forestale del soprassuolo e se i ritmi con cui avvengono tali modifiche siano sufficientemente rapidi.

Nel caso in cui si ipotizzi che l'evoluzione naturale non proceda nel senso auspicato e/o i tempi necessari per l'evoluzione dovessero essere troppo lunghi, occorrerà definire gli interventi da attuare per modificare e/o accelerare le dinamiche verso la condizione "ideale". Le ultime due colonne della scheda sono appunto dedicate alla definizione degli interventi proponibili, indicando anche gli specifici obiettivi conseguibili (meglio se oggettivamente quantificabili) con tali interventi sempre con riferimento al breve e medio periodo.

BIBLIOGRAFIA

LA MELA VECA D.S., CULLOTTA S., SFERLAZZA S., MAETZKE F.G., 2016 - **Anthropogenic Influences in Land Use/Land Cover Changes in Mediterranean Forest Landscapes in Sicily**. Land, 5(1), 3: 1-13. DOI: 10.3390/land5010003.

SFERLAZZA S., LA MELA VECA D.S., MIOZZO M., FANTONI I., MAETZKE F.G., (eds) 2017 - **Linee guida per la valutazione della resilienza delle foreste Mediterranee [Guidelines for assessing the Resilience of Mediterranean Forests to Climate Change]**. Palermo University Press, 128 p. ISBN 978-88-99934-42-2.

SFERLAZZA S., MIOZZO M., LA MELA VECA D.S., MAETZKE F.G., (eds) 2017 - **Resilienza delle foreste Mediterranee ai cambiamenti climatici - Guida al progetto [Resilience of Mediterranean forests to climate change - Project guide]**. Palermo University Press, 180 p. ISBN 978-88-99934-44-6.

SFERLAZZA S., MAETZKE F.G., MIOZZO M., LA MELA VECA D.S., 2017 - **Resilience of Mediterranean Forests to Climate Change**. In: Mediterranean Identities - Environment, Society, Culture, Fuerst-Bjeliš B (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/intechopen.68943.

AUTORI

Donato Salvatore La Mela Veca, Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università di Palermo. E-mail: donato.lamelaveca@unipa.it

Federico Maetzke, Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università di Palermo. E-mail: federico.maetzke@unipa.it

Sebastiano Sferlazzo, Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali, Università di Palermo. E-mail: sebastianosferlazzo@gmail.com

LIFE11 ENV/IT/000215 RESILFORMED		SCHEDA DI VALUTAZIONE DELLA RESILIENZA FORESTALE				www.resilformed.eu	www.unipapress.it			
CATEGORIA/TIPOLOGIA FORESTALE:		SPECIFICHE E DESCRIZIONE DELL'INDICATORE		OBIETTIVI IDEALI DA PERSEGUIRE (LUNGO PERIODO) per l'incremento della resilienza forestale	STATO ATTUALE	STATO E TENDENZE EVOLUTIVE SENZA INTERVENTI NEL BREVE (5 ANNI) MEDIO (15 ANNI) E LUNGO (30 ANNI) PERIODO	OBIETTIVI PERSEGUIBILI CON GLI INTERVENTI NEL BREVE E MEDIO PERIODO	DESCRIZIONE INTERVENTO		
INDICATORI DI VALUTAZIONE						Anni	---	+/4	+++	
Categoria Forestale attuale e dinamica	Attribuzione del soprassuolo attuale alla relativa categoria/ sottocategoria forestale e individuazione della categoria potenziale		Se categoria attuale è diversa da quella potenziale: evoluzione verso la categoria potenziale; se la categoria è stabile: aumento della sua maturità, complessità e ricchezza			30			+++	
	Ripartizione percentuale delle specie principali		Aumento significativo della % di diffusione di specie autoctone della categoria potenziale o di specie ecologicamente idonee alla stazione			15			++	
Composizione specifica del soprassuolo arboreo	Presenza di specie sporadiche		Incremento della diffusione e valorizzazione per la produzione di seme			5				
	Presenza di piante madri di specie autoctone		Incremento della diffusione e valorizzazione per la produzione di seme			30				
Composizione specifica strato successionale (arbustivo e rinnovazione)	Numero di specie dello strato successionale		Aumento del numero di specie dello strato successionale (in particolare delle specie indicatrici di dinamiche evolutive verso la categoria potenziale)			15				
	Rinnovazione arborea in via di affermazione (% di superficie interessata)		Incremento della diffusione e avanzamento dell'affermazione della rinnovazione di specie autoctone			30				
Struttura verticale del popolamento arboreo	Rinnovazione arborea affermata (% di superficie interessata)		Passaggio allo strato arboreo della rinnovazione affermata di specie autoctone			15				
	La struttura può essere: monoplana, biplana o pluristratificata		Aumento della diversificazione verticale del piano arboreo (da monoplano a biplano e da biplano a pluristratificato)			30				
Specie indicatrici di disturbo (specie insediate)	Tessitura		Passaggio da tessiture semplici a tessiture più articolate e da tessiture disperse a tessiture aggregate o uniformi con piccole lacune			30				
	Individuare specie estranee o con distribuzione atipica o quelle della vegetazione naturale potenziale o alle specie ecologicamente coerenti dell'area in esame.		Riduzione della copertura e della diffusione complessiva delle specie anomale, esotiche o ecologicamente non idonee			15				
Letteria	Presenza, spessore e grado di decomposizione della letteria		Presenza di uno strato di letteria diffuso ma non eccessivamente spesso e indecomposto, presenza di un orizzonte organico sufficientemente spesso.			30				
	Profondità delle chione espressa in classi (>1/2, 1/2-1/3, <1/3)		Planta media dominante nelle prime due classi			15				
Elementi di stabilità interna	Rapporto di snellezza		Planta media dominante con rapporto di snellezza inferiore a 90			5				
	Agenti fitopatologici		Assenza di condizioni predisponenti dipendenti dalla gestione, assenza di focolai di infezione primari e secondari			30				
Elementi di stabilità esterna	Carico di combustibile		Contenimento del carico di combustibile nelle aree a maggior rischio di incendio			30				
	Erosione superficiale (perdita di letteria e asportazione degli orizzonti organici del suolo)		Assenza di fenomeni			15				
	Erosione incanalata		Assenza di fenomeni			30				
	Pascolamento domestico con carico eccessivo (presenza di facies da sovra pascolamento)		Assenza di facies da sovra pascolo			15				

Figura 3.2-3 - La scheda di valutazione della resilienza forestale.

3.2 | Abstract

Good silvicultural practices in the Life ResilForMed project

The resilience is an ecosystem capacity to adapt itself and recover its characteristics in consequence of a natural or man-induced change, but an endangered ecosystem recovery can be either rapid or very slow.

The man-induced climate change is today well known, but it's sudden and ecosystems cannot not efficaciously cope with it. In this context, forests have a double function towards climate change:

- they contribute in mitigating the effects of this change;
- their adaptation grants a sustainable development.

In Sicily, forests and pre-forest ecosystems are characterized by simple and fragile structures, endangered by the deterioration resulting from the single or joined action of fires, grazing, non-functional cutting and attacks from parasites.

The Project LIFE11 ENV/IT/000215 RESIL-FORMED (RESilience of MEDiterranean FORests to Climate Change) arises from these bases.

The project has analysed the Sicilian forests to locate those forest areas which are more vulnerable to the desertification risk in order to apply the forest managing technics aiming at increasing their resilience.

Ornithological and silvicultural resilience indicators have been identified. The project has developed reliable forest management models grouped into five Best Management Practices (BMP) considered important for the improvement or reinforcement of the Mediterranean forests resilience to GC.

The approach considered effective has been organized through the development of the following actions:

- cartographic identification on a regional and landscape scale, of the forest areas at higher risk of desertification, an intersecting of the Environmental Sensitivity Areas to desertification of Sicilian region with the Regional Forest maps at a scale of 1:25'000 has been used;
- analysis, assessment and quantification of the effects of climate changes, focused on variations of soil use and coverings;

- definition of the communities and eco-systems role in the adaptive strategies to climate changes, based on selected silvicultural resilience indicators;
- development of the best management models to improve or consolidate the forests ecosystems resilience.

The definition of these models has required a strict methodological approach to assess, in objective terms, the current and desirable conditions of very different forests formations. The executive tool used to analyse the forests situation is "The forests resilience assessment chart". This chart makes it possible to assess the resilience silvicultural indicators concerning the forest formation in the current stand context, and the desirable best conditions, from the resilience to climate changes point of view, on the short, medium and long term. Consequently, to choose the Best Management Practice (BMP) to adopt in each case.

The established BMP are the following:

- **BMP1. Actions favouring mixing of species and hydrogeological stability** of forest practices in order to favor of species improving soil quality;
- **BMP2. Renaturalization of forest plantations.** Interventions aimed to pander renaturalization processes with the aim of increasing the stability, and thus the efficiency ecological-structural ecosystem, to reintegrate native species in forests free of seed-bearing trees were also foreseen;
- **BMP3. Remedial measures and restoration of degraded forests:** silvicultural actions on degraded woods due to fire, etc. aimed at recovering the forest ecosystems.
- **BMP4. Actions aimed at enhancing complex structural forests.** Conversion of coppices into high forests within the protected areas, to create favorable conditions for sporadic tree species, through the tree-oriented silviculture techniques;
- **BMP5. Actions favoring connectivity in agro-forestry systems:** forest interventions aimed at reducing the fragmentation of forest areas.



3.3

Gestione adattativa delle faggete: il Life ManFor C.BD

Giorgio Matteucci - CNR-IBE, Istituto per la BioEconomia

Eduardo Antenucci - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Vittorio Garfi - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Introduzione

Gli effetti dei cambiamenti climatici in corso ci spingono ad impiegare misure di adattamento e mitigazione in grado di garantire la vita sulla terra. Gli ecosistemi forestali ricoprono un ruolo importante nel ciclo di carbonio globale in almeno due modi (FAO e Plan Bleu 2018). In primo luogo, sottraendo ogni anno quasi 3 miliardi di tonnellate di carbonio emesso da attività antropiche (MALHI 2002) e, successivamente, fissandolo negli alberi e, in parte, nei suoli forestali (CANADELL e RAUPACH 2008). Le foreste mediterranee rappresentano dei serbatoi di carbonio (PASALODOS-TATO *et al.* 2017) e risultano in crescita, sia in superficie che in biomassa, nel corso dei decenni (CAÑELLAS *et al.* 2017). È però certo che i rapidi e intensi cambiamenti climatici in atto avranno un impatto significativo sulle foreste mediterranee (FAO e Plan Bleu 2018). **Tra i possibili approcci per aumentare l'adattabilità delle foreste al cambiamento climatico nel lungo periodo vi è quello di mantenere e/o aumentare la complessità della foresta** (NOCENTINI e COLL 2013, NOCENTINI *et al.* 2017), in termini di struttura e/o di numero di specie presenti. In tal senso, le azioni di gestione mirate a promuovere la diversificazione forestale (inclusi i cambiamenti nella composizione specifica favorendo specie maggiormente tolleranti i disturbi quali incendi e siccità) e a ridurre la competizione per le risorse in condizioni di scarsità idrica, risultano essere delle strategie utili per ridurre la vulnerabilità e aumentare la resilienza degli ecosistemi forestali al cambiamento climatico (FAO e Plan Bleu 2018).

Il progetto Life ManFor C.BD

(tratto da RECANATESI *et al.* 2016)

Il progetto Life ManFor C.BD. (Managing forests for multiple purposes: carbon, biodiversity and socio-economic wellbeing)(LIFE09 ENV/IT/000078) è nato al fine di valorizzare la multifunzionalità delle foreste (www.manfor.eu/new). Gli obiettivi del progetto sono stati quelli di:

- proporre ed implementare opzioni di gestione forestale multifunzionale;
- verificarne l'applicabilità;
- compararne l'efficacia con le tecniche tradizionali locali;
- selezionare le migliori e promuoverne l'applicazione;
- disseminare i risultati a diversi livelli di gestione e pianificazione.

Il progetto è stato realizzato in dieci siti di studio, sette

in Italia e tre in Slovenia, di cui quattro faggete pure (in Italia) e altri quattro con faggio presente insieme ad altre specie (uno in Italia e tre in Slovenia). L'estensione della sperimentazione in ciascuno dei siti italiani è stata pari a 30 ha. Di questi, sei sono stati suddivisi in nove repliche di circa 3 ha. L'estensione dei tre siti sloveni è tra i 70 ed i 90 ha. In tutti i siti dimostrativi, agli interventi tradizionali applicati abitualmente nei contesti locali, sono stati aggiunti un'opzione selvicolturale a carattere innovativo e dei *plot* con intervento posticipato oppure due opzioni innovative.

I trattamenti tradizionali applicati nel progetto sono stati quelli del taglio saltuario, a buche o piccoli gruppi, nei popolamenti disetanei e il trattamento a taglio successivo uniforme per i popolamenti coetanei e puri.

I trattamenti innovativi proposti dal progetto mirano ad aumentare la multifunzionalità della gestione forestale. In quest'ottica di multifunzionalità si è tenuto conto dell'importanza della risorsa legno che, attraverso il suo utilizzo, permette di ridurre le emissioni di CO₂ in atmosfera.

Tra le finalità dell'intervento innovativo vi sono state quelle di aumentare l'abbondanza del legno morto finalizzato all'incremento della biodiversità, di limitare la competizione intorno ad alcune piante (definite candidate), di migliorare la variabilità strutturale ed il regime luminoso e di migliorare la disponibilità degli assortimenti legnosi di valore e la capacità di sequestro del carbonio da parte della componente forestale.

I risultati ottenuti dall'applicazione del trattamento innovativo hanno evidenziato un aumento **della necromassa** (Grafico 3.3-1) e, in diversi casi, anche un **maggiore tasso di crescita delle piante rilasciate**, con un **recupero più rapido della capacità di sequestro del carbonio** da parte dell'ecosistema forestale nei 3-5 anni successivi all'intervento. Inoltre, la modalità di applicazione dei trattamenti innovativi ha portato a ritrarre una quantità più elevata degli assortimenti legnosi di pregio ricavati dalla gestione (Grafico 3.3-2) e ad un aumento della biodiversità, nella componente erbacea negli invertebrati (Box 3.3-1) e anche nella chiropterofauna. Mentre, non sono stati evidenziati effetti negativi sulla presenza di avifauna.

Buone pratiche

Dai risultati del progetto Life ManFor C.BD. è stato possibile delineare delle buone pratiche di gestione forestale adattativa sulla base degli interventi applicati elencati di seguito:

- diradamento selettivo dei popolamenti in grado di

aumentare la stabilità meccanica del soprassuolo rimanente, il valore economico dei prodotti legnosi ritraibili e la diversità strutturale della foresta;

- diradamento dall'alto eseguito nelle condizioni di bosco maturo con struttura stabile;
- "tagli di luce" (diradamento per favorire la penetrazione della luce in bosco) che determinano un maggiore equilibrio del popolamento forestale, indirizzandolo verso strutture pluriplane, favoriscono l'insediamento e lo sviluppo della rinnovazione e semplificano le operazioni in bosco (in particolare quelle dell'esbosco del materiale legnoso).

Le buone pratiche possono essere suddivise in base

alla finalità che può essere differenziata in

- **conservazione della biodiversità;**
- **aumento dello stock di carbonio** (misura di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici)

Le azioni mirate alla **conservazione della biodiversità** sono:

- aumentare la diversità a livello di popolamento e paesaggio attraverso l'applicazione simultanea in aree diverse di trattamenti tradizionali e innovati permettendo così di:
 - a. definire una gestione forestale differenziata per favorire la compresenza di particelle forestali con diversa struttura;

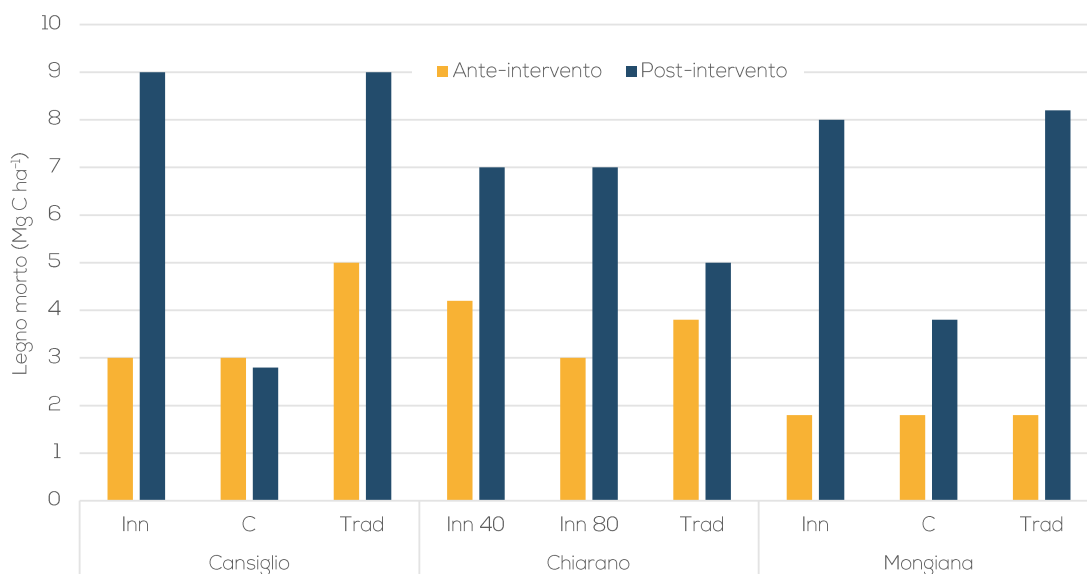


Grafico 3.3-1 - Carbonio immagazzinato nel legno morto in condizioni ante e post-intervento nelle diverse aree d'intervento. Trad: tradizionale; Inn: Innovativo (senza predeterminazione del numero di piante d'avvenire). Inn 40 e Inn 80: Innovativo con rilascio, rispettivamente, di 40 e 80 piante d'avvenire ad ettaro; C: controllo (da D'ANDREA *et al.* 2016, modificato).

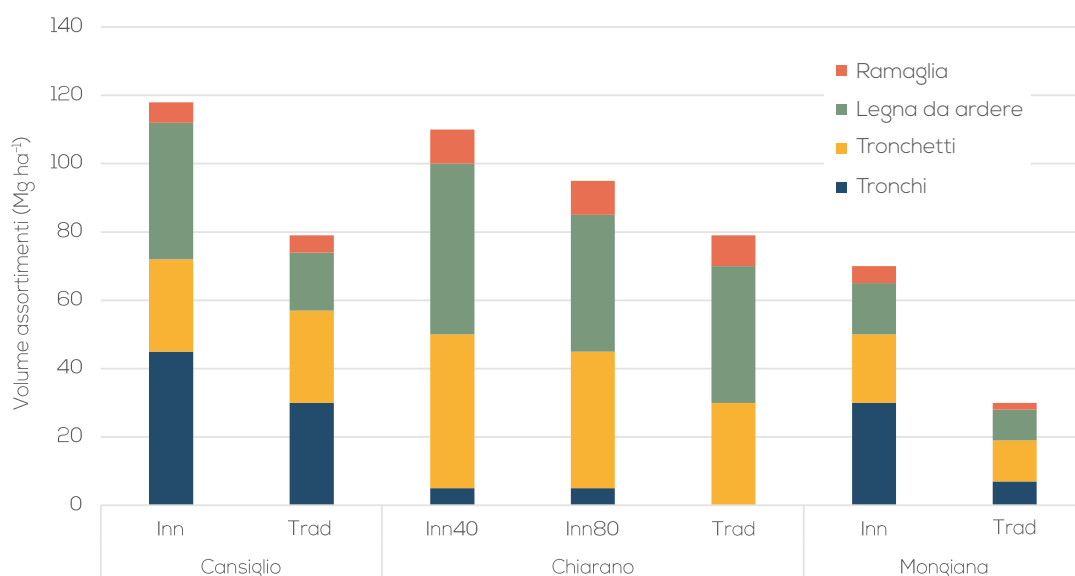


Grafico 3.3-2 - Distribuzione del materiale ritratto dall'intervento nei diversi assortimenti commerciali all'interno delle aree d'intervento. Trad: tradizionale; Inn: Innovativo (senza predeterminazione del numero di piante d'avvenire). Inn 40 e Inn 80: Innovativo con rilascio, rispettivamente, di 40 e 80 piante d'avvenire ad ettaro (da D'ANDREA *et al.* 2016, modificato).

BOX 3.3-1**Sirfidi come bioindicatori (da BERTOLLO e CORAZZA 2012)**

Nello studio della biodiversità, gli indicatori possono essere abiotici oppure biologici: gli indicatori abiotici, collegati alla complessità ambientale che correla con un'alta diversità biologica, possono essere usati su scala spaziale molto ampia, come nel caso delle barriere coralline (MELLIN *et al.* 2012). A scala locale invece sono da preferire gli indicatori biologici, ossia organismi viventi (ROCCHINI *et al.* 2010).

Esistono diverse definizioni di bioindicatore, una di queste li definisce come: "Una specie le cui caratteristiche (presenza o assenza, densità di popolazione, distribuzione, successo riproduttivo) sono utilizzate quali indici di attributi di altre specie o di condizioni ambientali di interesse che sono troppo difficili, inconvenienti o costosi da misurare" (LANDRES *et al.* 1988). In altre parole, un indicatore di biodiversità può essere utilizzato per misurare la biodiversità generale di un ecosistema (MCGEOCH 1998). L'utilizzo dei Sirfidi (*Syrphidae* LATREILLE 1802), una famiglia di insetti appartenente all'ordine dei Ditteri (*Diptera* 1758), ha molteplici motivazioni. In primo luogo, esiste un'abbondante letteratura sull'identificazione dei Sirfidi che permette di identificare con relativa semplicità e sicurezza la maggior parte delle specie europee. Inoltre, l'aspetto più interessante dei Sirfidi, che li rende buoni indicatori, è che sono associati ad una moltitudine di ambienti dato che le loro larve occupano le più svariate nicchie trofiche: alcune sono predatrici, altre si nutrono di materiale vegetale e alcune sono saprofitaghe oppure detritivore e vivono nelle cavità dei tronchi.

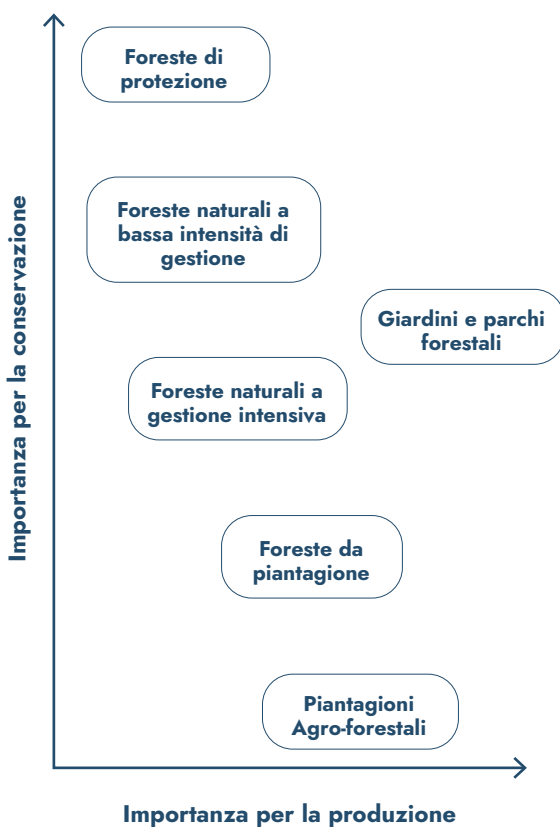


Figura 3.3-1 - L'importanza strategica delle diverse componenti forestali (da NOBLE e DIRZO 1997, modificato).

- b. mescolanza di trattamenti selvicolturali diversi evitando i diradamenti sistematici o tagli su ampie superfici;
- c. replicare i trattamenti in aree diverse ad intervalli di qualche anno al fine di incrementare la diversità a scala di paesaggio;
- aumentare il legno morto e mantenere gli alberi vecchi e senescenti:
 - a. risulta utile il rilascio degli individui tradizionalmente definiti "non di valore" che permette un aumento della biodiversità;
 - b. favorire la mortalità degli alberi dominati o con difetti;
 - c. rilasciare, anche con interventi diretti, 4-5 alberi morti in piedi ad ettaro per creare punti di passaggio di biodiversità.

Le buone pratiche finalizzate all'**aumento dello stock di carbonio** si possono sintetizzare nell'aumento della diversità verticale della foresta che permette una maggior efficienza della fotosintesi grazie ad un migliorato regime luminoso in foresta, nella produzione di legno di buona qualità per prodotti durevoli, nel favorire turni più lunghi e provvigioni più alte per permettere la creazione di sistemi di gestione più flessibili e modificabili nel tempo.

Foreste e mitigazione dei cambiamenti climatici

Gli ecosistemi forestali mediterranei giocano un ruolo chiave nella mitigazione del cambiamento climatico a scala regionale, rimuovendo anidride carbonica dall'atmosfera e immagazzinando il carbonio (FAO e Plan Bleu 2018). Alla luce di tale considerazione, si possono adottare diverse strategie di mitigazione dei cambiamenti climatici quali:

- **migliorare e rendere più sostenibile la gestione forestale** (strategia di gestione);
- **creare nuove piantagioni forestali** (strategia di espansione);
- **mettere in atto azioni capaci di contrastare gli incendi forestali e la deforestazione** (strategia di conservazione);
- **incentivare l'uso di legno e biomasse in sostituzione di materiali a maggior impatto** (come cemento, acciaio, alluminio) e, a cascata, anche a scopi di riscaldamento ed energia (strategia di sostituzione).

Nel contesto odierno appare quanto mai importante diversificare e applicare tutte le strategie di mitigazione al fine dell'ottimizzazione delle diverse funzioni (Figura 3.3-1).

Adattamento delle foreste mediterranee

Relativamente alla capacità di adattamento delle foreste mediterranee al cambiamento climatico, il rapporto FAO e Plan Blue del 2018 elenca le azioni utili per aumentarla:

- gestione della densità per regolare e ridurre l'uso dell'acqua;
- favorire la mescolanza delle specie e una migliore gestione dei diradamenti per favorire la crescita;
- mettere in atto azioni per favorire la rinnovazione;
- implementare una gestione dei cedui in grado di aumentarne la resilienza ai disturbi;
- conservazione *in situ* ed *ex situ* per le risorse genetiche;
- incoraggiare la migrazione assistita di specie a più alta capacità di adattamento;
- effettuare una selvicoltura e una gestione della vegetazione utile a prevenire gli incendi.

Sulla base di tali indicazioni si possono mettere in atto azioni di gestione e, ove necessario, di recupero degli ecosistemi favorendo l'aumento della resilienza e resistenza agli incendi e alla siccità delle foreste mediterranee, preparare gli ecosistemi a condizioni più calde e aride, ridurre la frammentazione degli habitat. Inoltre, si possono applicare delle azioni "proattive" per l'adattamento come la diversificazione strutturale per creare una variabilità a scala di paesaggio, favorire foreste miste, ottimizzare la pianificazione vivaistica puntando su specie più adatte ad un clima in continua mutazione e migliorare la connettività tra gli ecosistemi.

Conclusioni

Le foreste mediterranee, in particolare le faggete che in Italia sono la tipologia forestale maggiormente presente, sono alleate indispensabili per attuare azioni di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici in corso. Tali formazioni sono allo stesso tempo minacciate dalle rapide mutazioni climatiche. Dunque, è necessario mettere in atto delle nuove misure di gestione forestale in grado di aumentarne la resilienza e la multifunzionalità del bosco. Le scelte da effettuare devono essere in grado di mantenere o favorire l'incremento della biodiversità e della capacità di sequestro di carbonio atmosferico. Tali obiettivi sono raggiungibili attraverso l'attuazione di trattamenti selvicolturali innovativi e tramite l'adozione di schemi di

gestione più adatti al contesto dei cambiamenti climatici con l'**obiettivo di ricercare una maggiore flessibilità, una migliore produzione di assortimenti legnosi di pregio, una più alta variabilità strutturale sia a scala locale che di paesaggio.**

BIBLIOGRAFIA

BERTOLLO S., CORAZZA C., 2012 - **La biodiversità e la sua bioindicazione: l'uso dei Ditteri Sirfidi**. Quad. Staz. Ecol. civ. Mus. St. nat. Ferrara, 20: 17-19.

CANADELL J.G., RAUPACH M.R., 2008 - **Managing forests for climate change mitigation**. *Science*, 320(5882): 1456-1457.

D'ANDREA *et al.* 2016 - **Did ManFor C.BD forest treatments influence carbon stock and sequestration?** In: DE CINTI *et al.* (Eds). "From the experience of Life ManFor C.BD to the Manual of Best Practices in Sustainable Forest Management". Italian Journal of Agronomy (2016): 11 (S1). (118-125 pp.).

FAO and Plan Bleu, 2018 - **State of Mediterranean Forests 2018**. www.fao.org/docrep/017/i3226e/i3226e.pdf.

LANDRES P. B., VERNER J., THOMAS J. V., 1988 - **Ecological uses of vertebrate indicator species: a critic**. *Conservation Biology*, 2: 316-327.

MALHI Y., 2002 - **Carbon in the atmosphere and terrestrial biosphere in the 21st century**. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1801): 2925-2945.

MCGEOCH M.A., 1998 - **The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators**. *Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 73: 181-201.

MELLIN C., PARROT L., FOUET S.A., BRADSHAW C.J.A., MACNEIL M.A., CALEY M.J., 2012 - **Multiscale marine biodiversity patterns inferred efficiently from habitat image processing**. *Ecological Applications*, 22(3): 792-803.

NOBLE I.R., DIRZO R., 1997 - **Forests as Human-Dominated Ecosystems**. 277 (July).

NOCENTINI S., COLL L., 2013 - **Mediterranean forests: human use and complex adaptive systems**. In MESSIER C., PUETTMANN K.J., COATES K.D., eds. *Managing forests as complex adaptive systems. Building resilience to the challenge of global change: 214-243*. The Earthscan Forest Library. London, Routledge.

NOCENTINI S., BUTTOLD G., CIANCIO O., CORONA P., 2017 - **Managing forests in a changing world: the need for a systemic approach**. A review. *Forest Systems*, 26(1): eR01. doi:10.5424/fs/2017261-09443.

PASALODOS-TATO M., ALMAZÁN RIBALLO E., MONTERO G., DIAZ-BALTEIRO L., 2017 - **Evaluation of tree biomass carbon stock changes in Andalusian forests: comparison of two methodologies**. *Carbon Management*, 8(2): 125-134. doi:10.1080/17583004.2017.1306407.

RECANATESI M., DE CINTI B., ČATER M., SICURIELLO F., BOMBI P., MATTEUCCI G., VILHAR U., 2016. **"Informing People about Forest Management and Field Operations"**. *Italian Journal of Agronomy* 11 (S1): 162-66.

ROCCHINI D., BALKENHOL N., CARTER G. A., FOODY G. M., GILLESPIE T. M., HE K. S., KARK S., LEVIN N., LUCAS K., LUOTO M., NAGENDRA H., OLDELANF J., RICOTTA C., SOUTHWORTH J., NETELER M., 2010 - **Remotely sensed spectral heterogeneity as a proxy of species diversity: Recent advances and open challenges**. *Ecological Informatics*, 5: 318-329.

AUTORI

Giorgio Matteucci, CNR-IBE - Istituto per la BioEconomia (FI). E-mail: giorgio.matteucci@ibe.cnr.it

Eduardo Antenucci, DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise. E-mail: e.antenucci2@studenti.unimol.it

Vittorio Garfi, DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise. E-mail: vittorio.garfi@unimol.it

3.3 | Abstract

Adaptive management of beech forests

The experience of Life ManFor C.BD

The effects of ongoing climate changes urge us to adopt adaptation and mitigation measures that can secure life on Earth. Forest ecosystems play an important role in the carbon cycle and Mediterranean forests are increasing in area and stocks over the decades. Nevertheless, rapid and intense climate change will have a significant impact on Mediterranean forests. One possible approach to increase the adaptability of forest in the long term is to maintain and/or increase the complexity of the forest through specific management approaches. At the same time, management actions aimed at promoting forest diversification and reducing competition for resources under water-scarce conditions appear to be useful strategies for decreasing vulnerability and increasing the resilience of forest ecosystems to climate change.

The Life project ManFor C.BD. (Managing Forests for multiple purposes: Carbon, BioDiversity, and socio-economic wellbeing)(LIFE09 ENV/IT/000078) was set up to enhance the multifunctionality of forests. The objectives of the project were to propose and implement multifunctional forest management options, test their applicability, compare their effectiveness with traditional local techniques, select the more suitable and promote their application, and disseminate the results at different levels of management and planning. The ManFor C.BD. project considered ten study sites, predominantly beech, seven of them in Italy and three in Slovenia. In all the demonstration sites, two silvicultural options were added to the traditional interventions usually applied in local contexts. In several cases, the results obtained from the application of the innovative treatment(s) showed an increase in the necromass and in structural complexity of the forests and, in the medium term, an increased carbon sequestration capacity of the forest ecosystem. In addition, they showed a higher quantity of valuable woody assortments obtained from management, faster forest growth in the first years following the intervention (3-5 years post-intervention), an increase in biodiversity manifested by a greater abundance of hoverflies and less disturbance to birds during the logging. From the results of the Life ManFor C.BD. project, it has been possible to outline good adaptive forest management practices that can be differentiated according to their purpose into biodiversity conservation,

carbon stock enhancement and increasing stand structural complexity. The actions aimed at preserving biodiversity are:

- **increasing diversity at stand and landscape level** through the simultaneous application in different areas of traditional and innovative treatments;
- **increasing dead wood and maintaining old and senescent trees;**
- **diversifying the vertical structure** of the forest to allow for greater photosynthetic efficiency, production of good quality wood for durable products, favouring not-fixed and longer rotations to allow for more flexible management systems over time.

At the same time, Mediterranean forests need to be more adapted to climate change. Accordingly, useful actions to increase the adaptive capacity of Mediterranean forests, are:

- density management to regulate and reduce water use;
- encourage species mixing and better management of thinning to promote growth;
- implement actions to encourage regeneration;
- implement coppice management to increase resilience to disturbances;
- *in-situ* and *ex-situ* conservation for genetic resources;
- encourage assisted migration of species with higher adaptive capacity;
- implement preventive silviculture and vegetation management to prevent fires.

Mediterranean forests, particularly beech forests, are indispensable allies in implementing mitigation and adaptation actions to ongoing climate change. These formations are at the same time threatened by rapid climate change; therefore, it is necessary to implement new forest management measures able to increase the resilience and multifunctionality of the forest. The choices to be implemented must be capable of favouring an increase in biodiversity and atmospheric carbon sequestration capacity. **These objectives can be achieved through the implementation of innovative silvicultural treatments and the adoption of new management schemes** better suited to the context of climate change, to seek greater flexibility, better production of valuable woody assortments, and higher structural variability at both the local and landscape scales.





CAPITOLO 4

LINEE D'AZIONE E DI MONITORAGGIO APPLICABILI NEL BREVE E NEL MEDIO-LUNGO PERIODO

- 4.1** Cambiamenti climatici e monitoraggio degli impatti sui sistemi forestali
- 4.2** Il trattamento irregolare nel faggio
- 4.3** Cedui e cambiamenti climatici
- 4.4** Faggio e incendi: dinamiche ecologiche e soluzioni gestionali per una ricostituzione più prossima alla natura
- 4.5** Il modello previsionale per la pascione del faggio implementato da AForClimate
- 4.6** Cambiamenti climatici e fenologia



4.1

Cambiamenti climatici e monitoraggio degli impatti sui sistemi forestali

Francesco Ripullone - Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali - Università degli Studi della Basilicata

Maria Castellaneta - Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali - Università degli Studi della Basilicata

Introduzione

Gli ecosistemi forestali coprono circa il 31% della superficie terrestre (FAO 2020), contribuendo così in modo significativo al ciclo globale del carbonio come *sink*. Le foreste ospitano al loro interno gran parte della biodiversità degli ecosistemi terrestri, svolgono un ruolo essenziale nella mitigazione del clima e offrono una vasta gamma di servizi ecosistemici ed economici. I cambiamenti climatici possono influire negativamente su alcune di queste funzionalità: l'aumento delle temperature e la riduzione delle precipitazioni comportano ondate di calore e siccità sempre più intense e frequenti, con conseguenti impatti sulla complessità, sulla struttura e sul funzionamento degli ecosistemi forestali (si rischia di passare da *sink* a *source* di CO₂). I fattori di stress climatico possono influire sulle dinamiche delle specie forestali e delle comunità da loro dipendenti sia nel breve termine, ad esempio influenzando la crescita e il ciclo riproduttivo degli alberi, che nel lungo termine, inducendone spostamenti nella distribuzione sia latitudinale che altitudinale.

Uno studio internazionale al quale hanno preso parte alcuni ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata ha evidenziato come i fenomeni di mortalità forestale indotti da periodi siccitosi stiano portando ad una conversione parziale o totale del tipo di vegetazione presente nei diversi biomi: nel dettaglio, le foreste dominate da specie tipiche di ambienti più umidi stanno evolvendo verso comunità con specie rinvenibili in ambienti più aridi (BATLORI *et al.* 2020). Come risposta all'accentuazione di tali fenomeni estremi, la resilienza di molti ecosistemi sarà probabilmente superata, sebbene alcune foreste siano più adattate a tollerare periodi di siccità stagionale e/o regimi di precipitazioni irregolari. Secondo le previsioni, la regione mediterranea sperimenterà condizioni sempre più aride che contribuiranno ad aumentare la vulnerabilità di tali foreste.

Effetti sui popolamenti forestali

In che cosa si traduce questo aumento di vulnerabilità? Consiste in un aumento della suscettibilità e nella riduzione della capacità di adattamento dei popolamenti forestali ad eventi di stress climatico. Le specie forestali possono mostrare strategie diverse in risposta alle varie limitazioni climatiche. Alcune piante possono modificare il proprio ciclo di sviluppo eludendo il periodo di siccità (*stress escape*, ad esempio alcu-

ne specie della macchia mediterranea), altre invece mostrano adattamenti morfologici e/o funzionali che consentono di ridurre il possibile stress indotto dalla siccità (*stress avoidance*, ad esempio alcune conifere che presentano foglie sottili e aghiformi), infine ci sono piante che, grazie a particolari adattamenti fisiologici, riescono a tollerare periodi mediamente siccitosi (*stress tolerance*). L'apparato radicale svolge un ruolo chiave in questi meccanismi di resistenza e adattamento allo stress: da un recente studio condotto da alcuni ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata su querceti in declino presenti nel territorio dell'Appennino Lucano è emerso come le piante non deperienti, grazie al loro apparato radicale più profondo, riescano ad estrarre più acqua dalla falda sotterranea rispetto alle piante deperienti con apparato radicale più superficiale, mostrando maggiore probabilità di sopravvivenza nei periodi estremi di siccità estiva. Diversi studi scientifici mostrano come gli eventi climatici estremi possano influenzare la salute delle comunità forestali, comportando in alcuni casi fenomeni di deperimento e mortalità, a causa della **compromissione della funzionalità idraulica e/o della riduzione dell'assorbimento di carbonio**. La disfunzione idraulica è legata alla perdita di conducibilità, indotta da fenomeni di embolia: nel dettaglio, si verifica quando la perdita di acqua per traspirazione risulta superiore all'assorbimento da parte delle radici, portando la pressione all'interno dello xilema a diventare sempre più negativa. Oltre un dato valore soglia, la riduzione della pressione provoca la formazione di bolle di gas nei condotti xilematici (cavitazione), che tendono a diffondersi nel sistema vascolare (embolia), ostacolando così il trasporto dell'acqua. Mentre, la riduzione dell'assorbimento del carbonio (cosiddetta "fame di carbonio") si verifica come conseguenza della prolungata chiusura degli stomi, con conseguente bilancio negativo del carbonio.

Monitoraggio degli impatti

Esplorare, dunque, la diversa sensibilità di crescita degli alberi in presenza di eventi climatici estremi è la chiave per interpretare meglio le dinamiche forestali in atto. Ad oggi, il fenomeno del deperimento forestale è ormai diffuso in tutto il mondo, e interessa diversi biomi e specie. Anche la sintomatologia è molto variabile: defogliazione e disseccamento della chioma, riduzione delle dimensioni e ritardata emissione delle foglie, fessurazione e necrosi della corteccia e in molti casi la morte della pianta. Diversi popolamenti forestali in de-

perimento sono stati segnalati anche in Europa: i ricercatori CAUDULLO e BARREDO (2019) hanno individuato 293 casi di mortalità forestale per il solo periodo 1970-2019. Centinaia sono i casi di foreste con evidenti segni di deperimento rinvenuti anche nel bacino del Mediterraneo. Ne sono un esempio alcuni studi condotti nella Penisola Iberica, che coinvolgono sia latifoglie che conifere (abeto bianco, pino silvestre, pino marittimo, farnia, roverella, faggio, quercia dell'Algeria, pino nero). Il fenomeno non è così lontano anche da noi: sono molteplici i casi identificati anche in Italia. Le prime segnalazioni di declino risalgono addirittura alla fine del secolo scorso. Recenti indagini condotte nell'arco alpino hanno evidenziato, ad esempio, diversi casi di deperimento e mortalità nei popolamenti di pino silvestre e abete bianco.

Sono stati rilevati effetti marcati del fenomeno anche in alcuni querceti ricadenti nel territorio dell'Appennino Meridionale, per i quali sono in atto attività di ricerca da diversi anni. Nel dettaglio, ne è un esempio il **Bosco Capillo di San Paolo Albanese**, ai confini del Parco Nazionale del Pollino, oggetto di studio nell'ambito del progetto **PON OT4CLIMA**. Si tratta di un bosco di farnetto, specie quercina endemica, interessato a partire dagli anni 2000 da estesi fenomeni di declino. L'obiettivo primario del progetto è stato quello di comprendere i fattori di stress che minano la sopravvivenza del bosco stesso, attraverso un approccio congiunto da remoto e a terra altamente innovativo. Un altro caso emblematico è rappresentato dalla **Riserva Regionale Orientata "Bosco Pantano" di Policoro** che custodisce al suo interno la testimonianza di quella che fu una delle formazioni planiziali forestali più interessanti dell'Italia Meridionale e probabilmente uno dei pochissimi lembi rimasti nel sud-Europa. L'obiettivo della ricerca scientifica e, nello specifico, del progetto **"L'ultima foresta incantata"**, è proprio quello di salvare il bosco igrofilo e la sua specie simbolo che è la farnia. Dalle indagini svolte è emerso come i pochi esemplari rivenuti di farnia risultino caratterizzati da un notevole stato di sofferenza. Le analisi genetiche condotte hanno, inoltre, messo in luce, come da un lato la popolazione di farnia del Bosco Pantano risulti sempre molto differenziata dalle restanti popolazioni italiane, dall'altro come tale popolazione mostri la minore diversità genetica tra le popolazioni italiane. La popolazione di Bosco Pantano

BOX 4.1-1

Come si può monitorare lo stato di salute delle nostre foreste?

Esistono due approcci. L'approccio tradizionale si basa sulla **dendroecologia**. La pianta si comporta come una sorta di "scatola nera" che registra le condizioni esterne ed è in grado di fornirci importanti informazioni. La **dendrocronologia**, ovvero lo studio dello spessore degli anelli legnosi, è in grado di fornire indicazioni utili sui periodi in cui le condizioni climatiche hanno influenzato negativamente la crescita degli alberi. Lo studio dell'anatomia del legno e delle sue variazioni permette di capire come la pianta ha reagito agli stimoli ambientali avvenuti in passato. Questo tipo di approccio ci consente un'analisi retrospettiva, ma con una limitazione data dalla ridotta scala spaziale. L'approccio innovativo, invece, basato sul **telerilevamento satellitare**, ci permette la valutazione dello stato della vegetazione quasi in *real-time* e su più ampia scala. Tale approccio richiede, però, una validazione dei risultati con dati a terra. La sfida, negli ultimi anni, è quella di utilizzare entrambi gli approcci in maniera combinata, in quanto forniscono informazioni complementari, riuscendo a sfruttare i punti di forza di entrambi. Le ricerche scientifiche sul monitoraggio della salute degli ecosistemi forestali sono cruciali per supportare potenziali misure di adattamento della gestione forestale sostenibile.



potrebbe essere l'ultima popolazione esistente di un gruppo genetico meridionale, con **probabili adattamenti al clima** non presenti in altre popolazioni. Tuttavia, si rischia di perdere tale patrimonio genetico, a causa della marcata erosione genetica.

Soluzioni applicabili

Come si sta intervenendo per limitare la perdita di variabilità genetica? In ambiente mediterraneo, ad esempio nel caso di foreste planiziali, si interviene attraverso la produzione di materiale di propagazione autoctono, da impiegare nelle successive fasi di rinaturalizzazione. Questo è quanto è stato fatto e si continua a fare nel Bosco Pantano di Policoro: produzione di piantine da ghiande raccolte dalle piante madri che presentano la maggiore variabilità genetica, da destinare alla successiva messa a dimora. In linea generale, la selezione di genotipi non è cosa semplice, ma potrebbe essere una strada da percorrere per poter ottenere individui arborei che meglio si adattano alle situazioni climatiche estreme (tolleranza), che meglio rispondono agli stimoli ambientali favorevoli, che dunque maggiormente si adattano alle caratteristiche sito-specifiche. La caratterizzazione genetica rappresenta uno strumento per la determinazione degli esemplari che dimostrano maggiore resilienza al deperimento. Ne è un esempio, il **Progetto ResQ - Querce resilienti "Deperimento della quercia nei boschi planiziali: studio multidisciplinare per la selezione di risorse genetiche resistenti"**. Nel Parco del Ticino, il fenomeno del deperimento della farnia è iniziato già alla fine degli anni '90', interessando migliaia di ettari di bosco. Il progetto, che vede coinvolti l'Università di Pavia, Università degli Studi della Basilicata e l'Istituto di Bioscienze e Biorisorse del CNR di Firenze, mira a comprendere la relazione tra le risposte a stress climatici e biotici e le caratteristiche genetiche individuali nella farnia. Si tratta di un progetto innovativo e multidisciplinare, in cui lo studio del deperimento forestale viene affrontato combinando diversi approcci: ecologico, eco-fisiologico e dendroecologico associati alle analisi dendrogenomiche in una valutazione a 360° della resistenza al deperimento a scale di singolo albero. Negli ultimi anni, la ricerca scientifica, sia a livello nazionale che internazionale, sta dedicando ampia attenzione alla risposta degli ecosistemi forestali agli stress climatici, cercando di mappare e monitorare il fenomeno del deperimento. Emerge, dunque, la necessità di creare un *network* che promuova collaborazioni internazionali ed interdisciplinari allo scopo di definire e monitorare la vulnerabilità delle foreste ad eventi climatici estremi e la loro capacità di recuperare dopo tali disturbi. Un esempio pratico è rappresentato dalle applicazioni *Tree Alert* (Forestry Research Institute - Gran Bretagna) e *Alerta Forestal* (Research Center on Ecological and Forestry Applications - Catalogna), realizzate con l'obiettivo di valutare l'attuale stato di salute delle foreste e predirne le dinamiche future nelle aree geografiche di riferimento. A livello italiano, non si ha ancora piena consapevolezza dell'entità e della distribuzione completa del fenomeno del deperimento forestale. L'idea di alcuni ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata è stata quella di creare **SilvaCuore**, una *web-application* che potesse consentire l'identificazione di tutti i siti forestali in deperimento a livello nazionale (Box 4.1-2).

La gestione forestale del futuro

Quali saranno gli scenari futuri? Cosa succederà alla foreste? Molto dipende dalla capacità delle specie di rispondere in termini di resistenza e di resilienza. In tale contesto, la **gestione forestale adattativa**, fondata su basi ecosistemiche, potrebbe aumentare la possibilità delle foreste di fronteggiare lo stress climatico. Si tratta di un tipo di gestione, che si cala nella realtà sito-specifica, agendo in maniera puntuale con interventi mirati, al fine di conservare e valorizzare le funzioni primarie dell'ecosistema forestale. Per cui, la definizione e lo sviluppo di adeguate strategie di gestione forestale è fondamentale per poter migliorare la resilienza dei popolamenti in declino, soprattutto se le condizioni climatiche diventano sempre più estreme. Tali strategie possono migliorare la capacità dei popolamenti di resistere agli eventi di disturbo, riuscendo a recuperare rapidamente (capacità di *recovery*). Ad oggi, i casi concreti di applicazione della selvicoltura adattativa in aree boscate in declino o con problemi di elevata mortalità delle piante sono molto rari; questo rappresenta un grande limite che non consente di avere a disposizione dati e risultati chiari di applicazione dei modelli gestionali adattativi.

Ad oggi, si parla perciò di **ipotesi gestionali**, che mirano a migliorare la resilienza di questi popolamenti. In alcune situazioni caratterizzate da condizioni di declino moderato, il **pascolo controllato** può costituire un efficace strumento di gestione per mantenere bassi i tassi di evapotraspirazione a livello del suolo, riducendo la presenza di arbusti ed erbe. Tale operazione consente, di conseguenza, di moderare la concorrenza della vegetazione del sottobosco in termini di disponibilità di acqua e sostanze nutritive. Inoltre, nei popolamenti forestali in aree a rischio di siccità, il pascolo aiuta a ridurre la quantità di combustibile a terra, diminuendo così il rischio di incendi. Altra ipotesi gestionale è rappresentata dai **diradamenti selettivi**, volti a ridurre la biomassa, secondo le esigenze specifiche del soprassuolo. L'obiettivo è quello di ridurre la competizione intraspecifica e migliorare le condizioni generali, favorendo il recupero degli alberi ancora vivi: la riduzione della densità arborea comporta una maggiore disponibilità idrica e favorisce la produzione di legno tardivo nelle piante in condizioni di declino. Alcuni studi suggeriscono anche la **conversione da ce duo ad alto fusto**, al fine di avere una minore densità arborea, favorire una maggiore profondità radicale, ed avere, di conseguenza, una maggiore disponibilità d'acqua per le piante.

Nelle situazioni in cui le condizioni di deperimento risultano marcate, si potrebbe prevedere un **anticipo dei tagli di rinnovazione**, in concomitanza con annate di pasciona. Infatti, uno dei maggiori problemi rilevati è la ridotta capacità dei siti in deperimento e delle piante in cattivo stato di salute di produrre seme e di rinnovarsi: occorre evitare che le piante perdano la loro capacità di produrre semi vitali. Laddove, vi sono situazioni particolarmente degradate, si potrebbe pensare di procedere anche attraverso la diffusione di semi raccolti in aree limitrofe, oppure ipotizzare la messa a dimora di piantine provenienti da vivai che utilizzano seme raccolto dalle aree circostanti: tali operazioni risultano però difficilmente attuabili in relazione ai co-

BOX 4.1-2**SilvaCuore**

Quali sono stati gli obiettivi? Localizzare i popolamenti forestali in deperimento; localizzarli vuol dire poterli monitorare nel tempo e, eventualmente, predisporre interventi di gestione. L'idea è stata quella di creare uno strumento che potesse coinvolgere una comunità attiva di utenti, rappresentata non solo da professionisti del settore ma anche da appassionati che vorranno contribuire attivamente al monitoraggio della salute dei nostri boschi. L'App SilvaCuore rappresenta un esempio applicativo di *Citizen Science*, che punta al coinvolgimento diretto dei cittadini, permettendo loro di divenire i veri protagonisti della ricerca scientifica. Non è casuale la scelta di un cuore come logo, perché l'intento è quello di risvegliare, soprattutto nelle nuove generazioni, l'amore per il patrimonio forestale. Inoltre, uno dei compiti della comunità accademica è quello di divulgare le attività scientifiche svolte, cercando di far in modo che la ricerca diventi anche fattore di inclusione e partecipazione. Il connubio tra ricerca scientifica, cittadini e tecnologie può sicuramente svolgere un ruolo chiave nel monitoraggio dei nostri boschi.

Come funziona l'App? Basterà accedere al link silvacuore.web.app/menu/home, e una volta effettuato l'accesso, l'utente sarà guidato passo dopo passo nella segnalazione. L'App SilvaCuore è utilizzabile da smartphone, tablet e pc ed il suo uso è limitato a pochi semplici passaggi. Include due funzionalità per l'inserimento delle informazioni necessarie alla segnalazione:

- **step base:** pensato per l'utente non-esperto, richiede poche semplici informazioni;
- **step avanzato:** concepito per l'utente esperto del settore, richiede un maggior grado di dettaglio delle informazioni fornite.

Le segnalazioni raccolte e validate dal team saranno visibili nella schermata principale di SilvaCuore. Cliccando su ciascuna segnalazione, sarà possibile visionare alcune semplici informazioni di base, come la località in cui si trova il popolamento forestale in deperimento, la tipologia di problema e la natura dei sintomi, oltre ad una foto esemplificativa. I dati raccolti consentiranno di avere un'idea dello stato di salute delle foreste italiane e di creare una banca dati a livello nazionale, che consentirà di monitorare il fenomeno e la sua evoluzione nel tempo. Inoltre, il sito web di SilvaCuore, accessibile all'indirizzo www.silvacuore.org, consente di avere maggiori informazioni sul progetto, sulle motivazioni che hanno spinto alla creazione dell'App e sulle attività di ricerca condotte dal team SilvaCuore.

sti da sostenere. In generale, emerge la necessità di predisporre progetti pilota, che prevedano una serie di parcelle sperimentali di **monitoraggio permanente** sulle aree forestali in declino, predisposte in modo che siano rappresentative dei possibili scenari futuri. Le parcelle permetterebbero di simulare gli interventi che vanno dalla libera evoluzione del soprassuolo ad azioni che limitino in maniera graduale la competizione tra individui arborei e con la componente arbustiva, allo scopo di ottenere ulteriori indicazioni sugli indirizzi di gestione più appropriati.

Tuttavia, l'attuale legislazione e gestione forestale poco si adatta alle attuali condizioni dei popolamenti forestali sottoposti a disturbi sempre più frequenti causati dalla crisi climatica: molti sono gli interrogativi su come riuscire a modulare gli interventi previsti nell'ottica adattativa con le attuali prescrizioni. A tal proposito, anche quanto previsto dal **Testo unico in materia di foreste e filiere forestali** (TUFF, D. Lgs. n. 34 del 2018) risulta poco in linea con le attuali problematiche di deperimento forestale. Nell'ottica della crisi climatica, emerge la necessità di una maggiore "plasticità" legislativa che consenta di adattare, di plasmare gli interventi in relazione alle condizioni del popolamento forestale in esame, svincolandosi da definizioni e vincoli troppo restrittivi.

BIBLIOGRAFIA

BATLLORI E., LLORET F., AAKALA T., ANDEREGG W.R., AYNEKULU E., BENDIXSEN D.P., *et al.*, 2020 - **Forest and woodland replacement patterns following drought-related mortality**. Proceedings of the National Academy of Sciences, 117(47): 29720-29729. doi.org/10.1073/pnas.2002314117

CAJULLO G., BARREDO J. I., 2019 - **A georeferenced dataset of drought and heat-induced tree mortality in Europe**. OE 4, e37753. doi.org/10.3897/oneeco.4.e37753

FAO, 2020 - **The State of the World's Forests 2020**. In: Forests, biodiversity and people. Rome: FAO.

AUTORI

Francesco Ripullone, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi della Basilicata.
E-mail: francesco.ripullone@unibas.it

Maria Castellaneta, Scuola di Scienze Agrarie, Forestali, Alimentari e Ambientali, Università degli Studi della Basilicata.
E-mail: maria.castellaneta@unibas.it

4.1 | Abstract

Climate change and monitoring impacts on forest systems

Rising aridity, mostly driven by higher temperatures and reduced precipitation, will likely undermine the health status of forest ecosystems. Modelling and experimental observations highlight that if climate changes proceed at its current rate, the resilience of many forests will be seriously threatened by altering their structure and functions and reducing their capability to provide ecosystem services. Such increasing drought conditions, coupled to other biotic and abiotic drivers, are synergistically leading to responses in tree morphology, physiology, growth, reproduction in different areas of the Mediterranean Basin. Climate-induced forest mortality is an emerging global phenomenon, at both regional and local scales. Recently, several local surveys reported an increased rate of tree mortality in response to drought throughout Europe; on that note, Caudullo and Barredo reported 293 severe forest mortality events in Europe for the period 1970-2019. Evidence is reporting that the health of forest communities is treated by climate extremes, which are leading to tree decline and mortality due to impairment of plant hydraulics, and reductions in carbon uptake.

An international research has highlighted that drought-induced forest mortality phenomena are leading to partial or total conversion of the vegetation pattern across different biomes; that is, forests dominated by mesic species generally shifted toward more xeric communities. Die-off phenomena as a consequence of severe water shortages have been reported mostly in drought-prone ecosystems such as Mediterranean forests. Overall, dieback symptoms typically consist of a marked reduction in tree vigor (e.g., shoot death and leaf drop, epicormic shoot production), growth decline, and high mortality rates. Recent study on declining oak forests in the Apennine region pointed out that the vulnerability to drought among conspecific Mediterranean oaks depends on the differential access to deep soil water pools, which may be linked to differences in rooting depth, tree size and growth rate.

Assessing the state of health and vitality of forest ecosystems, through monitoring of dieback and mortality phenomena, is fundamental to develop and implement measures for climate

impacts mitigation, as well as recovery and adaptation strategies. The vegetative status conditions of forests can be evaluated either by ground-based surveys or through remote sensing, using images captured by drones and satellites. Many research institutions worldwide are undertaking concrete initiatives and scientific projects which are focused both on mapping and monitoring the forest decline phenomenon but also to relating it to other environmental drivers.

The need to monitor these phenomena for understanding the future dynamics of forests has led also to the *SilvaCuore*'s development, the first App designed in Italy to survey declining forest sites. The support of an active users' community can not only allow researchers to survey declining forest sites, but also to better plan research activities and management measures. **SilvaCuore** is an App designed with the aim to enhance the link between the citizens and the scientific community, contributing to the development of a valuable scientific database, available on a website and linked to the App.

The monitoring of forest ecosystems' health is crucial for supporting potential adaptation measures of sustainable forest management. Indeed, the selection and implementation of appropriate adaptive forest management strategies for **improving the resilience** of declining stands is crucial. First, controlled grazing can be an effective management tool, in order to reduce ground evapotranspiration losses and to moderate the competition of the understory vegetation for available water and nutrients. Likewise, selective thinning also focus on reducing intraspecific competition and improving the overall condition by promoting the recovery of living trees. Yet another hypothesis assumes an advance in regeneration cuts, concurrent with grazing years. One of the major issues, therefore, is the reduced capacity of declining trees to produce vital seed. Yet, the actual forestry legislation and management are poorly adapted to the current conditions of forest stands, affected by climate change. More legislative "*plasticity*" is required to adapt, management measures, in relation to the site-specific conditions.



4.2

Il trattamento irregolare nel faggio

Renzo Motta - DISAFA, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino

Roberta Berretti - DISAFA, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino

Introduzione

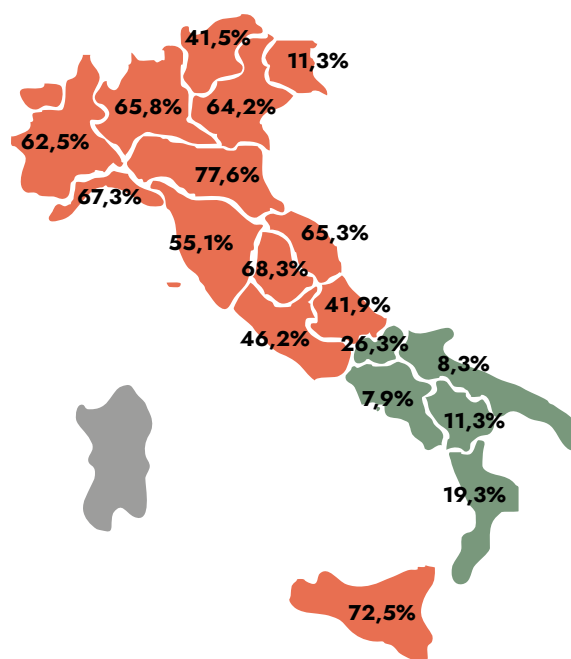
Le foreste di faggio in Italia sono una componente importante e caratteristica di molte aree montane nazionali (NOCENTINI 2009). Secondo i dati del secondo Inventario Nazionale delle Foreste e dei serbatoi forestali di Carbonio (INFC 2015) circa 1.053.183 ettari, corrispondenti al 9,5% della superficie forestale nazionale, sono coperti dal faggio. Nel corso dei secoli il legno prodotto dai boschi di faggio, come legna da ardere o legname da lavoro, ha costituito una risorsa fondamentale per le comunità di montagna (NOCENTINI 2009). In Europa la ceduzione è stata più comunemente adottata nei paesi meridionali e orientali come la Spagna, l'Italia, la Bulgaria e la Serbia; tutti paesi assimilati dal recente abbandono delle aree rurali e dalla conseguente diminuzione delle attività connesse (AMORINI *et al.* 2010). Tali boschi sono caratterizzati da una **forte impronta antropica che ne ha determinato struttura e composizione** attraverso il condizionamento da parte del contesto sociale, economico e gestionale. A determinare un cambiamento delle dinamiche evolutive delle faggete si aggiungono anche gli **effetti dell'attuale condizione climatica che influiscono sulla resistenza e la resilienza dei popolamenti forestali**.

In Italia le faggete, secondo quanto riportato da NOCENTINI (2009), possono essere suddivise in due grandi gruppi differenziati in base alla prevalenza della forma di governo attuata (Figura 4.2-1):

- faggete centro-settentrionali, in cui prevale la forma di governo a ceduo rispetto alla fustaia;
- faggete centro-meridionali, nelle quali la maggioranza di esse sono boschi di alto fusto.

Tuttavia, secondo le stime dell'INFC del 2005, circa il 46% dei boschi di faggio è governato a ceduo, mentre la restante parte non può essere ricondotta esclusivamente al governo a fustaia in quanto in essa sono inclusi anche quei boschi definibili a "governo irregolare" ossia derivanti da un governo a ceduo ma per i quali si è persa la fisionomia tipica di tali formazioni (ad esempio cedui di faggio avviati ad alto fusto o cedui di faggio invecchiati non più gestiti). Considerando le foreste di faggio piemontesi, come esempio dell'evoluzione gestionale delle faggete nazionali, si osserva come già nel 2002 i cedui di faggio con età inferiore a 25 anni costituivano solo il 12,4% della superficie totale; di questa il 48,3% includeva popolamenti tra i 25 e 35 anni mentre circa il 39,3% era costituita da popolamenti di età superiore ai 35 anni (Ipla 2002). Sicuramente l'abbandono dei cedui di faggio è una dinamica in espansione (NOCENTINI 2009) indotta principalmente dal cambiamento del contesto socioeconomico avvenuto a partire dagli ultimi sessant'anni.

Ceduo > alto fusto



Alto fusto > ceduo

Figura 4.2-1 - Percentuale delle faggete ceduate in ogni regione italiana. Al centro nord i cedui prevalgono sui boschi d'alto fusto ed irregolari (con l'eccezione del Friuli Venezia-Giulia e del Trentino Alto Adige) mentre al sud prevalgono i boschi d'alto fusto ed irregolari (con l'eccezione della Sicilia).

Conversione tradizionale

In seguito alla riduzione della richiesta della legna da ardere ed all'abbandono delle aree marginali, molti boschi di faggio sono stati lasciati alla dinamica naturale o gestiti con sistemi selvicolturali irregolari o in avviamento a fustaia. **L'avviamento è avvenuto principalmente attraverso la matricinatura intensiva**, che prevede un primo taglio con forte prelievo e riduzione della densità dei polloni ad una densità simile a quello di una perticaia. Questo primo taglio è di solito a macchiatico positivo. Dopo questo intervento sono previsti dei diradamenti (da due a quattro) che permettono di giungere alla fustaia transitoria, cioè ad un popolamento con densità e struttura simile ad una fustaia

coetaneiforme ma in cui la maggior parte degli individui è nata da pollone. Nella fustaia transitoria dovrebbe successivamente essere effettuato un taglio di semmentazione per dare l'avvio ad un trattamento a tagli successivi della fustaia (GIANNINI e PIUSSI 1976). I diradamenti che seguono la matricinatura intensiva sono però prevalentemente a macchiatico negativo, con costi non sostenibili da parte degli attori della gestione forestale, e quindi, in assenza di contributi pubblici, spesso non vengono effettuati (FABBIO *et al.* 1997). Una risposta a tale problematica potrebbe essere l'allungamento del turno di ceduzione del faggio, ma uno studio condotto nei cedui invecchiati di faggio del Piemonte (VACCHIANO *et al.* 2017), ha riscontrato che solo il 55% delle ceppaie con età compresa tra i quaranta e cinquant'anni mantiene la capacità di ricaccio, mentre più del 50% delle ceppaie con un'età superiore ai cinquant'anni perde la capacità di produrre polloni. In conseguenza di questi risultati la Regione Piemonte ha definito in 40 anni l'età massima per la ceduzione.

Trattamento irregolare

Una differente strategia per i popolamenti di faggio derivanti da cedui invecchiati o quelli in avviamento verso l'alto fusto è il trattamento irregolare (WOLYNSKI 2002 a, b).

Il trattamento irregolare prevede interventi non uniformi nel popolamento forestale ma obiettivi differenziati per gli individui di qualità (selvicoltura d'albero) e per gli altri individui. In questo modo si supera la dicotomia ceduo-fustaia al fine di perseguire i seguenti obiettivi:

- **valorizzare gli assortimenti legnosi retraibili;**
- **migliorare la biodiversità specifica** arborea di tali popolamenti attraverso il rilascio e la valorizzazione delle specie sporadiche;
- **evitare interventi a macchiatico negativo** e dunque garantire un'adeguata sostenibilità economica;
- **garantire una maggiore erogazione dei servizi ecosistemici.**

L'attuazione del trattamento irregolare prevede il riconoscimento degli individui privi di problemi fitosanitari, vigorosi, con chioma ben bilanciata, con un buon portamento e buone potenzialità produttive (PELLERI 2013). Una pianta con tali caratteristiche gode inoltre di maggiore stabilità individuale, di una minore predisposizione alla formazione del falso durame, nonché di maggiore capacità di disseminazione. Idealmente, tali

condizioni, dovrebbero essere distribuite uniformemente all'interno del popolamento ma ciò non accade spesso, in quanto la qualità all'interno di uno stesso popolamento si concentra nelle microstazioni più fertili. La gestione per trattamenti irregolari prevede una prima fase di individuazione delle stazioni a maggiore fertilità e degli individui con ottime potenzialità future, seguita dal taglio e dalla raccolta nelle zone a bassa fertilità e dall'eliminazione degli individui competitori dei candidati prescelti. In altri termini, l'applicazione del trattamento irregolare parte dal riconoscimento delle caratteristiche e delle funzioni svolte dalle singole piante (Box 4.2-1) o dai singoli collettivi e successivamente si procede con le forme di prelievo riconducibili al taglio saltuario per pedali, al taglio successivo a gruppi, a forme intermedie come il taglio saltuario a gruppi o, più spesso, a forme miste dei diversi tipi di prelievo (WOLYNSKI *et al.* 2006, BERRETTI *et al.* 2014).

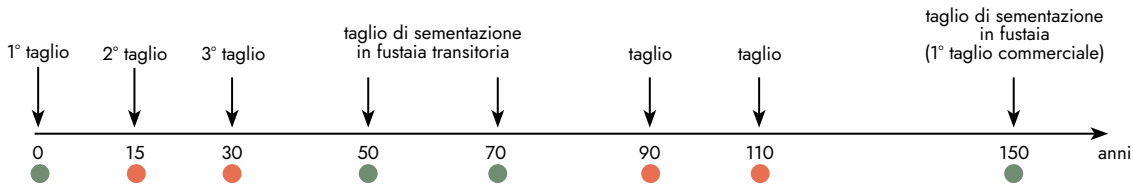
BOX 4.2-1

Criteri di valutazione qualitativa delle piante

La caratterizzazione qualitativa avviene sia attraverso la classificazione del fusto, sia attraverso la classificazione della chioma (O.N.F. 1997). La classificazione tecnologica del fusto si basa su parametri quali curvatura, inclinazione, fibratura torta, presenza di rami o cicatrici, ferite. Tale valutazione viene effettuata nei primi 3 m di fusto (lunghezza minima dell'assortimento commerciale). La classificazione prevede quattro classi di qualità A, B, C o D (dalla migliore alla peggiore). La chioma viene classificata sulla base del suo aspetto visivo attraverso una tavola di confronto di "chiome tipo" suddivisa in cinque classi.



Tagli di conversione tradizionali (da ceduo invecchiato a fustaia)



Trattamento irregolare bosco ceduo invecchiato

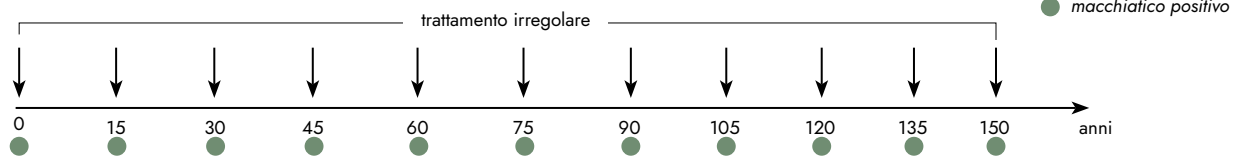


Figura 4.2-2 - Confronto di remunerazione economica tra la conversione classica del ceduo in fustaia e il trattamento irregolare dei cedui invecchiati

Dal confronto tra la gestione attraverso il trattamento irregolare e la tradizionale conversione ad alto fusto per matricinatura intensiva si può notare come il primo, a differenza del secondo, evita interventi a macchiatico negativo (Figura 4.2-2). Tuttavia, non è sufficiente considerare solo il costo degli interventi, ma occorre anche valutare il valore medio degli assortimenti ritraibili, nonché la flessibilità ecologica ed economica del sistema. In base a quanto detto, il trattamento irregolare si pone in posizione di superiorità, per questi aspetti, rispetto alla tradizionale conversione per matricinatura intensiva. Infine, **con il trattamento irregolare si dà origine a un popolamento pluristratificato e disetaneo in cui tutti gli interventi (che possono essere assimilati a tagli di curazione) sono a macchiatico positivo**; si evitano quindi i tagli intercalari a macchiatico negativi tipici della fustaia coetanea trattata a tagli successivi.

Limiti

Il trattamento irregolare trova alcune limitazioni nel campo applicativo dovuti a:

- **"qualità" dei popolamenti:** come già sottolineato in precedenza, nelle faggete, attualmente, la percentuale dei fusti di "qualità" è piuttosto scarsa e non distribuita in maniera omogenea;
- **accessibilità:** un' adeguata viabilità forestale è indispensabile, in quanto il trattamento irregolare prevede di attuare interventi selvicolturali con una maggiore frequenza rispetto ad altri modelli selvicolturali;
- **normativa:** attualmente non tutte le normative regionali consentono l'applicazione del trattamento irregolare;
- **vincoli:** la presenza di vincoli di carattere naturalistico o legati ad usi civici nonché l'assenza di pianificazione limitano l'applicabilità del trattamento irregolare;
- **assenza di filiere locali:** l'assenza di filiere locali in grado di valorizzare gli assortimenti pregiati non consente di creare un mercato alternativo forte a quello della legna da ardere ed a quello dell'utilizzo energetico;
- **gestione forestale:** il trattamento irregolare richiede competenze tecniche adeguate e indispensabili per

la realizzazione e la definizione degli interventi;

- **servizi ecosistemici:** difficoltà di remunerare i molteplici servizi ecosistemici che la gestione irregolare è in grado di fornire (PES).

Gli interventi nell'ambito del trattamento irregolare devono essere adeguati e commisurati tenendo conto dell'elevata eterogeneità delle faggete quanto a livello nazionale che per singolo comprensorio forestale in termini sia strutturali, che compositivi e gestionali.

Opportunità

Le opportunità nell'applicazione del trattamento irregolare nelle faggete sono:

- quadri normativi a livello nazionale e regionale in forte evoluzione, frutto di **un'elevata richiesta di politiche a supporto delle aree interne**;
- elevata disponibilità di biomasse generata da una scarsa utilizzazione passata delle faggete e **buona disponibilità di proprietà pubbliche** attualmente in espansione (il 50% della superficie);
- possibilità di generare **crediti di carbonio** con successiva remunerazione di essi e di altri servizi ecosistemici garantiti dal trattamento irregolare;
- **maggiore elasticità gestionale**, che rende possibile adattare gli interventi futuri in base all'evoluzione dei cambiamenti climatici che hanno conseguenze sulla sopravvivenza delle faggete.

Il trattamento irregolare prevede l'attuazione degli **interventi con un tempo di ritorno di circa 15 anni, nelle faggete con buona fertilità**, in cui si registra un incremento corrente, come in Piemonte, di circa 6 m²/ha/anno. Tale tempo di ritorno può essere ridotto nelle faggete ad alta fertilità, garantendo così una gestione più ottimale e sicuramente in grado di adattarsi e rispondere tempestivamente ad eventuali problematiche.

Il trattamento irregolare, tra l'altro, cerca di coniugare nell'aspetto produttivo anche la conservazione delle specie, l'aumento della biodiversità in faggeta, l'aumento della naturalità con la possibilità di definire delle aree in cui si può prevedere l'instaurarsi di popolamenti misti. Infine **il popolamento irregolare permette una gestione adattativa** e, di conseguenza, anche una maggiore resilienza nei confronti del cambiamento climatico.

Conclusioni

Il faggio, ad oggi, si trova nella condizione di dover rispondere sia al continuo abbandono delle aree rurali, e delle attività selvicolturali connesse (causato da un contesto socioeconomico differente dal passato, cui segue un eccessivo invecchiamento dei cedui), sia agli scenari del cambiamento climatico. Il trattamento irregolare intende controbattere a tale condizione fornendo **uno strumento adeguato alla gestione dei cedui invecchiati di faggio, ponendosi come valida alternativa alla conversione classica ceduo-fustaia** e cercando di rispondere ai problemi collegati di insostenibilità economica garantendo un miglioramento in termini compositivi, strutturali e qualitativi degli assortimenti legnosi ricavabili.

L'applicazione di tali interventi, tuttavia, ad oggi vede ancora delle limitazioni a carattere infrastrutturale dei boschi, normativo e conoscitivo.

Il trattamento irregolare è caratterizzato da una forte componente adattativa che deriva dai tempi di ritorno per l'attuazione degli interventi molto brevi, garantendo una notevole capacità di rispondere tempestivamente alle modifiche di condizione della stazione generate dal fenomeno dei cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

AMORINI E., FABBIO G., BERTINI G., 2010 - **Stand dynamics of a beech coppice beyond the rotation age and under conversion into high forest.** Ann. Silv. Res., 36: 151-172.

BERRETTI, R., MOTTA, R., WOLYNSKI, A., ALTARE, D., RAVIGLIONE, M., STOLA, F., 2014 - **Trattamenti irregolari per la valorizzazione delle faggete. Criteri per la redazione di un piano dei tagli e primi casi applicativi in una proprietà regionale.** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 207: 5-9.

FABBIO G., BRUSCHINI S., MANETTI M.C., 1997 - **Selvicoltura nelle faggete irregolari: un caso studio.** Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo. Vol. 28.

GIANNINI R., PIUSSI, P., 1976 - **La conversion des taillis en futaie: l'expérience italienne.** In, XVI IUFRO World Congress. IUFRO, Oslo, pp. 388-396.

INFC 2005 - **Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio.** Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali, Ispettorato Generale - Corpo Forestale dello Stato, CRA - Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura. www.sian.it/inventarioforestale/jsp/home.jsp

IPLA, REGIONE PIEMONTE 2002 - **La pianificazione forestale in Piemonte. I piani forestali territoriali.** Istituto per le Piante da Legno e l'Ambiente. Ipla S.p.A e Regione Piemonte, Direzione Economia montana e Foreste, Torino.

MARINO D., 2017 - **I pagamenti dei servizi ecosistemici in Italia dalla sperimentazione all'applicazione attraverso il progetto Life+ MGN.** CURSA, Roma.

MURADIAN R., CORBERA E., PASCUAL U., KOSOY N., MAY P.H., 2010 - **Reconciling Theory and Practice: An Alternative Conceptual Framework for Understanding Payments for Environmental Services.** Ecological Economics, 69 (6): 1202-8.

NOCENTINI S., 2009 - **Structure and management of beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Italy.** IForest, 2(JUNE): 105-113. <https://doi.org/10.3832/IFOR0499-002>.

PELLERI F., 2013 - **Selvicoltura d'albero in fustaie di faggio: valorizzazione delle specie sporadiche e coltivazione della specie dominante.** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 190: 43-47.

VACCHIANO G., BERRETTI R., BRENTA P., MELONI F., MOTTA R., NOSENZO A., TERZUOLO P.G., 2017 - **Vegetative regeneration of beech coppices for biomass in Piedmont, NW Italy.** Biomass and Bioenergy, 107: 271-278. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.018>.

WOLYNSKI A., 2002a - **Sul trattamento irregolare delle fustaie di faggio (1).** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 74: 9-14.

WOLYNSKI A., 2002b - **Sul trattamento irregolare delle fustaie di faggio (2).** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 75: 5-13.

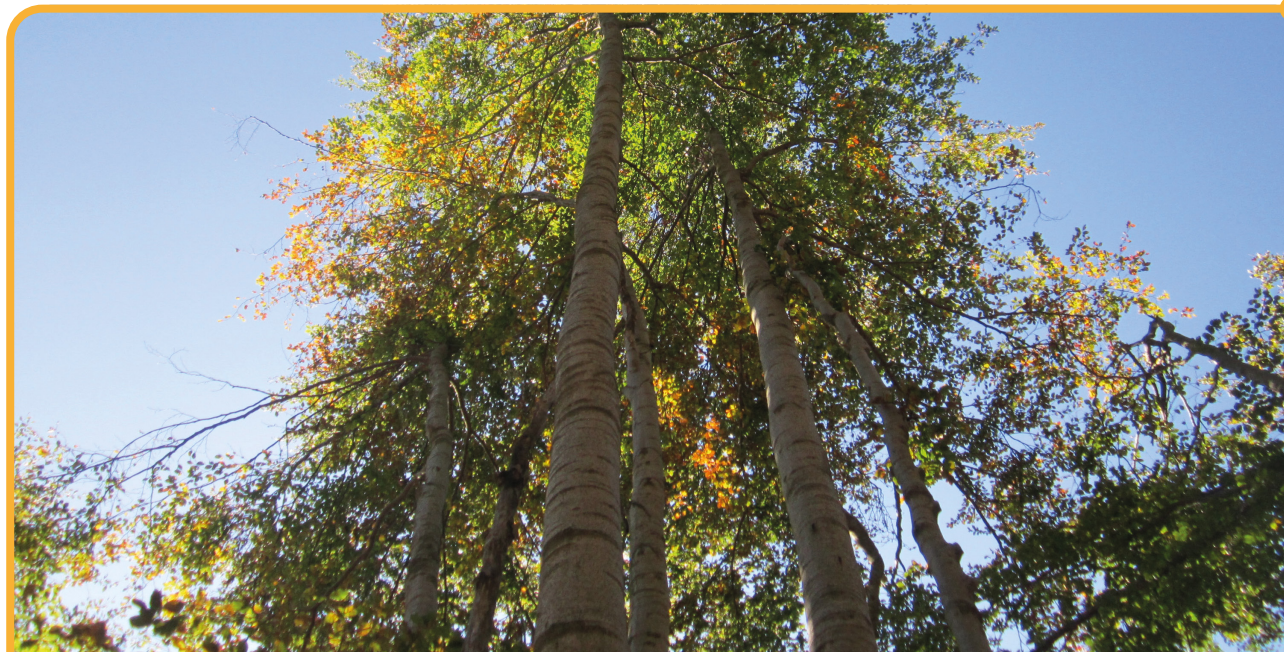
WOLYNSKI A., BERRETTI R., MOTTA R., 2006 - **Selvicoltura multifunzionale orientata alla qualità. Caratterizzazione di una faggeta in provincia di Trento** Sherwood - Foreste ed Alberi Oggi 118: 5-12.

WUNDER S., 2005 - **Payments for environmental services: some nuts and bolts.** CIFOR Occasional Paper 42: 1-32.

AUTORI

Renzo Motta, DISAFA - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi Torino. E-mail: renzo.motta@unito.it.

Roberta Berretti, DISAFA - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino. E-mail: roberta.berretti@unito.it.



4.2 | Abstract

The irregular management of beech forests for the climate change

The beech forests in Italy are an important and characteristic component of many national mountain areas. According to data of the Forest Inventory (INFC 2005), about 1,042,129 hectares, corresponding to 9.4% of the national forest surface, are covered by beech forests. Over the centuries the wood produced by beech forests, as firewood or timbers, has been a fundamental resource for Italian mountain communities.

These woods, therefore, are characterized by a strong human footprint that has determined their structure and composition through conditioning by the social, economic and management context. However, according to INFC of 2005, about 46% of beech forests are coppiced, the remaining part cannot be traced back exclusively to the high forest government it also includes those woods that can be defined as irregular because it includes high forests but also coppices neglected or in conversion to high forests. The change in the socio-economic context of the last sixty years has had an impact on the beech forests, especially in those coppiced.

Following the reduction in the demand for firewood, many beech coppices became stored or neglected, some of them was submitted to conversion treatments. The management of stored and neglected beech coppices is currently a relevant issue. One of the potential alternatives is the irregular management.

The irregular management is based on the recognition and the cultivation of the quality trees and aims to:

- **make the most of the woody assortments that can be obtained**, mainly those linked to the wood-energy chain;

- **improving the specific tree biodiversity** of these stands through the release and enhancement of sporadic species;
- **avoid negative interventions** and thus ensure adequate economic sustainability and finally;
- **greater provision of ecosystem services**.

The application of irregular management involves a first phase of recognition of the characteristics and functions carried out by individual plants or by individual collectives and then proceeds with the forms of collection attributable to occasional cutting per tree, after cutting, groups cutting, intermediate form such as occasional cutting in groups or, more often, mixed forms of different types of picking.

Irregular management must take into account to some limitations: the availability of quality within the stands, accessibility to the forest, current regulations that condition its implementation, various types of constraints, the absence of supply chains capable of enhancing the value of valuable assortments, necessarily more articulated management with the aid of appropriate technical skills, and the difficulty of remunerating the multiple ecosystem services.

Potential positive aspects regarding the application of irregular management in beech forests are: national and regional regulations that are fastly changing, high availability of biomass generated by a low rate of withdrawal past, the possibility of generating carbon credits, greater flexibility management. The irregular management could find a balanced trade-off between productive aspect and the conservation of biodiversity and naturalness.



4.3

Cedui e cambiamenti climatici

Giada Bertini - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Andrea Cutini - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Gianfranco Fabbio - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Il ceduo oggi

I boschi cedui rappresentano una componente rilevante delle foreste semi-naturali in Europa e nonostante la forte riduzione dell'area originale, le superfici gestite a ceduo contano ancora oltre 20 milioni di ettari (UNRAU *et al.* 2018). Sono 9 i Paesi europei (Francia, Turchia, Spagna, Italia, Grecia, Bulgaria, Ucraina, Serbia e Bosnia ed Erzegovina) in cui la superficie interessata dai boschi cedui supera il 1.000.000 di ha.

Secondo Forest Europe (2015), il prelievo legnoso percentuale dell'incremento netto annuale è del 39,2% in Italia, corrispondente a uno dei più bassi del Continente (47,3% in Francia, 80,3% in Germania, 55,5% in Spagna), anche se il consumo interno di legna dal ceduo è soltanto una parte di quello totale di biomassa legnosa per energia (PRA e PETTENELLA 2016).

I dati del terzo Inventario Forestale Nazionale 2015 (GASPARINI *et al.* 2022) fotografano consistenza e articolazione attuali. La superficie complessiva dei boschi governati a ceduo è di 3.789.413 ha e pari a 3.989.081 ha se si considerano anche quelli in avviamento all'alto fusto. **I cedui rappresentano il 42,3% della superficie totale dei boschi**; i cedui matricinati sono il 65,5%, i cedui semplici il 18%, i composti l'11%, quelli a sterzo lo 0,5% e quelli in avviamento il 5%. Il campo di età varia dai cedui giovani (9,5%, 357mila ha), a quelli adulti (56,8%, 2.141mila ha) che rappresentano la superficie maggiore, a quelli oltre turno (32,6%, 1.228mila ha), a quelli in rinnovazione di superficie minima e pari allo 1,2% (3.200 ha).

Il volume totale supera i 466 milioni di m³ per un incremento annuo di oltre 14 milioni di m³. Il volume medio è di 123 m³ha⁻¹ e l'incremento di 3,8 m³ha⁻¹anno⁻¹. Nelle due classi di età più rappresentate la massa totale in piedi è pari a 140 milioni di m³ (31-40 anni) e 175 milioni di m³ (41-80 anni).

La copertura per le specie più rappresentative ha superfici variabili dai 405.000 ha di leccio ai 698.000 ha di cerro, ma la distinzione è soprattutto quella per classi di età, con un massimo relativo del cerro per le età giovani (< 20 anni, 18,5%) e del faggio per quelle adulte e mature (> 40 anni, 71,7%) (GASPARINI *et al.* op. cit.).

I numeri indicano in modo chiaro la **frammentazione dell'area originale**, che comprende oggi:

- la superficie di ceduo a regime su turni medi molto allungati;
- l'area minoritaria in avviamento ad alto fusto diffusa soprattutto nella proprietà pubblica;
- la superficie 'in invecchiamento' per evoluzione naturale. Questa ha inizio con la progressiva sostituzione di legna e carbone di legna per gli usi energetici industriali e domestici con i combustibili fossili (carbone, petrolio e gas), già nella prima metà del secolo scorso.

Il ceduo caratterizza, insieme alla fustaia, il paesaggio forestale attraverso l'Europa. L'eterogeneità spaziale che ne consegue, costituita da un mosaico di spazi diversi per struttura, classi di età, aree di contatto e transizione tra ecosistemi differenti, è **condizione di variabilità ambientale e quindi di diversità biologica** (SCARASCIA-MUGNOZZA *et al.* 2000). In media, le Regioni italiane ospitano 13 tipi forestali (GASPARINI *et al.* op. cit.).

L'Italia è un caso di studio interessante per gli ambienti di crescita differenti ed il numero delle specie governate a ceduo. La proprietà forestale molto frazionata (73% sono piccole aziende private), è un carattere comune anche a livello europeo (Forest Europe 2020). Recenti iniziative internazionali dimostrano l'attuale interesse per la forma di governo:

- la Conferenza internazionale di Brno *Coppice forests: past, present and future* (2015) che ha trattato in sessioni dedicate i temi di Selvicoltura e rinnovazione, Ecologia e biodiversità, Ecofisiologia e ecologia arborea, Aspetti socio-economici, Produzione, Storia e dendrocronologia (www.eurocoppice.unifreiburg.de/intern/pdf/conf-coppice-brno/coppice-conf-brno-abstracts);
- la creazione nel 2017 della nuova Unità IUFRO 1.03.01- *Traditional coppice: ecology, silviculture and socio-economic aspects*. L'Unità include tutti i punti focali della gestione ed è mirata a identificare i principi comuni ed analizzare le differenze geografiche specifiche per de-



rivare le strategie sostenibili (www.iufro.org/science/divisions/division-1/10000/10300/10301/);

- l'Azione COST FP1301 EuroCoppice (2013-2017) - *Innovative management and multifunctional utilization of traditional coppice forests - an answer to future ecological, economic and social challenges in the European forestry sector* (www.eurocoppice.uni-freiburg.de).

Ceduo e Clima

Il cambiamento ambientale in corso (arricchimento della CO₂ atmosferica, deposizione azotata e di solfati, riscaldamento globale e infedeltà climatica, aumento del livello di ozono) (SAXE *et al.* 2001, MILLAR *et al.* 2007, KOLSRTROM *et al.* 2011, FERRETTI *et al.* 2014) ha interessato una serie di fattori concorrenti e/o contrari che hanno agito sui cicli bio-geo-chimici producendo azioni e retroazioni sulle relazioni suolo-albero-atmosfera (SCHAUB 2009, BECK 2009, Mc MAHON *et al.* 2010, SERENGIL *et al.* 2011). La variazione climatica in particolare ha manifestato già effetti evidenti sugli ambienti naturalmente sensibili quali quelli mediterranei e quindi sulle foreste (SCARASCIA-MUGNOZZA *op. cit.*, BREDI *et al.* 2006, COTILLAS *et al.* 2009, HERNANDEZ-SANTANA *et al.* 2009, BERTINI *et al.* 2011, BERTINI *et al.* 2019). L'aumento della temperatura media, la diminuzione della quantità di precipitazione, la maggiore irregolarità della sua distribuzione e quindi lo stress idrico (RENNENBERG *et al.* 2006), il rischio di incendio, l'aumento probabilistico di eventi estremi dalla scala regionale a quella continentale come le frequenti ondate di calore sono lo scenario atteso (CIAIS *et al.* 2005, SEIDL e LEXER 2013, LINDNER *et al.* 2010, 2014).

Il rapporto tra ceduo e variazione climatica si basa su due punti essenziali:

- i caratteri intrinseci della forma di governo;
- la differenziazione dei soprassuoli originati dalla stessa forma di governo.

Sicurezza della rinnovazione, elevata capacità di sequestro di carbonio dopo il taglio, tolleranza ai periodi siccitosi per l'apparato radicale preformato, resistenza e resilienza ai disturbi (vento, fuoco), flessibilità e reversibilità del sistema, vitalità dei polloni, elevata variabilità spazio-temporale degli habitat, semplicità di gestione e, infine, la lunghezza ridotta dei cicli di coltivazione rispetto alla fustaia sono tutti **elementi positivi riferiti alla capacità di adattamento**. Le analisi in letteratura lo confermano attraverso gli studi sulla gestione dell'acqua in situazioni di disponibilità limitata in cedui di quercia (SPlichalova 2015); la maggiore tolleranza all'aridità dei ricacci rispetto ai semenzali di rovere (PIETRAS *et al.* 2016); la capacità di ricaccio come base del paradigma della resilienza e della natura auto-successionale post-disturbo dei cedui mediterranei (ESPELTA *et al.* 1999, LOPEZ *et al.* 2009). Le potenziali variazioni fisiologiche in cedui mediterranei di leccio al variare dell'esposizione mostrano la capacità di acclimatazione alla maggiore aridità in termini di potenziale di fotosintesi e di efficienza di uso idrico (Di MATTEO *et al.* 2014, 2017). Un'analisi di lungo periodo sui flussi di CO₂ condotta in un ceduo di cerro soggetto a carenza idrica stagionale (BELELLI *et al.* 2017) rivela il ripristino della capacità netta di sequestro di carbonio già nel secondo anno dopo la ceduzione, a significare

l'elevata resilienza del sistema al disturbo della raccolta

Dedotta la massa legnosa utilizzata a fine turno, la forma di governo è associata ad un sequestro netto di carbonio non inferiore a 1.3 t C ha⁻¹ anno⁻¹ integrato sull'intero ciclo. L'effetto dell'avviamento sul contenuto di carbonio organico e sullo stock di nutrienti nel suolo è descritto da CAMPONI *et al.* 2022 e quello sulla struttura arborea da AMORINI *et al.* 1990, 1998ab, 2006, 2010. Il risultato del trattamento sulla copertura, sul microclima e sui parametri eco-fisiologici è riportato da CUTINI e MASCIA 1998, CUTINI e BENVENUTI 1998, FABBIO *et al.* 1998, CUTINI e HAJNY 2006, CHIANUCCI *et al.* 2019.

In un ambito prevalente di bosco ceduo, l'analisi del territorio consente di:

- osservare variabilità fisica, composizione, struttura e articolazione;
- determinare grado e tipo di protezione che è necessario assicurare al suolo in rapporto alla topografia e giacitura dei luoghi ed alla natura del substrato;
- valutare lo stato corrente dei soprassuoli, ricostruire l'evoluzione recente, prevedere lo sviluppo possibile secondo scenari/livelli di gestione diversi e le funzionalità prevalenti individuate.

Risulta dunque possibile scegliere i **contesti ottimali al mantenimento della coltivazione a ceduo** per giacitura, fertilità, accessibilità/viabilità (elementi determinanti), azzeramento degli usi multipli storici, turni allungati.

In alternativa si dovrà proseguire con l'avviamento ad alto fusto o lasciare spazio all'evoluzione di post-coltura (FABBIO *et al.* 2003, MANETTI e GUGLIOTTA 2006, PELLERI *et al.* 2015, MANETTI *et al.* 2015, 2020, FABBIO e CUTINI 2017, CUTINI *et al.* 2018).

Per valorizzare la variabilità di fertilità e composizione esistente, anche per tratti circoscritti, in molta parte dei nostri ambienti forestali montani può essere favorito lo sviluppo interfacce e connessioni fisiche senza necessariamente delimitare, come in passato, le superfici in modo netto e regolare (FABBIO 2016).

Funzioni diverse si associano a comprendere e riassumere il concetto generale di multifunzionalità attesa.

Il soggetto diventa quindi il territorio e non le singole tessere che lo compongono. Le funzioni del bosco si attuano in modo complementare già all'interno della stessa forma di governo. Il ruolo di accumulatori di carbonio dei soprassuoli oltre turno (BERTINI *et al.* 2010, 2012) si integra con quello di produzione legnosa rinnovabile dei cedui in coltivazione, coniugando le funzioni emergenti di mitigazione e di sostituzione del combustibile fossile.

L'obiettivo è la definizione dei metodi attuativi di ciascuna forma di gestione, la proposizione di tutti gli accorgimenti utili a migliorare il modello colturale individuato attraverso il monitoraggio delle soluzioni adottate, le esperienze e i risultati della ricerca applicata in una **strategia complessiva di tipo adattativo** (SPLITTEHOUSE e STEWART 2003, CANADELL e RAUPACH 2008, BOLTE *et al.* 2009, FABBIO *et al.* 2014, FABBIO *et al.* 2018).

Anche dove appare evidente la forte omogeneizzazione prodotta da un abbandono generalizzato del bosco, un rinnovato interesse produttivo offre l'opportunità di contribuire alla tessitura del mosaico paesaggistico, alla creazione di habitat specifici, di tipi, livelli e modelli di diversità (MAIROTA *et al.* 2006, 2014, 2016a, 2016b, HEDL *et al.* 2015) che, nel caso del ceduo, sono collegati anche agli stadi successionali precoci nelle tagliate.

Il contributo del progetto Life FutureForCoppiceS

Il progetto "Gestione sostenibile dei boschi cedui nel sud Europa: indicazioni per il futuro dall'eredità di prove sperimentali" (CUTINI *et al.* 2021) si origina dalla evidente attualità del tema per la consistenza delle superfici forestali interessate e per i caratteri intrinseci della forma di governo nella fase di cambiamento in corso. Nasce dalla constatazione che, **nonostante la diffusione e la valenza del bosco ceduo, questo è poco considerato negli scenari di Gestione Forestale Sostenibile** che definiscono "gestione e uso delle foreste e del territorio forestale nel modo ed a una misura tali da mantenere la loro diversità biologica, produttività, capacità di rinnovazione, vitalità, e potenzialità per realizzare, ora ed in futuro, le funzioni pertinenti di tipo ecologico, economico e sociale, ai livelli locale, nazionale e globale [...]" (MCPFE, Conferenza Ministeriale sulla Protezione delle Foreste in Europa - Helsinki, 1993).

Gli obiettivi del progetto sono stati di testare, **dimostrare e diffondere la valenza degli Indicatori di Sustainable Forest Management (SFM)** nei cedui, di valutare la sostenibilità delle principali opzioni colturali (ceduo a regime, ceduo in avviamento all'alto fusto, ceduo in evoluzione naturale) e di applicare i risultati a scala geografica maggiore, simulando i cambiamenti nella gestione in confronto allo scenario corrente.

Quarantacinque le aree di ricerca interessate dal progetto, distribuite in due regioni, Toscana e Sardegna, e 3 i tipi forestali europei: foresta montana di Faggio, foresta decidua termofila, foresta di latifoglie sempreverdi.

Un ruolo chiave, nel progetto, è costituito dai protocolli sperimentali di lungo periodo installati dal CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno fin dalla fine degli anni '60 del secolo scorso e dalla disponibilità delle relative serie storiche e di dati aggiornati. La scala di indagine scelta è quella operativa di popolamento, ossia la scala a cui si realizzano gli interventi colturali. L'approccio, di tipo multidisciplinare, ha coinvolto 42 esperti di 8 diverse discipline.

Sono state prodotte le Linee guida per il campionamento di campo ed i 6 Manuali per il Metodo di determinazione, la Valutazione e Interpretazione dei nuovi Indicatori proposti. (www.futureforcoppices.eu/it).

Nella Tabella 4.3-2 sono riportati gli Indicatori consoli-

dati e quelli nuovi selezionati nel progetto. Sono 13 gli Indicatori consolidati non utilizzati perché non applicabili alla scala di studio (popolamento). Per ciascun Indicatore sono riportati: una breve descrizione, la/le variabili considerate e le relative unità di misura, il significato (i nuovi Indicatori), i principali riferimenti bibliografici.

Risultati

L'approccio originale dello studio è stato quello di utilizzare un insieme ragionato ed allargato di Indicatori di SFM, consolidati e di nuova formulazione, alla scala di popolamento (ossia al livello dell'unità fisica di intervento colturale) e la loro capacità di documentare la reazione del bosco ceduo alle differenti opzioni di gestione. I risultati hanno confermato che nei soprassuoli analizzati molti degli Indicatori consolidati riferiti allo stato della risorsa (massa in piedi e stock di carbonio), salute (defoliazione e danno) e funzioni socio-economiche (reddito netto, energia, accessibilità) sono risultati molto appropriati per valutare la sostenibilità alla scala di popolamento.

Anche alcuni Indicatori nuovi relativi allo stato della risorsa (biomassa totale fuori terra), salute (accrescimento del popolamento) e funzione protettiva (copertura delle chiome e del suolo) sono risultati idonei e capaci di supportare l'informazione tratta dai precedenti, e di ottenere così una **valutazione integrata della sostenibilità della forma di governo** (Tabella 4.3-1).

Quando si considerano le tre opzioni colturali, la valutazione diventa più articolata. In generale, gli Indicatori hanno dimostrato una maggiore valenza ambientale in termini di accrescimento e di contributo al ciclo del carbonio per le soluzioni in evoluzione naturale ed avviamento ad alto fusto, in confronto al ceduo a regime. L'avviamento è caratterizzato comparativamente da valori maggiori di massa in piedi e dalla produzione di legno attraverso i diradamenti, con ricaduta positiva sugli aspetti sociali ed economici. La combinazione intensità/intervallo di ripetizione degli interventi è registrata sugli Indicatori del Criterio 3-Productive Functions, sulla produzione di legna da ardere, in particolare. Anche la funzione ricreativa è accresciuta, come ha dimostrato la maggiore disponibilità al pagamento di un servizio.

Il ceduo a regime ha combinato i valori maggiori della raccolta periodica di legna con una densità di copertura elevata. Esso rappresenta inoltre una **eredità cultu-**

Indicatori consolidati risultati molto appropriati

C1	Forest Resources & Global Carbon Cycles _Growing stock and Carbon stock
C2	Forests Health & Vitality _Defoliation and Forest damage
C6	Socioeconomic Functions _Net revenue, Energy and Accessibility

Indicatori nuovi risultati molto appropriati

C1	Forest Resources & Global Carbon Cycles _Total above ground tree biomass
C2	Forests Health & Vitality _Stand growth
C5	Protective Function (Soil & water)_Overstorey cover and Understorey cover

Tabella 4.3-1 - Indicatori consolidati e nuovi risultati come molto appropriati da FutureForCoppiceS.

rale da preservare e, fattore altrettanto importante, contribuisce a mantenere la gestione forestale nelle aree montane.

Dato che ciascuna delle opzioni colturali analizzate promuove aspetti specifici della sostenibilità attraverso **benefici ecosistemici complementari**, la loro coesistenza fino dalla scala locale e secondo le condizioni ambientali ed il contesto socio-economico, è raccomandata per la capacità di corrispondere ad un ampio spettro di richieste. La **coesistenza di opzioni colturali** diverse a scala territoriale rappresenta una valida scelta anche nell'ambito delle soluzioni di mitigazione possibili del rischio associato al cambiamento climatico. Questi risultati creano una solida base per la pianificazione della gestione sostenibile del bosco ceduo e forniscono valori target di incremento e capacità di stoccare carbonio atmosferico per le categorie forestali ed età considerate.

BIBLIOGRAFIA

- AMORINI E., FABBIO G., FRATTEGANI M., MANETTI M.C., 1990 - **L'affrancamento radicale dei polloni. Studio sugli apparati radicali in un soprassuolo avviato ad altofusto di faggio.** Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, XIX (1988): 201-261.
- AMORINI E., FABBIO G., BERTINI G., 2010 - **Dinamica del ceduo oltre turno e avviamento ad alto fusto dei cedui di faggio. Risultati del protocollo 'Germano Gambi' Sull'Alpe di Catenaia (Arezzo).** Annali CRA-SEL, Arezzo, 36: 151-172.
- AMORINI E., FABBIO G., CANTIANI P., 2006 - **Avviamento ad altofusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Valsavignone (Arezzo).** ANNALI IST. SPER. SELV. AREZZO, 33 (2002-04): 115-132.
- AMORINI E., BRUSCHINI S., CUTINI A., FABBIO G., MANETTI M.C., 1998a - **Silvicultural treatment of holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices in Southern Sardinia: thinning and related effects on stand structure and canopy cover.** ANNALI ISSA VOL. 27 - SPECIAL ISSUE MEDCOP: 167-176.
- AMORINI E., BRUSCHINI S., CUTINI A., DI LORENZO M.G., FABBIO G. 1998b - **Treatment of Turkey oak (*Quercus cerris* L.) coppice. Structure, biomass and silvicultural options.** Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, 27 Spec. Issue MEDCOP: 121-129.
- BECK W., 2009 - **Growth patterns of forest stands - the response towards pollutants and climatic impact.** iForest-Biogeosciences and Forestry 2:4-6. www.sisef.it/forest/show.php?id=472
- BELLELLI MARCHESINI L., REY A., CHITI T., VITALE D., VALENTINI R., PAPALE D., 2017 - **Climate change mitigation capacity of a deciduous oak forest under coppice management subject to seasonal droughts.** Geophysical Research Abstracts 19: EGU2017-10985.
- BERTINI G., FERRETTI F., FABBIO G., RADDI S., MAGNANI F. 2019 - **Quantifying tree and volume mortality in Italian forests.** Forest Ecology and Management 444: 42-49. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.006>
- BERTINI G., PIOVOSI M., FABBIO G., 2011 - **Long term forest monitoring: evidences of sensitivity to climate change coupled with management shift in Italy. How to handle this dynamics?** Summer school on Adaptation to Climate Change in Forest Management. Sept. - Vienna.
- BERTINI G., FABBIO G., PIOVOSI M., CALDERISI M., 2010 - **Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui di cerro in evoluzione naturale in Toscana.** Forest@ (7): 88-103.
- BERTINI G., FABBIO G., PIOVOSI M., CALDERISI M. 2012 - **Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui oltre turno di leccio in Sardegna e di faggio in Toscana.** FOREST@ (9): 108-129.
- BOLTE A., AMMER C., LÖF M., MADSEN P., NABUURS G.-J., SCHALL P., et al. 2009 - **Adaptive forest management in central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept.** Scandinavian Journal of Forest Research vol. 24 - Issue 6. <https://doi.org/10.1080/02827580903418224>
- BREDA N., HUC R., GRANIER A., DREYER E., 2006 - **Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of eco-physiological responses, adaptation processes and long-term consequences.** Annals of Forest Science 63: 625-644. doi: 10.1051/forest:2006042
- CAMPONI L., CARDELLI V., COCCO S., SERRANI D., SALVUCCI A., CUTINI A., AGNELLI A., FABBIO G., BERTINI G., ROGGERO P.P., CORTI G., 2022 - **Effect of coppice conversion into high forest on soil organic C and nutrients stock in a Turkey oak (*Quercus cerris* L.) forest in Italy.** Journal of Environmental Management 312: 111. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114935>
- CANADELL J.G., RAUPACH M.R., 2008 - **Managing Forests for Climate Change Mitigation.** Science vol. 320, Issue 5882: 1456-1457. doi: 10.1126/science.1155458
- CHIANUCCI F., FERRARA C., BERTINI G., FABBIO G., TATTONI C., ROCCHINI D., CORONA P., CUTINI A., 2019 - **Multi-temporal dataset of stand and canopy structural data in temperate and Mediterranean coppice forests.** Annals of Forest Science: 76-80. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0862-7>
- CHAIS P., REICHSTEIN M., VIOVY N., GRANIER A., OGÉE J., ALLARD V., AUBINET M., BUCHMANN N., BERNHOFER C., CARRARA A., CHEVALLIER F., DE NOBLET N., FRIEND A.D., FRIEDLINGSTEIN P., GRUNWALD T., HEINESCH B., KERONEN P., KNOHL A., KRINNER G., LOUSTAU D., MANCA G., MATTEUCCI G., MIGLIETTA F., OURCIVAL J.M., PAPALE D., PILEGAARD K., RAMBAL S., SEUFERT G., SOUSSANA J.F., SANZ M.J., SCHULZE E.D., VESALA T., CUTINI A., CHIANUCCI F., GIANNINI T., MANETTI M.C., SALVATI L., 2015 - **Is anticipated seed cutting an effective option to accelerate transition to high forest in European beech (*Fagus sylvatica* L.) coppice stands?** Annals of Forest Science 72: 631-640. doi: 10.1007/s13595-015-0476-7.
- COTILLAS M., SABATE S., GRACIA C., ESPelta J.M., 2009 - **Growth response of mixed Mediterranean oak coppices to rainfall reduction: could selective thinning have any influence on it?** Forest Ecology and Management 258 (7): 1677-1683. doi: 10.1016/j.foreco.2009.07.033.
- CUTINI A., FERRETTI M., BERTINI G., BRUNIALTI G., BAGELLA S., CHIANUCCI F., FABBIO G., FRATINI R., RICCIOLI F., CADDEO C., CALDERISI B., CIUCCHI B., CORRADINI S., CRISTOFOLINI F., CRISTOFORI A., DI SALVATORE U., FERRARA C., FRATI L., LANDI S., MARCHINO L., PATERI G., PIOVOSI M., ROGGERO P.P., SEDDAIU G., GOTTARDINI E., 2021 - **Testing an expanded set of sustainable forest management indicators in Mediterranean coppice area.** Ecological Indicators 130: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108040>
- CUTINI A., MATTIOLI W., ROGGERO F., FABBIO G., ROMANO R., QUATRINI V., CORONA P., 2018 - **Selvicoltura nei cedui italiani: le normative regionali sono allineate alle attuali condizioni?** Forest@ 15: 20-28. doi: 10.3832/efor2772-015.
- CUTINI A., HAJNY M., 2006 - **Effetti del trattamento selvicolturale su produzione di lettiera, caratteristiche della copertura ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione.** Annali CRA-ISSEL vol.33 - Selvicoltura sostenibile nei boschi cedui - Progetto ARSIA Regione Toscana: 133-142.
- CUTINI A., MASCIA V., 1998 - **Silvicultural treatment of holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices in Southern Sardinia: effects of thinning on water potential, transpiration and stomatal conductance.** Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, 27 - Spec. Issue MEDCOP: 47- 53.
- CUTINI A., BENVENUTI C., 1998 - **Effects of silvicultural treatment on canopy cover and soil water content in a *Quercus cerris* L. coppice.** Annali ISSA vol. 27 - special issue MedCop: 65-70.
- DI MATTEO G., PERINI L., ATZORI P., DE ANGELIS P., MEI T., BERTINI G., FABBIO G., SCARASCIA MUGNOZZA G., 2014 - **Changes in foliar carbon isotope composition and seasonal stomatal conductance reveal adaptive traits in Mediterranean coppices affected by drought.** Journal of Forestry Research 25 (4): 839-845.
- DI MATTEO G., NARDI P., FABBIO G., 2017 - **On the use of stable carbon isotopes to detect the physiological impact of forest management: the case of Mediterranean coppice woodland.** Forest Ecology and Management 389: 158-166. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.12.030>
- ESPelta J.M., SABATÉ S., RETANA J., 1999 - **Resprouting dynamics. In: Ecology of the Mediterranean Evergreen Oak Forests (RODA F., RETANA J., GRACIA C.A., BELLOT J. eds).** Ecological Studies, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, vol. 137: 61-71.
- FABBIO G., CANTIANI P., FERRETTI F., DI SALVATORE U., BERTINI G., BECAGLI C., CHIAVETTA U., MARCHI M. AND SALVATI L., 2018 - **Sustainable Land Management, Adaptive Silviculture, and New Forest Challenges: Evidence from a Latitudinal Gradient in Italy.** Sustainability 10, 2520; doi:10.3390/su10072520.
- FABBIO G., CUTINI A., 2017 - **Il ceduo oggi: quale gestione oltre le definizioni?** Forest@ 14: 257-274. doi: 10.3832/efor2562-014
- FABBIO G., 2016 - **Coppice forests, or the changeable aspect of things, a review.** Annals of Silvicultural Research 40 (2): 108-132. <https://journals-crea.4science.it/index.php/asr/article/view/1286>
- FABBIO G., AMORINI E., 2006 - **Avviamento ad altofusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Caselli (Pisa).** Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, 33 (2002-04): 79-104.

- FABBIO G., CANTIANI P., FERRETTI F., CHIAVETTA U., BERTINI G., BECAGLI C., DI SALVATORE U., BERNARDINI V., TOMAIUOLO M., MATTEUCCI G., DE CINTI B., 2014 - **Adaptive silviculture to face up to the new challenges: the ManForCBD experience.** Proceedings of the 2nd Int. Congress of Silviculture Nov. 26-29 2014: 531-538 Florence.
- FABBIO G., CUTINI A., MASCIA V., 1998 - **Silvicultural treatment of holm oak coppices (*Q. ilex* L.) in Southern Sardinia: effects of canopy and crop thinning on microclimate.** Annali Ist. Sper. Selv. Arezzo, 27 - Spec. Issue MEDCOP: 55- 63.
- FABBIO G., MERLO M., TOSI V. 2003 - **Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe - the Mediterranean region.** Journal of Environmental Management 67 (1) Special Issue: 67-76.
- FERRETTI M., MARCHETTO A., ARISCI S., BUSSOTTI F., CALDERISI M., CARNICELLI S., CECCHINI G., FABBIO G., BERTINI G., MATTEUCCI G., DE CINTI B., SALVATI L., POMPEI E. 2014 - **On the tracks of Nitrogen deposition effects on temperate forests at their southern European range - an observational study from Italy.** Global Change Biology 20: 3423-3438. doi: 10.1111/gcb.12552
- FOREST EUROPE 2015, 2020 - **State of Europe's Forests.**
- GASPARINI P., DI COSMO L., FLORIS A., DE LAURENTIS D., Ed. 2022 - **Italian National Forest Inventory - Methods and Results of the Third Survey. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio - Metodi e Risultati della Terza Indagine.** Springer, 576 p. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98678-0_1
- HÉDL R., CHUDOMELOVA M., KOLAR J., KOPECKY M., MULLEROVA J., SZABO P., 2015 - **Historical legacy of coppice systems in herbaceous vegetation of central European forests.** In: Proceedings of the IUFRO International conference "Coppice forests: past, present and future". Brno (Czech Republic) 9-11 Apr 2015. [online] http://coppice.eu/conference_en.html
- HERNANDEZ-SANTANA V., MARTINEZ-VILALTA J., MARTINEZ-FERNANDEZ J., WILLIAM M., 2009 - **Evaluating the effect of drier and warmer conditions on water use by *Quercus pyrenaica*.** Forest Ecology and Management 258: 1719-1730. doi: 10.1016/j.foreco.2009.07.038
- KOLSTRÖM M., LINDNER M., VILEN T., MAROSCHEK M., SEIDL R., LEXER M.J., NETHERER S., KREMER A., DELZON S., BARBATI A., MARCHETTI M., CORONA P., 2011 - **Reviewing the science and implementation of Climate Change Adaptation Measures in European Forestry.** Forests, 2: 961-982. doi:10.3390/f2040961
- LINDNER M., FITZGERALD J.B., ZIMMERMANN N.E., REYER C., DELZON S., DER MAATEN E., SCHELHAAS M.J., LASCH P., EGGERS J., DER MAATEN-THEUNISSEN M., SÜCKOW F., PSOMAS A., POULTER B., HANEWINKEL M., 2014 - **Climate change and European forests: what do we know, what are the uncertainties, and what are the implications for forest management?** Journal of Environmental Management vol. 146: 69-83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.030>
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M., 2010 - **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems.** Forest Ecology and Management 259: 698-709. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023
- LOPEZ B.C., GRACIA C.A., SABATÉ S., KEENAN T., 2009 - **Assessing the resilience of Mediterranean holm oaks to disturbance using selective thinning.** Acta Oecologica 35: 849-854. - doi: 10.1016/j.actao.2009.09.001
- MAIROTA P., MANETTI M.C., AMORINI E., PELLER F., TERRADURA M., FRATTEGANI M., SAVINI P., GROHMANN F., MORI P., PIUSSI P., 2014 - **Socio-economic and environmental challenges of responsible coppice management: Italian examples.** COST Action FP 1301 EuroCoppice. International event People and Coppice. November 3-5, University of Greenwich, UK.
- MAIROTA P., MANETTI M.C., AMORINI E., PELLER F., TERRADURA M., FRATTEGANI M., SAVINI P., GROHMANN F., MORI P., TERZUOLO P.G., PIUSSI P., 2016a - **Opportunities for coppice management at the landscape level: the Italian experience.** iForest (early view). doi: 10.3832/ifer1865-009 [online 2016-08-04]
- MAIROTA P., BUCKLEY P., SUCHOMEL C., HEINSOO K., VERHEYEN K., HÉDL R., TERZUOLO P.G., SINDACO R., CARPANELLI A., 2016b - **Integrating conservation objectives into forest management: coppice management and forest habitats in Natura 2000 sites.** iForest 9: 560-568. doi:10.3832/ifer1867-009 [online 2016-05-12]
- MAIROTA P., TELLINI FLORENZANO G., PIUSSI P., 2006 - **Gestione del bosco e conservazione della biodiversità: l'analisi eco-paesistica applicata a territori boscati della Toscana meridionale.** Annali CRA-ISSEL vol.33 - Selvicoltura sostenibile nei boschi cedui - Progetto ARSIA Regione Toscana: 187-244.
- MANETTI M.C., GUGLIOTTA O.I., 2006 - **Effetti del trattamento di avviamento ad altofusto sulla diversità specifica e strutturale delle specie legnose in un ceduo di cerro.** Annali CRA-ISSEL vol.33 - Selvicoltura sostenibile nei boschi cedui - Progetto ARSIA Regione Toscana: 105-114.
- MANETTI M.C., BECAGLI C., FABBIO G., SANSONE D., PELLER F., 2015 - **Single tree-oriented silviculture as a new approach for coppice stands.** Coppice forests, past, present and future. IUFRO Conference, 9-11 April 2015 Brno, Czech Republic.
- MANETTI M.C., BECAGLI C., BERTINI G., CANTIANI P., MARCHI M., PELLER F., SANSONE D., FABBIO G., 2020 - **The conversion into high forest of Turkey oak coppice stands: methods, silviculture and perspectives.** iForest- Biogeosciences and Forestry 13, 4: 309-317. <https://doi.org/10.3832/ifer3483-013>
- MC MAHON S.M., PARKER G.G., MILLER D.R., 2010 - **Evidence for a recent increase in forest growth.** Proceedings of the National Academy of Sciences USA 107 (8): 3611-3615. doi: 10.1073/pnas.0912376107
- MILLAR C.I., STEPHENSON N.L., STEPHENS S., 2007 - **Climate change and forest of the future: managing in the face of uncertainty.** Ecological Applications 17 (8):2145-2151.
- PELLER F., SANSONE D., FABBIO G., MORI P., 2015 - **Sporadic tree species management for preserving biodiversity and increasing economic stand value: the PproSpoT experience.** Coppice forests, past, present and future. IUFRO Conference, 9-11 April 2015 Brno, Czech Republic.
- PIETRAS J., STOJANOVI M., KNOTT R., POKORN R., 2016 - **Oak sprouts grow better than seedlings under drought stress.** iForest 9: 529-535. - doi: 10.3832/ifer1823-009
- PRA A., PETTENELLA D., 2016 - **Consumption of wood biomass for energy in Italy: a strategic role based on weak knowledge.** L'Italia Forestale e Montana 71 (1): 49-62.
- RENNENBERG H., LORETO F., POLLE A., BRILLI F., FARES S., BENIWAJ R.S., GESSLER A., 2006 - **Physiological responses of forest trees to heat and drought.** Plant Biology 8 (5): 556-571. doi: 10.1055/s-2006-924084
- SAXE H., CANNEL M.G.R., JOHNSEN O., RYAN M.G., VOURLITIS G., 2001- **Tree and forest functioning in response to global warming.** Review. New Phytologist 149: 369-400.
- SCARASCIA-MUGNOZZA G., OSWALD H., PIUSSI P., RADOGLU K. 2000 - **Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs.** Forest Ecology and Management 132: 97-109.
- SCHAUB M. 2009 - **Future monitoring and research needs for forest ecosystems in a changing environment: an introduction.** iForest-BIOGEOSCIENCES AND FORESTRY 2:54-55. www.sisef.it/forest/show.php?id=488
- SERENGLI Y., AUGUSTAITIS A., BYTNEROWICZ A., GRULKE N., KOZOVITZ A.R., MATYSSEK R., MULLER-STARCK G., SCHAUB M., WIESER G., COSKUN A.A., PAOLETTI E., 2011 - **Adaptation of forest ecosystems to air pollution and climate change: a global assessment on research priorities.** iForest 4: 44-48. - doi: 10.3832/ifer0566-004
- SEIDL R., LEXER M.J. 2013 - **Forest management under climatic and social uncertainty: trade-offs between reducing climate change impacts and fostering adaptive capacity.** Journal of Environmental Management 114:461-469.
- SPLICALOVA M. 2015 - **Aspects of oak (*Quercus* sp.) management in Spain and its application.** In: Proceedings of the IUFRO International Conference "Coppice forests: past, present and future". Brno (Czech Republic) 9-11 Apr. 2015. [online] URL: http://coppice.eu/conference_en.html
- SPITTLEHOUSE D.L., STEWART R.B., 2003 - **Adaptation to climate change in forest management.** BC Journal of Ecosystems and Management vol. 4:1:1-11. www.forrex.org/jem/2003/vol4/noi/art1.pdf
- UNRAU A., BECKER G., SPINELLI R., LAZDINA D., MAGAGNOTTI N., NICOLESCU V.N., BUCKLEY P., BARTLETT D., KOFMAN P.D., (Eds.) 2018 - **Eurocoppice - Coppice Forests in Europe.** Freiburg i. Br., Germany: Albert Ludwig University of Freiburg.

AUTORI

Giada Bertini, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: giada.bertini@crea.gov.it

Andrea Cutini, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: andrea.cutini@crea.gov.it

Gianfranco Fabbio, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno.

Tabella 4.3-2 - Criteri ed indicatori di gestione forestale sostenibile secondo Forest Europe (numerati) e nuovi indicatori testati dal progetto (non numerati). In verde sono i 13 indicatori non applicati nel progetto perchè non adatti alla scala di soprassuolo forestale. Per ciascun indicatore sono riportati: una breve descrizione, le variabili considerate e le unità di misura, il significato per gli indicatori nuovi e i riferimenti bibliografici.

Criterion	Indicator	Definition	Variables considered in this study (unit) - description	Note
C1: Forest Resources & Global Carbon Cycles	1.1 Forest area	Area of forest and other wooded land, classified by forest type and by availability for wood supply, and share of forest and other wooded land in total land area		
	1.2 Growing stock	Growing stock on forest and other wooded land, classified by forest type and by availability for wood supply	Growing stock ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) - descriptor of woody biomass per unit area and time (year) the stem volume of living trees	
	1.3 Age structure and/or diameter distribution	Age structure and/or diameter distribution of forest and other wooded land, classified by availability for wood supply	Diameter distribution (n) - this indicator concerns the age-class structure of forests and, for uneven-aged forests, their diameter distributions	Qualitative indicator, no further considered in data analysis
	1.4 Carbon stock	Carbon stock and carbon stock changes in forest biomass, forest soils and in harvested wood products	Carbon stock of woody biomass (Mg ha^{-1}) - carbon content allocated in the standing tree biomass (current biomass) in dry weight	
	Growth efficiency		Growth efficiency_Litter $[(\text{Mg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}) / (\text{Mg ha}^{-1} \text{yr}^{-1})]$ - ratio between the increment of epigeous woody biomass and average dry weight of foliar biomass produced within the same time. Growth efficiency_LAI $[(\text{Mg ha}^{-1} \text{yr}^{-1}) / (\text{m}^2/\text{m}^2)]$ - ratio between the increment of epigeous woody biomass and (i) average Leaf Area Index (LAI)	The indicator, being a ratio between the increment and foliar biomass which generated it, is able to go further productivity and to give back a picture of stand efficiency and so allowing comparison among different stands. (WARING R.H. 1983, CHIANUCCI and CUTINI 2013)
	Total above ground tree biomass		Total above ground tree biomass (Mg ha^{-1}) - it accounts for total tree biomass produced over the stand permanence time. It summarizes and makes comparable all the management options because it takes into account also the intermediate removals periodically harvested (thinnings) and deadwood	The quality of the proposed indicator lies in the concept of overall productivity, independently of any management option applied. The value of Total above ground tree biomass may be easily changed into carbon content and indicate the stock and substitution ability (intermediate removals) of fossil fuels. (CHIARELLO <i>et al.</i> 1989, BERTINI <i>et al.</i> 2016)
C2 : Forests Health & Vitality	2.1 Deposition and concentration of air pollutants	Deposition and concentration of air pollutants on forest and other wooded land		
	2.2 Soil condition	Chemical soil properties (pH, CEC, C/N, organic C, base saturation) on forest and other wooded land related to soil acidity and eutrophication, classified by main soil types	pH (a.u.)	
	2.3 Defoliation	Defoliation of one or more main tree species on forest and other wooded land in each of the defoliation classes	Defoliation (%) - reduced density of the tree crown (needle/leaf loss) in the assessable crown when compared both to absolute and relative (local reference tree) reference standards	EICHHORN <i>et al.</i> 2016, FERRETTI 1994, MUELLER and STIERLIN 1990
	2.4 Forest damage	Forest and other wooded land with damage, classified by primary damaging agent (abiotic, biotic and human induced) and by forest type	Causal agent or factors (n) - number of main categories of causal agents (i.e. game and grazing, insects, fungi, abiotic agents, direct action of man, fire, atmospheric pollutants, other factors, investigated but unidentified) detected	EICHHORN <i>et al.</i> 2016
	Chlorophyll content		ChlSPAD (a.u.) - estimate of the leaf chlorophyll content obtained by non-destructive measures carried out with a portable chlorophyll meter	The leaf chlorophyll content is an indicator of photosynthetic capacity and provides indirect information on tree vitality; can be altered by biotic and abiotic stress factors (JANGPROMMA <i>et al.</i> 2010)

Criterion	Indicator	Definition	Variables considered in this study (unit) - description	Note
C2 : Forests Health & Vitality	Leaf traits		Specific leaf area, $SLA=LA/DW$ ($mm^2 mg^{-1}$), where LA is the leaf area (mm^2) and DW is the dry weight (mg)	SLA is a proxy of plant growth (PÉREZ-HARGUINDEGUY <i>et al.</i> 2013)
	Chlorophyll a fluorescence		FV/FM (a.u.) - maximum quantum yield of primary photochemistry, which expresses the probability that an absorbed photon be trapped by the PSII reaction center	The analysis of the Chl a fluorescence transient and related indicators is useful in providing information on physiological aspects of photosynthesis and to assess plant stress conditions (KALAJI <i>et al.</i> 2016)
	Stand growth		Stand growth biomass ($Mg ha^{-1} y^{-1}$)	Tree size change over time (tree/stand growth), can be used as response variables to environmental stressors and as explanatory variables of other variables measured. It has been considered a proxy of tree vitality. (DOBBERTIN 2005)
C3: Productive Functions of Forests	3.1 Increment and fellings	Balance between net annual increment and annual fellings of wood on forest available for wood supply	Increment and fellings (%) - it refers to the balance between woody increment and periodical harvesting at the stand level, calculated from mensurational inventories (dbh and tree height) and allometric relationships. It is the percentage ratio volume of wood harvesting to volume increment of standing trees over the reference period reported on an annual basis	
	3.2 Roundwood	Quantity and market value of roundwood	Roundwood = firewood ($m^3 ha^{-1}$) - is the wood productivity in terms of volume or dry weight at stand level of firewood	
	3.3 Non-wood goods	Quantity and market value of non-wood goods from forest and other wooded land	Marketed mushrooms production ($€ ha^{-1}$) - assessed by three harvestings within the autumn months. The survey consists of the mushroom harvesting by people with expertise and/or mycologists which identify and count all the epigeous marketable bodies, in a good status, larger than 2 cm. Mushrooms are then dried up to constant weight. The local market survey is then undertaken	
	3.4 Services	Value of marketed services on forest and other wooded land		
C4: Forest Biological Diversity	4.1 Tree species composition	Area of forest and other wooded land, classified by number of tree species occurring	Woody species richness (n/plot)	
	4.2 Regeneration	Total forest area by stand origin and area of annual forest regeneration and expansion		
	4.3 Naturalness	Area of forest and other wooded land by class of naturalness		
	4.4 Introduced tree species	Area of forest and other wooded land dominated by introduced tree species	Introduced tree species richness (n)	
	4.5 Deadwood	Volume of standing deadwood and of lying deadwood on forest and other wooded land	Total deadwood: lying deadwood volume + standing deadwood volume ($m^3 ha^{-1}$)	
	4.6 Genetic resources	Area managed for conservation and utilisation of forest tree genetic resources (in situ and ex situ genetic conservation) and area managed for seed production		
	4.7 Forest fragmentation	Area of continuous forest and of patches of forest separated by non-forest land		
	4.8 Threatened forest species	Number of threatened forest species, classified according to IUCN Red List categories in relation to total number of forest species	Threatened forest species richness (n/plot)	

C4: Forest Biological Diversity	4.9 Protected forests	Area of forest and other wooded land protected to conserve biodiversity, landscapes and specific natural elements, according to MCPFE categories		
	4.10 Common forest bird species	Occurrence of common breeding bird species related to forest ecosystems	Forest breeding bird richness (n/plot)	Not further applied due the structure of sampling design
	Forest herbaceous species		Forest herbaceous species richness - number of herbaceous species strictly linked to forest habitats (n/plot)	They are strictly related to the age and the conservation status of the forest (ELEMAN 2004)
	Native herbaceous species		Herbaceous species richness - number of herbaceous species in the understorey (n/plot)	Herbaceous plant species in forests is higher than those of shrubs and woods and they are sensitive to environmental and dynamic changes (CAMPETELLA <i>et al.</i> 2004)
	Wood decaying fungi		Wood decaying fungi richness - number of wood decaying fungi (n/plot)	Fungi play an important role as indicators of the health of forest ecosystems (Hainaut Développement 2004).
	Epiphytic lichens		Epiphytic lichen species richness - number of Epiphytic lichen species (n/plot)	Epiphytic lichens have been widely used as indicators of forest continuity especially with respect to impacts determined by silvicultural practices (NASCIMBENE <i>et al.</i> 2013, BRUNIALTI <i>et al.</i> 2020) Simplified monitoring method: only foliose and fruticose species considered (BRUNIALTI <i>et al.</i> 2020)
	Edible mushrooms		Edible mushrooms species richness (n/plot)	
C5 Protective Function (Soil & water)	5.1 Protective forests - soil, water and other ecosystem functions - infrastructure and managed natural resources	Area of forest and other wooded land designated to prevent soil erosion, preserve water resources, maintain other protective functions, protect infrastructure and managed natural resources against natural hazards		
	Bryophyte cover		Bryophyte cover (0;1) - estimates bryophytes cover based on presence (1)/absence (0) observations of the litter layer	CHIANUCCI <i>et al.</i> 2016a
	Ground litter depth		Ground litter depth (cm) - estimates bryophytes cover based on the depth (cm) of the litter layer	CHIANUCCI <i>et al.</i> 2016a
	Flood retention		Flood retention (0.1-1) - Indicator based on the Flood retention Index by Kennessey (1930), modified to downscale its applicability at the stand level	CHIANUCCI <i>et al.</i> 2016a
	Overstorey cover		Overstorey cover (0;1) - the average proportion of ground surface covered by the vertical projection of tree crowns and expressed as relative value (0: no cover; 1: full overstorey cover = 100%) estimated using a restricted digital cover photography and a nearly-zenith view angle method; it can be easily obtained from field-based optical instruments like canopy photography	CHIANUCCI <i>et al.</i> 2016a
	Understorey cover		Understorey cover (0;1) - the average proportion of ground surface covered by the vertical projection of understorey and it is expressed as relative value (0: no cover; 1: full overstorey cover = 100%). The determination of undestorey is generally more complex than overstorey; the indicator can easily be obtained from field-based optical instruments like downward-looking digital photography	CHIANUCCI <i>et al.</i> 2014b

Criterion	Indicator	Definition	Variables considered in this study (unit) - description	Note
C6: Socioeconomic Functions	6.1 Forest holdings	Number of forest holdings, classified by ownership categories and size classes		
	6.2 Contribution of forest sector to Gross Domestic Product	Contribution of forestry and manufacturing of wood and paper products to gross domestic product	Forest contribution to GDP (%) - percentage of the contribution of the forest sector in terms of added value compared to the added value of agriculture of Tuscany	
	6.3 Net revenue	Net revenue of forest enterprises	Net revenue (€ ha ⁻¹ year ⁻¹) - based on stumpage value, also considering discount rate and turnover of different treatments	
	6.4 Expenditures for services	Total public and private investments in forests and forestry		
	6.5 Forest sector workforce	Number of persons employed and labour input in the forest sector, classified by gender and age group, education and job characteristics	Workforce (Specialization index). This indicator is based on the ratio between forestry workers and agricultural workers at the provincial and regional level	
	6.6 Occupational safety and health	Frequency of occupational accidents and occupational diseases in forestry		
	6.7 Wood consumption	Consumption per head of wood and products derived from wood		
	6.8 Trade in wood	Imports and exports of wood and products derived from wood	Wood market (m ³ year ⁻¹). This indicator measures the contribution in terms of forest utilization at the level of the single district defined within the project. Partially measures timber trade in terms of quantity and stumpage value	
	6.9 Energy from wood resources	Share of wood energy in total primary energy supply, classified by origin of wood	Energy (MW ha ⁻¹ year ⁻¹) - assesses the renewable energy that can be obtained from the residues of forest utilization. More specifically, it refers to the thermal hourly megawatts produced by the forest residues available from coppice forest exploitation. The wood residues (BERNETTI <i>et al.</i> 2009) obtained by forest utilization is multiplied by the specific calorific value	
	6.10 Accessibility for recreation	The use of forests and other wooded land for recreation in terms of right of access, provision of facilities and intensity of use	Recreation (€ year ⁻¹) - calculated through the contingent valuation method (CVM) which aims to analyze consumers' choice regarding environmental goods. Through the use of questionnaires and interviews, willingness to pay to maintain a specific management option has been calculated	

BIBLIOGRAFIA TABELLA 4.3-2

BERTINI G., CHIANUCCI F., CUTINI A., PIOVOSI M., MARCHINO L., FABBIO G., 2016 - **Misura dell'accrescimento, della biomassa arborea epigea complessiva, dell'efficienza di accrescimento e della mortalità. Guida per studi in campo.** Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS. Azione B.1 26, p.

BRUNIALTI G., FRATI L., CALDERISI M., GIORGOLO F., BAGELLA S., BERTINI G., FRATINI R., GOTTARDINI E., CUTINI A., 2020 - **Epiphytic lichen diversity and sustainable forest management criteria and indicators: A multivariate and modelling approach in coppice forests of Italy.** *Ecol. Ind.* 115, 106358.

CAMPETELLA G., CANULLO R., BARTHA S., 2004 - **Coenostate descriptors and spatial dependence in vegetation: Derived variables in monitoring forest dynamics and assembly rules.** *Commun. Ecol.* 5, 105-114.

CHIANUCCI F., BERTINI G., PIOVOSI M., MARCHINO L., FABBIO G., CUTINI A., LANDI S., 2016a - **Campionamento per la stima della copertura del piano di vegetazione arboreo superiore, inferiore, arbustivo e delle briofite, dello spessore della lettiera e della regimazione idrica.** Documento del progetto LIFE FutureForCoppiceS, pp. 19.

CHIANUCCI F., CUTINI A., CORONA P., PULETTI N., 2014a - **Estimation of leaf area index in understory deciduous trees using digital photography.** *Agric. For. Meteorol.* 198, 259-264.

CHIANUCCI F., CUTINI A., 2013 - **Estimation of canopy properties in deciduous forests with digital hemispherical and cover photography.** *Agric. For. Meteorol.* 168 (2013), 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.002>

CHIARELLO N.R., MOONEY H.A., WILLIAMS K., 1989 - **Growth, carbon allocation and cost of plant tissue.** In: PEARCY R.W. *et al.* (Eds.), *Plant physiological ecology*, Chapman & Hall, London, pp. 327-365.

DEVELOPPEMENT H., 2004 - **Dynamique de dégradation des arbres par des champignons lignivores.** *Guidance de l'environnement-Cellule technique*, Mons (Belgium).

DOBBERTIN M., 2005 - **Tree growth as indicator of tree vitality and of tree reaction to environmental stress: A review.** *Eur. J. Forest Res.* 124 (4), 319-333.

EICHORN J., ROSKAMS P., POTOCIC N., TIMMERMANN V., FERRETTI M., MUES V., SZEPESI A., DURRANT D., SELETKOVIC I., SCHROCK H.W., NEVALAINEN S., BUSSOTTI F., GARCIA P., WULFF S., 2016 - **Part IV: Visual Assessment of Crown Condition and Damaging Agents**. P. 54: in Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany.

ELEMANS M., 2004 - **Light, nutrients and the growth of herbaceous forest species**. *Acta Oecol.* 26 (3), 197-202.

FERRETTI M., 1994 - **Mediterranean Forest Trees. A Guide for Crown Assessment**. CEC-UN/ ECE, Brussels/Geneva

JANGPROMMA N., SONGSRI P., THAMMASIRIRAK S., JAISIL P., 2010 - **Rapid assessment of chlorophyll content in sugarcane using a SPAD chlorophyll meter across different water stress conditions**. *Asian J. Plant Sci.* 9 (6), 368-374.

KALAJI H.M., JAJOO A., OUKARROUM A., BRESTIC M., ŽIVČAK M., SAMBORSKA I.A., CETNER M.D., ŁUKASIK I., GOLTSEV V., LADLE R.J., 2016 - **Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions**. *Acta Physiol. Plant* 38, 102. <https://doi.org/10.1007/s11738-016-2113-y>

MUELLER E., STIERLIN H.R., 1990 - **Sanasilva**. Tree crown photos, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Birmensdorf, pp. 129.

NASCIMBENE J., THOR G., NIMIS P.L., 2013 - **Effects of forest management on epiphytic lichens in temperate deciduous forests of Europe - A review**. *For. Ecol. Manage.* 298, 27-38.

PEREZ-HARGUINDEGUY N., DIAZ S., GARNIER E., LAVOREL S., POORTER H., JAU-REGUIBERRY P., BRET-HARTE M.S., CORNWELL W.K., CRAINE J.M., GURVICH D.E., URCELAY C., VENEKLAAS E.J., REICH P.B., POORTER L., WRIGHT I.J., RAY P., ENRICO L., PAUSAS J.G., DE VOS A. C., BUCHMANN N., FUNES G., QUÉTIÉ F., HODGSON J.G., THOMPSON K., MORGAN H.D., TER STEEGE H., VAN DER HEIJDE M.G.A., SACK L., BLONDER B., POSCHLOD P., VAIERETTI M.V., CONTI G., STAVER A.C., AQUINO S., CORNELISSEN J.H.C., 2013 - **New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide**. *Aust. J. Botany* 61(3), 167-234. <https://doi.org/10.1071/BT12225>

WARING R.H., 1983 - **Estimating forest growth and efficiency in relation to canopy leaf area**. *Adv. Ecol. Res.* 13, 327-354.

4.3 | Abstract

Coppices and climate change

Coppice forests are a significant part of semi-natural forests in Europe and, in spite of the reduction occurred within the original area, they make more than 20 million hectares.

Coppice is a traditional forest management system exploiting the ability of broadleaved tree species to regenerate new shoots from the stool after cutting (coppicing). It is usually characterized by short rotations, ranging from 15 to 20 years up to 50-60 years, depending on tree species and site conditions. Coppice has imprinted the broadleaved forest landscape across Europe since the establishment of the early human settlements. Nowadays, former coppice areas developed into a composite panorama, with stands still managed under the coppice regime (TC) but often on longer rotations, stored coppice developing without any practice of silviculture (NE) and coppice stands under conversion to high forest by periodical thinning of the standing crop (CO). This background is nowadays changing again, as a consequence of global drivers and of the general awareness that an increased use of renewable energy sources is necessary. Several ecological and economical features meet the forthcoming role of this system under the new scenario: the short rotation periods as compared to high forest, the resprouting ability of the agamic system, the prompt and high carbon sequestration rates after cutting, the higher ecological tolerance to drought because of the pre-formed root system, the flexibility and reversibility of the system, the variability of habitats and ecosystem services, from the initial to the late stand cycle.

The above-mentioned features make **coppices potentially helpful to counteract the risk associated with climate change** (unpredictability, rain-

fall reduction, higher temperature, prolonged droughts, water stress, extreme events, fire risk). Despite these characteristics, coppice forests received little attention in the Sustainable Forest Management (SFM) assessments and scenarios. The set of SFM Criteria and Indicators (Forest Europe) and the relevant guidelines have been mainly designed to favor national reporting at the European level and - as such - are inherently more relevant to high forests.

Aims of Life project FutureForCoppiceS are to evaluate:

- whether the different coppice management options actually result in different responses of SFM Indicators
- to which degree the same Indicators are actually applicable at the stand level. We considered three European Forest Types (EFTs) and the three main management options (coppice system, natural evolution, conversion into high forest) as the full range of choices adopted for the original coppice forests.

We applied a large set of 'consolidated' SFM Indicators (FOREST EUROPE, 2020), integrated by sixteen novel Indicators intended to be functionally oriented, well-tailored to agamic forest features and/or applicable at the stand level.

Results confirmed that **several consolidated Indicators related to resources status, health, and socio-economic functions were highly appropriate for evaluating the sustainability of coppice** at the stand level. In addition, some novel Indicators related to resources status, health (Stand growth) and protective functions proved to be highly appropriate and able to support the information obtained by the consolidated Indicators.

4.4

Faggio e incendi: dinamiche ecologiche e soluzioni gestionali per una ricostituzione più prossima alla natura

Davide Ascoli - DISAFA, Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino

Marco Conedera - WSL, Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio

Eduardo Antenucci - DiBT, Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise

Introduzione

I cambiamenti climatici in corso stanno determinando un aumento della frequenza di eventi meteorologici estremi; fra questi, ondate di calore in concomitanza con siccità prolungate rendono possibile la propagazione di grandi incendi, anche in sistemi forestali storicamente meno interessati da questo disturbo. **Le faggete montane sono un esempio di foreste in cui il regime di incendio naturale, caratterizzato da un tempo di ritorno medio lungo, sta cambiando verso una maggiore frequenza e severità del fuoco** a causa di inneschi di origine antropica o naturale in concomitanza di estremi climatici (MARINGER *et al.* 2016a). Esempi di questo tipo sono: l'incendio di Valdieri (CN) durante l'ondata di calore dell'agosto del 2003 (1.076 ha), o l'incendio in Val di Susa (TO) del 2017 (3.974 ha), in cui il 30% della superficie bruciata riguarda faggete montane. Inoltre, un quinto della superficie dell'insieme degli incendi che si sono verificati nell'autunno del 2017 in Piemonte ha interessato le faggete.

Gli scenari climatici prevedono un aumento di siccità entro la fine dell'attuale secolo (SCHÄR *et al.* 2004). Tali previsioni fanno nascere interrogativi su resilienza, funzionalità ecologica e capacità di protezione diretta delle faggete percorse da incendi (ALLGAIER LEUCH *et al.* 2017, ASCOLI *et al.* 2013, MARINGER *et al.* 2016b). In tale contesto, **è importante conoscere gli effetti degli incendi in faggeta su cui basare una gestione adattativa capace di aumentarne la resistenza e la resilienza.**

In particolare bisogna:

- approfondire i fattori che influiscono sulla resistenza degli individui di faggio e sulle dinamiche di mortalità e rinnovazione post-incendio nel medio periodo (3 - 40 anni);
- valutare le modalità degli interventi di gestione post-incendio utili ad accelerare la ricostituzione dei servizi ecosistemici (es. protezione diretta) delle faggete montane.

A tale scopo, una solida base di informazioni deriva dalle ricerche, condotte per lo più nell'area dell'arco alpino occidentale, relativamente agli incendi avvenuti in faggeta dal 1970 al 2022 (CONEDERA *et al.* 2023). In queste ricerche sono stati studiati il comportamento del fuoco (CONEDERA *et al.* 2023), la capacità di ricaccio del faggio (MORIS *et al.* 2022), la competizione con specie aliene (MARINGER *et al.* 2012), la possibilità di ricostituire le foreste percorse da incendio con soluzioni

prossime alla natura (ASCOLI *et al.* 2013). Inoltre, si è indagato anche sulla sincronizzazione tra la pasconia del faggio e il disturbo da incendio (ASCOLI *et al.* 2015) mettendo in luce come questo sia un processo chiave da comprendere per un'ottimale gestione post-incendio e che interagisce con la mortalità progressiva delle faggete e, dunque, con la capacità protettiva di queste foreste (MARINGER *et al.* 2016b).

Ecologia del fuoco del faggio

Gli incendi in faggeta si presentano di severità mista, con una alternanza di:

- **alta severità**, che produce una mortalità immediata o molto veloce del soprassuolo arboreo;
- **severità intermedia**, in cui si verifica un'apertura delle chiome graduale (con durata circa di 10 anni);
- **severità bassa**, in cui il processo di apertura della copertura delle chiome può durare anche 20 anni.

Dopo il passaggio di un incendio, quindi, si crea una struttura del bosco molto articolata con un forte gradiente di disponibilità di luce e di risorse, simile a quella che si può ottenere applicando sistemi selvicolturali come quelli dei tagli successivi perfezionati o dei tagli irregolari. La comprensione di tali dinamiche spazio-temporali di apertura della buche sono funzionali per una corretta gestione dei boschi di faggio danneggiati dagli incendi (MARINGER *et al.* 2020).

In coincidenza con impluvi in forte pendenza, il fronte di fiamma tende ad assumere un comportamento eruttivo che genera termiche ascensionali caratterizzate da temperature molto alte. Le porzioni di chioma raggiunte da queste temperature letali subiscono il disseccamento di tutti i tessuti legnosi e delle gemme (Foto 4.4-1). Quando le termiche raggiungono le cime degli alberi provocano il disseccamento totale degli individui colpiti e innescano un rapido processo di crollo della chioma e delle branche principali che tende a raggiungere il suo picco massimo entro il terzo anno post-incendio, dando così origine a condizioni di alta severità di incendio (CONEDERA *et al.* 2023).

Dove arrivano le fiamme il fuoco esercita un'azione diretta sulla corteccia, causando delle ferite aperte sugli individui arborei (Foto 4.4-2). La fase di cicatrizzazione delle ferite, attraverso la produzione di tessuto sano, avviene successivamente (SCHWEINGRUBER 2001) e può durare fino a diversi anni in funzione della vitalità dell'albero ed estensione della cicatrice (DUJESIEFKE



Foto 4.4-1 - Impatto del passaggio del fuoco sulla faggeta. In primo piano le ferite aperte dovute all'azione della fiamma sulla base del tronco e in secondo piano la mancata fogliazione nelle parti basse della chioma raggiunte dalle temperature letali della termica ascensionale.



Foto 4.4-2 - Fusto di faggio sopravvissuto a due incendi in cui si nota una doppia cicatrice. La prima, quasi chiusa risale al 2003, la seconda al 2017, ovvero 14 stagioni vegetative successive al primo incendio.

BOX 4.4-1

L'intensità e la severità del fuoco (tratto dal lavoro di MARINGER *et al.* del 2020)

L'intensità lineare del fronte di fiamma (misurata in kW m^{-1}) dipende dalla qualità (composizione, struttura, e umidità) e quantità della biomassa disponibile. Le condizioni meteorologiche locali come il vento possono interagire con la geomorfologia del terreno e condizionare il processo di combustione e l'intensità del fronte di fiamma. La severità del fuoco definisce invece la gravità dell'impatto e delle alterazioni causate dall'incendio all'ecosistema in termini di riduzione della biomassa, copertura e composizione della vegetazione, struttura e chimica del suolo ecc. Nelle faggete, la severità di un incendio può variare anche localmente in funzione della morfologia del terreno e della struttura del popolamento. Per la valutazione della severità si deve procedere a una delimitazione visiva (in campo o attraverso immagini aeree-satellitari) del differente impatto del fuoco all'interno dell'area bruciata. La valutazione in campo può essere fatta nei primi tre anni dall'evento e si basa inizialmente sulla stima delle porzioni di chioma essiccata dalla termica ascensionale (CONEDERA *et al.* 2023) e in seguito sulla valutazione dei progressivi crolli delle branche, e infine sulla misura dell'area basimetrica residua degli alberi ancora in vita (rapporto tra area basimetrica degli alberi vivi e area basimetrica totale prima dell'incendio). La severità del fuoco è bassa se le perdite a livello di chioma sono minime (copertura delle chiome vive superiore a 85%) e l'area basimetrica residua è almeno 80% di quella iniziale (di regola una situazione stabile anche per 20 anni dopo l'evento). La severità del fuoco viene valutata come media quando le chiome già al terzo anno possono accusare perdite dall'80% al 50% e l'area basimetrica degli individui ancora vivi si fissa tra il 60% e il 90% di quella iniziale. Le perdite in questa categoria di severità sono molto variabili ma tendono ad aumentare con il tempo a causa della mortalità differita, arrivando a delle aree basimetriche residue che dall'80% possono scendere anche fino al 45%. Le superfici con fuoco di alta severità sono caratterizzate da un immediato crollo delle chiome degli alberi scottati. Generalmente, entro i primi 3 anni dall'incendio l'area basimetrica del popolamento può ridursi anche più dell'80% rispetto ai valori iniziali.

et al. 2005). Durante questo intervallo di tempo vi è una finestra di opportunità per l'infezione da parte di diversi funghi, in funzione anche delle condizioni pedoclimatiche della stazione (MARINGER et al. 2016). **L'azione delle specie fungine è fondamentale nella dinamica post-incendio, perché essi contribuiscono all'apertura della copertura forestale** attraverso il fenomeno dello schianto degli individui arborei e la successiva creazione di buche che subiranno nel tempo un'espansione. L'incendio crea condizioni molto favorevoli all'affermazione della rinnovazione in quanto:

- condiziona l'apertura graduale della copertura forestale;
- modifica il letto di germinazione (riducendo lo spessore ed il grado di copertura della lettiera e favorendo la mineralizzazione della sostanza organica del suolo);
- aumenta l'input di necromassa e dei residui carboniosi nel sistema.

A seguito del passaggio del fuoco si possono avere, quindi, condizioni favorevoli per la germinazione e l'insediamento del novellame, grazie anche all'aumento della luce diffusa determinata dalla riduzione della copertura da parte delle chiome. Nel caso in cui il passaggio di un incendio in faggeta avviene in maniera sincronizzata con un'annata di pasciona si avrà una rinnovazione di faggio affermata molto abbondante (anche 100.000 piantine ad ettaro) (MARINGER et al. 2016).

In occasione dell'evento di pasciona del faggio dell'estate del 2013, in Piemonte è stata studiata l'interazione fra la produzione di seme ed il disturbo da fuoco in faggeta (ASCOLI et al. 2015). Nell'ambito di tre aree di studio (incendi di Druogno e Giaglio - VB - nel marzo 2012, incendio di Caprie - TO - nel gennaio 2013) è stato predisposto un disegno sperimentale bilanciato di aree bruciate a diversa severità ed aree controllo non percorse dal fuoco. L'indagine ha evidenziato che:

- la produzione di semi al m² è inferiore nella sola area percorsa dall'incendio con severità alta;
- la germinazione massima dei semi si è registrata nelle aree con severità bassa e media;
- il tasso di germinazione (espresso in percentuale) e insediamento è più alto in maniera significativa nelle aree bruciate rispetto all'area non interessata da incendi (Grafico 4.4-1 a).

Le piantine che si sono insediate all'inizio dell'estate risultano essere **più abbondanti nelle aree con severità media-bassa e il tasso di affermazione nelle aree percorse da incendi alla fine della prima stagione vegetativa è sempre più alto rispetto all'area non bruciata** (Grafico 4.4-1 a). Tale fenomeno è giustificato dal fatto che nel post-incendio si ha una riduzione di tutti quei fattori che limitano la capacità di insediamento dei semenzali di faggio perché lo strato compatto di lettiera viene ridotto, o completamente eliminato, e patogeni e altre sostanze potenzialmente inibitrici della germinazione e della crescita vengono denaturate (MAZZOLENI et al. 2015). Alla fine della stagione vegetativa, i semenzali affermati (stimati come numero di piantine al metro quadro) risultano presenti soprattutto nell'area con severità intermedia (Grafico 4.4-1 b).

La sincronizzazione tra l'evento incendio e la pasciona del faggio crea dei presupposti ottimali alla rinnovazione. La tempistica risulta essere il fattore fondamentale in quanto fornisce un vantaggio competitivo

alle plantule di faggio, che si riescono ad insediare nello stesso momento dell'arrivo delle specie pioniere (es., pioppo, salice, betulla e maggiociondolo). Tale condizione risulta avere un effetto facilitatore per il faggio, che trovandosi al di sotto di questa coltre di individui arborei pionieri, trova le condizioni ottimali di luce diffusa, umidità e humus prodotto dalle stesse (ASCOLI et al. 2015). Come riportato in seguito, **la presenza di individui arborei di specie pioniere è un fattore importante per la gestione delle faggete post-incendio.**

Implicazioni gestionali

La gestione forestale delle faggete percorse dal fuoco deve essere modulata in base alla severità dell'incendio. Bisogna tener conto della tempistica dell'apertura delle chiome, delle annate di pasciona, dell'attacco da parte delle specie fungine sugli individui arborei danneggiati dal fuoco e dell'arrivo di specie competitori o facilitatrici (ASCOLI et al. 2013, MARINGER et al. 2020).

Nelle zone di alta severità, dove la mortalità registrata è immediata o molto veloce, la presenza delle pioniere

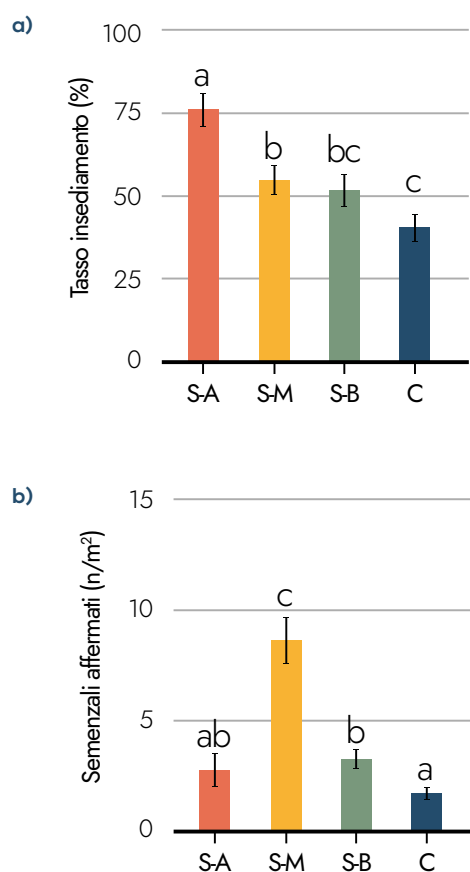


Grafico 4.4-1

a) Percentuale insediamento dei semenzali di faggio all'inizio della prima stagione vegetativa post-incendio in funzione della severità (S-A: alta; S-M: media; S-B: bassa) e nel controllo (C).

b) Numero di semenzali affermati alla fine della prima stagione vegetativa post-incendio in funzione della severità.

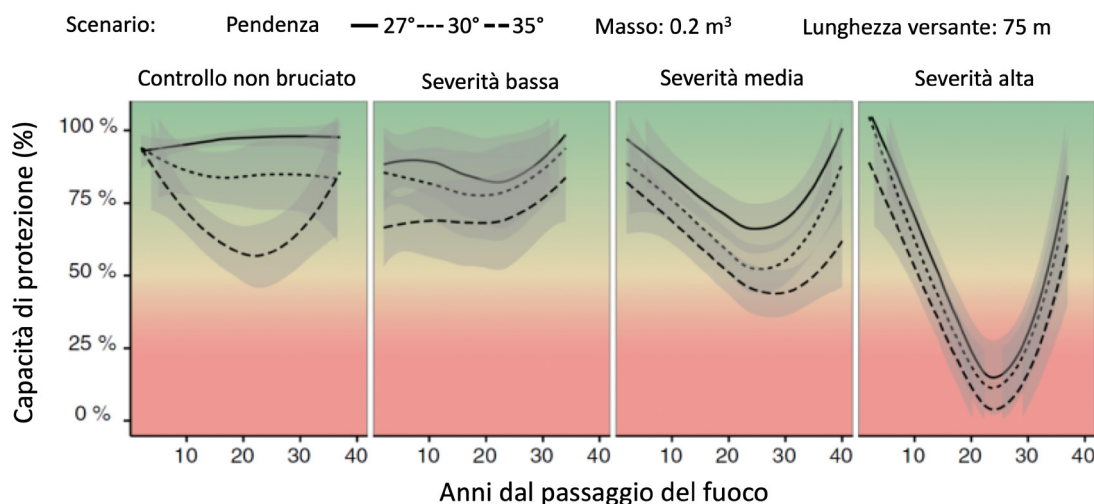


Grafico 4.4-2 - Capacità di protezione diretta delle faggete percorse da incendio (da MARINGER *et al.* 2016b).

diventa fondamentale. Quindi, **sono preferibili tutti gli interventi selvicolturali che favoriscono l'ingresso delle specie pioniere**. Un altro aspetto da tenere in considerazione nella gestione delle aree percorse da incendi con severità alta è l'accumulo della necromassa combustibile, in quanto in queste aree il crollo degli individui arborei danneggiati dal fuoco risulta essere molto rapido e questo va ad aumentare il carico di combustibile presente, generando a sua volta un aumento della predisposizione dell'area agli incendi. Come esempio delle ripercussioni dell'aumento dei combustibili nel post-incendio, vi è il caso dell'incendio di Val di Susa (TO) del 2017, che è stato generato in un'area precedentemente bruciata da un incendio con severità alta avvenuto nel 2003, quindi con il manifestarsi di un fenomeno di ripercorrenza del fuoco. L'incendio del 2017 nella stessa area ha quindi creato le condizioni per la colata detritica che si è verificata nell'anno successivo, producendo sfollati e ingenti danni. Dunque, il fenomeno di ripercorrenza in faggeta risulta essere un aspetto importante da tenere in considerazione, soprattutto in fase di analisi del rischio di incendio, in quanto **una faggeta già percorsa dal fuoco è da valutare ad alta priorità di protezione nell'analisi della vulnerabilità**.

Inoltre, le faggete che hanno subito un incendio ad alta severità tendono a perdere velocemente l'idoneità di proteggere dalla caduta massi, cioè la capacità di offrire il servizio di protezione diretta. Lo studio di MARINGER *et al.* (2016b) mostra, attraverso una simulazione con il software RockForNET, come nelle zone in cui si è verificato un incendio di alta severità si abbia **un intervallo temporale di circa 30 anni in cui la capacità di protezione diretta risulta essere ridotta più del 50%** rispetto ad un'area forestale non percorsa dal fuoco (Grafico 4.4-2).

Nelle faggete percorse da incendi con alta severità si ha una rapida perdita, negli anni post-incendio, della stabilità meccanica del soprassuolo con un aumento delle difficoltà di eseguire abbattimenti direzionati per garantire la sistemazione del materiale morto (ASCOU *et al.* 2013). **Si evince quindi l'importanza di intervenire entro il primo anno dall'incendio, per allestire la necromassa creato cataste e/o barriere, ad esempio**

a monte di una ceppaia. Inoltre, si è potuta osservare una sottostima, in fase di progettazione, dei tempi necessari agli interventi da effettuare in queste aree, in quanto non si teneva conto dell'aumento delle difficoltà operative a diversi anni dall'incendio. Il direccionamento della necromassa arborea prodotta da un incendio è utile al fine di creare micrositi di rinnovazione e garantire una migliore regimazione delle acque superficiali.

Nelle aree a severità intermedia non vi è una reale necessità di intervento in quanto le stesse dinamiche post-incendio portano ad una stabilità del soprassuolo. Tuttavia, si può considerare il passaggio del fuoco come un'opportunità per agire e raggiungere degli obiettivi gestionali prefissati andando ad accelerare tali dinamiche. **In queste aree è importante agire in annate di pasciona, preferibilmente nella prima annata di pasciona dopo l'incendio**. Una pratica utile risulta essere quella di **riceappare gli individui arborei pioniere** per aumentarne l'area di insidenza e di conseguenza l'effetto facilitatore sulla rinnovazione di faggio (MORIS *et al.* 2022). **Non bisogna effettuare il prelievo delle piante che deperiranno negli anni post-incendio**, in quanto risultano essere degli *input* fondamentali di necromassa nel sistema, creano dei micrositi di rinnovazione, e continuano la loro azione di produzione e di dispersione di semi anche per 10-20 anni dall'incendio.

È necessario **evitare tagli tardivi una volta che la rinnovazione di faggio e delle specie pioniere si è insediata**, altrimenti risulta essere un nuovo elemento di disturbo al sistema che non garantisce la copertura nel tempo. Le aree percorse da incendio con severità bassa non hanno alcuna necessità di intervento, però, come nel caso delle aree a severità intermedia, il fenomeno incendio può essere un'opportunità utile per raggiungere degli scopi selvicolturali. In queste aree, si avrà un letto di germinazione molto favorevole all'attecchimento dei semenzali perché privato in tutto o in parte della copertura della lettiera. Inoltre, la copertura forestale del suolo risulta essere ridotta e crea la condizione di luce diffusa ideale per l'affermazione del novellame.

Conclusioni

In sintesi si può affermare che:

- le faggete sono sistemi resilienti a regime di incendio a severità mista con tempi di ritorno superiori ai 60 anni. Una maggiore frequenza del disturbo da fuoco non consente agli individui rinnovati da seme di raggiungere la maturità sessuale a fronte di una capacità di ricaccio che va progressivamente esaurendosi (MORIS *et al.* 2022);
- **la dinamica naturale post-incendio può essere sostenuta e accelerata attraverso interventi selvicolturali mirati** che tengano conto della severità del fuoco, della tempistica delle annate di pasciona e delle funzioni prevalenti del bosco;
- bisogna **intervenire entro il primo anno nelle aree percorse da incendi ad alta severità** perché si registra una riduzione rapida della stabilità meccanica del soprassuolo e un aumento delle difficoltà di eseguire tagli direzionati e attuare le sistemazioni idrauliche;
- il disturbo da fuoco può essere **una opportunità per raggiungere degli obiettivi selvicolturali di naturalizzazione delle faggete** andando a diversificare struttura e composizione, così da garantire formazioni più resistenti e resilienti ai cambiamenti climatici.

BIBLIOGRAFIA

- ALLGAIER LEUCH B., STREIT K., BRANG P., 2017 - **Sylviculture proche de la nature sous le signe des changements climatiques**. Not prat 59:12 S.
- ASCOLI D., CASTAGNERI D., VALSECCHI C., CONEDERA M., BOVIO G., 2013 - **Post-fire restoration of beech stands in the Southern Alps by natural regeneration**. Ecol. Eng. 54: 210-217.
- ASCOLI D., VACCHIANO G., MARINGER J., BOVIO G., CONEDERA M., 2015 - **The synchronicity of masting and intermediate severity fire effects favors beech recruitment**. Forest Ecology and Management, 353: 126-135.
- CONEDERA M., PEZZATTI G. B., GUGLIEMMETTI A., MARINGER J., GEHRING E., KREBS P., 2023 - **Are high-severity burns in Alpine beech forests related to eruptive fire behavior?** Forestry. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpad036>

DUJESIEFKE D., SHORTLE W., MINOCHA R., 2005 - **Response of beech and oaks to wounds made at different times of year**. Eur. J. For. Res. 124: 113-117.

MARINGER J., WOHLGEMUTH T., NEFF C., PEZZATTI G.B., CONEDERA M., 2012 - **Post-fire spread of alien plant species in a mixed broad-leaved forest of the Insubric region**. Flora 207: 19-29.

MARINGER J., CONEDERA M., ASCOLI D., SCHMATZ D.R., WOHLGEMUTH T., 2016a - **Resilience of European beech forests (*Fagus sylvatica* L.) after fire in a global change context**. International Journal of Wildland Fire, 25(6): 699-710.

MARINGER J., ASCOLI D., DORREN L., BEBI P., CONEDERA M., 2016b - **Temporal trends in the protective capacity of burnt beech forests (*Fagus sylvatica* L.) against rockfall**. European Journal of Forest Research, 135(4): 657-673.

MARINGER J., ASCOLI D., GEHRING E., WOHLGEMUTH T., SCHWARZ M., CONEDERA M., 2020 - **Ecologia del fuoco delle faggete in ambiente montano. Servizi ecosistemici e misure selvicolturali post-incendio**. Not. Prat. 65. 12p.

MAZZOLENI S., BONANOMI G., INCERTI G., CHIUSANO M.L., TERMOLINO P., MINGO A., SENATORE M., GIANNINO F., CARTENI F., RIETKERK M., LANZOTTI V., 2015 - **Inhibitory and toxic effects of extracellular self-DNA in litter: a mechanism for negative plantsoil feedback?** New Phytol. 205: 1195-1210.

MORIS J. V., BERRETTI R., BONO A., SINO R., MINOTTA G., GARBARINO M., ASCOLI D., 2022 - **Resprouting in European beech confers resilience to high-frequency fire**. Forestry. doi.org/10.1093/forestry/cpac018

SCHWEINGRUBER F.H., 2001 - **Dendroökologische Holzanatomie. Anatomische Grundlagen der Dendrochronologie**. Bern, Haupt. 472 S.

SCHÄR C., VIDALE P.L., LÜTHI D., FREI C., HÄBERLI C., LINIGER M.A., APPENZELLER C., 2004 - **The role of increasing temperature variability in European summer heat-waves**. Letter to Nature 427: 332-336.

AUTORI

Davide Ascoli, DISAFA - Dipartimento di Scienze Agrarie, Forestali e Alimentari, Università degli Studi di Torino. E-mail: d.ascoli@unito.it

Marco Conedera, WSL - Istituto federale di ricerca per la foresta, la neve e il paesaggio. E-mail: marco.conedera@wsl.ch

Eduardo Antenucci, DiBT - Dipartimento di Bioscienze e Territorio, Università degli Studi del Molise. E-mail: e.antenucci2@studenti.unimol.it



4.4 | Abstract

Beech and fires: dynamics and management

The increase in temperature and the greater variability of climatic variables, caused by the current climate change, is increasing the frequency of extreme climatic events which can promote the big fires in beech forests. This condition leads to the need to know the characteristics and the behaviours of beech forests fires, giving guidance on how to adapt the forest management of beech forests to the disturbance of fire. The forest fires in beech stands that occurred from 1970 to 2017, mostly in the western Italian Alps, have been studied.

The ecological effects of fire in beech stands were investigated through the study of which factors affect the resistance and the dynamics of post-fire renewal of beech in medium terms (three to forty years); the possible managerial implications that foresee which consequences on the service of the direct protection, the management of post-fire beech forests and what forestry prescriptions close to nature may be useful to accelerate the process of reconstitution. The fires in beech forests are of mixed severity with cases of:

- high severity case, which produces immediate or very fast mortality;
- medium severity, with a gradual opening of the canopy that can last up to ten years;
- low severity, with a slow opening that can last up to twenty years.

The fire creates a very complex forest structure with a strong gradient of resources and light.

The effects of fire through the reduction of the litter, the opening of the canopy, the increase of necromass input in the system create a favourable condition for the seed's germination, the establishment of renewal and the affirmation of beech. **The synchronization between the fire and the masting year of beech creates optimal conditions for the renewal of beech.**

Synchronization is essential as it provides a competitive advantage to the beech seedlings that settle together with the pioneer species. This condition is particularly favourable for beech. The management of beech woods covered by the fire must be modulated according to the se-

verity of the fire that occurred. In areas with high severity fire, where there is immediate or very fast mortality, the presence of pioneer species becomes fundamental.

Therefore, all forestry interventions that favour the entry of pioneer species are preferable. In areas where a high-severity fire occurred, there is a greater accumulation of fuels that favours the occurrence of the phenomena of fire tracking and the increase in hydrogeological instability. In the beech woods that have suffered a high-severity fire there is a reduction of more than 50% of the direct protection capacity compared to an area not covered by fire, for a period of time about thirty years, and a rapid decrease of the mechanical stability of the stand.

In beech forests that have suffered a fire to medium severity, there is no real need for intervention as the same post-fire dynamics lead to the stability of the population.

However, the passage of fire can be considered as an opportunity to achieve fixed management objectives going to accelerate the post-fire dynamics. In these conditions, it is important to intervene in the first year of masting after the fire, to favour the pioneer species, not to take moribund plants and avoid late logging. The beech woods affected by low-severity fire no need for intervention but, as in the case of areas with intermediate severity, the fire phenomenon can be a useful opportunity to achieve forestry purposes. In these areas, there will be a germination bed favourable to the rooting of the seedlings because deprived of all or part of the cover by litter. In addition, the canopy is reduced and creates the ideal diffuse light conditions for the success of the seedlings. In conclusion, the beech woods are a resilient system with a mixed fire regime with a return time of more than fifty years. **The natural post-fire dynamics can be sustained and accelerated through targeted forestry interventions.** Action must be taken promptly in areas affected by high-severity fires. The fire can be an opportunity to achieve forestry objects of naturalization of beech forests.

4.5

Il modello previsionale per la pasciona del faggio implementato da AForClimate

Sebastian Marzini - EURAC Research, Institute for Alpine Environment, Bolzano

Giorgio Vacchiano - Dipartimento di Scienze Agrarie e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia. Università degli Studi di Milano

Ugo Chiavetta - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

La pasciona e la riproduzione del faggio in Europa

La pasciona è la produzione di grandi quantità di seme variabile negli anni e spazialmente sincrona. È una strategia adattativa adottata da molte specie ad impollinazione anemogama che influisce, direttamente e indirettamente, su gran parte delle dinamiche di un ecosistema forestale (DROBYSHEV *et al.* 2010, NUSSBAUMER *et al.* 2020). La pasciona è il risultato della selezione naturale e di profonde interazioni ecologiche (*predator satiation* e *pollination efficiency hypothesis*), ma anche di fattori ambientali che possono influenzare la fisiologia dei singoli individui (KELLY *et al.* 2001, PEARSE *et al.* 2016). Ciò nonostante, oggi rimane ancora difficile capire bene il ruolo delle risorse nelle dinamiche di pasciona, e di come queste vengano regolate dai fattori ambientali abiotici (DROBYSHEV *et al.* 2014). Le variabili meteorologiche, invece, sono state largamente studiate per molte specie vegetali di importanza continentale. In Europa, una delle specie più rappresentative e significative dal punto di vista forestale è il faggio (*Fagus sylvatica* L.), il quale è largamente presente in tutto il continente grazie alla sua forte competitività e all'ampia variabilità di condizioni climatiche ed edafiche nel quale si insedia (PIOVESAN e ADAMS 2001, NOCENTINI 2009).

Come accennato sopra, molti studi si sono concentrati sull'ecologia e **le dinamiche di pasciona delle faggete in Europa, che sembrano essere altamente correlate a dei segnali meteorologici specifici**. In generale, una grande produzione di seme avviene dopo un anno caratterizzato da un'estate secca e calda, preceduto a sua volta da un anno con un'estate più fresca e umida (PACKHAM *et al.* 2008, VACCHIANO *et al.* 2017b). Inoltre, molti studi hanno evidenziato un pattern di "autocorrelazione ritardata" tra eventi di pasciona, con un intervallo di ritorno che varia tra i 2 ed i 10 anni (KASPRZYK *et al.* 2014), anche se è stato osservato un incremento nella frequenza delle annate di pasciona dovuto all'effetto dei cambiamenti climatici (NUSSBAUMER *et al.* 2016). In generale, c'è una forte correlazione negativa con la temperatura dell'estate due anni precedente un evento di pasciona e una correlazione positiva con quella dell'anno precedente, suggerendo quindi una **maggior significatività della temperatura come parametro scatenante la fruttificazione** rispetto alla precipitazione. Infatti, è nota l'influenza della temperatura che innesca un segnale ormonale per le gemme che dovranno differenziarsi in apparati floreali. Tuttavia,

altri studi hanno notato che anche l'aridità può avere un ruolo chiave nell'innescare una pasciona (PIOVESAN e ADAMS 2021, PEARSE *et al.* 2016). Oltre a ciò, la pasciona dipende anche da eventi estremi nell'anno corrente, come gelate tardive in primavera, forti precipitazioni nel periodo di impollinazione, ed estati eccessivamente calde e secche, che danneggiano la fisiologia della pianta andando quindi a ridurre o contrastando completamente la produzione di seme (HILTON 2003, PACKHAM e HYTTBORN 2012). Le annate di pasciona, quindi, sono strettamente legate alle dinamiche di rigenerazione di un ecosistema forestale, ed è perciò molto importante tenerle in considerazione all'interno della pianificazione forestale (CUTINI *et al.* 2010, VACCHIANO *et al.* 2018).

In Europa, il faggio è una delle specie più importanti, con una distribuzione che va dai versanti montuosi dell'Appennino, nei limiti più meridionali del suo areale, fino a siti caratterizzati da altitudini meno elevate spostandosi verso nord, dove c'è una transizione più accentuata tra clima oceanico e continentale (OTTAVIANI *et al.* 2019, LEUSCHNER e ELLENBERG 2017).



Nelle aree con condizioni ambientali estreme, le faggete sono maggiormente vulnerabili agli effetti del riscaldamento globale, specialmente considerando scenari futuri di avanzamento del clima mediterraneo verso nord (ILLÉS e MÓRICZ 2022). Da lungo tempo, il faggio viene utilizzato per diversi scopi e oggi giorno rappresenta una delle specie principali all'interno delle reti di conservazione della biodiversità nell'Europa meridionale (MAESANO *et al.* 2014). Di conseguenza, riuscire a predire le annate di pasciona può essere molto importante sia per quanto riguarda la gestione ai fini produttivi che la conservazione della biodiversità. Infatti, tradizionalmente le fustaie di faggio gestite per fini produttivi sono sottoposte ad una forma di trattamento chiamata "tagli successivi" che prevede un periodo di "rinnovazione del bosco" che inizia con il taglio detto di "sementazione". **Il successo di questo taglio è tanto maggiore quanto più un evento di pasciona si verifica nello stesso anno del taglio.** Al contrario, piccoli interventi possono essere calibrati in periodi "sfavorevoli" per la pasciona al fine di ridurre la competizione del faggio a vantaggio di altre specie e quindi della diversità dendrologica. Inoltre, uno strumento di previsione di tali eventi può contribuire anche all'**ottimizzazione delle procedure amministrative in ambito gestionale**, in quanto è possibile preparare in anticipo i documenti necessari riducendo il rischio di rimandare ad annate successive gli interventi di rinnovazione per mancata disseminazione. Nell'ottica delle nuove politiche di imboschimento e rimboschimento, anche la **raccolta del seme per i vivai può essere programmata per tempo**, o al contrario rimandata, secondo le probabilità di una abbondante disseminazione prevista. Da questa necessità nasce foreMast.

foreMast: uno strumento previsionale per la pasciona

foreMast⁽¹⁾ è uno strumento di previsione delle annate di pasciona del faggio, sviluppato sotto forma di pacchetto R e di ShinyApp, nell'ambito delle attività del progetto Life AForClimate (CHIAVETTA e MARZINI 2021). La sua progettazione si basa su tre concetti principali, ovvero la flessibilità, l'*open source* e l'innovazione. L'idea di base è che il pacchetto possa essere adattato secondo le esigenze dei vari utenti o che possa essere modificato facilmente in caso di aggiornamenti. Inoltre, deve utilizzare dati a libero accesso per tutti producendo un risultato attendibile, riproducibile e capace di apportare un miglioramento sensibile all'interno della gestione forestale e della ricerca. Attualmente, il pacchetto è anche disponibile sotto forma di applicazione web, creata utilizzando sempre l'ambiente di sviluppo R, ma di più semplice utilizzo per utenti meno esperti.

L'obiettivo di foreMast è quindi di calcolare la probabilità di eventi di produzione di grandi quantità di seme per l'anno corrente in una determinata località, utilizzando solo dati meteorologici relativi a temperatura e precipitazione nei tre mesi estivi (giugno, luglio e agosto) dei due anni precedenti a quello d'interesse. Per fare ciò, le condizioni meteorologiche non sono prese individualmente ma vengono considerate all'interno del contesto climatico locale. Nella sostanza, **foreMast è composto da tre moduli: uno per l'ottenimento dei dati meteo, uno per la loro elaborazione e**

⁽¹⁾<https://github.com/uchiavetta/foreMast>
https://sebastianmarzini.shinyapps.io/test_pasciona/

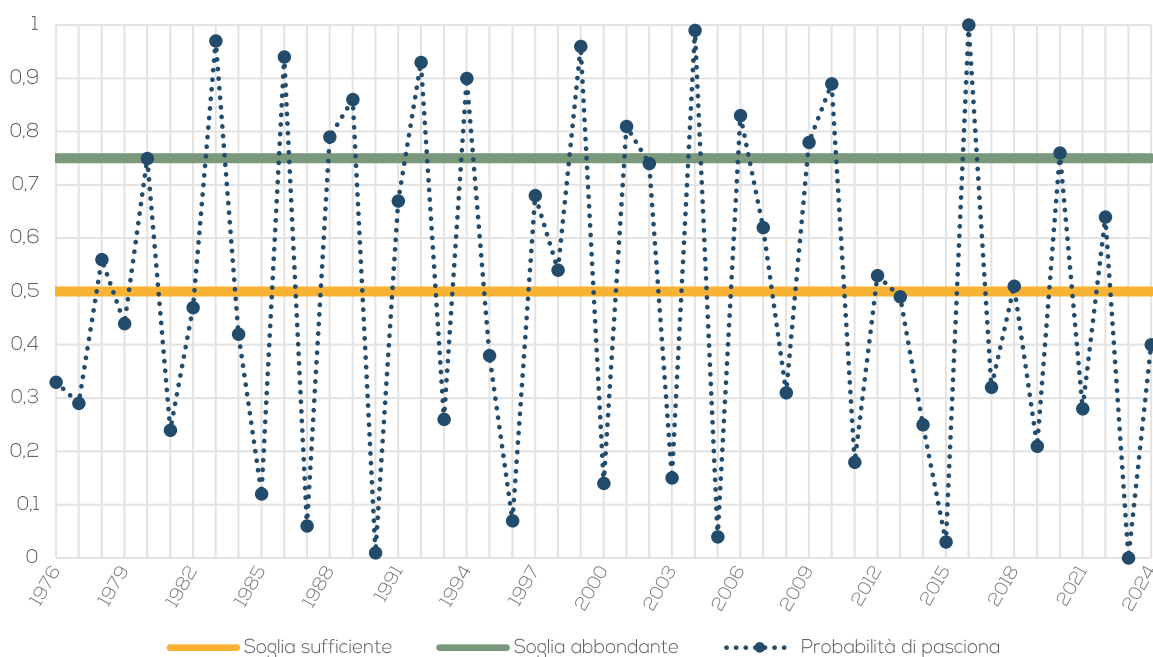


Grafico 4.5-1 – Esempio di rappresentazione grafica dei risultati del pacchetto foreMast; sull'asse x gli anni analizzati, sull'asse y la probabilità di avere grandi quantità di seme.

la produzione della probabilità di pasciona, e un altro per la visualizzazione grafica del risultato.

I valori di precipitazione e di temperatura vengono scaricati dal CDS (*Climate Data Service*) di Copernicus, il programma di osservazione terrestre dell'Unione Europea (MUÑOZ-SABATER *et al.* 2020). Tra i vari open-dataset disponibili, c'è quello di ERA-5 (*ERA5-Land monthly average data from 1981 to present*) che fornisce dati con una risoluzione spaziale di $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, circa 9 km, dal 1981 e con una risoluzione temporale mensile ma con un rilascio del dato ritardato di tre mesi rispetto alla data corrente. I dati meteorologici che necessita il pacchetto foreMast possono essere scaricati per una qualsiasi località usando questo servizio, o possono anche essere caricati alternativamente da stazioni meteo, se in possesso dell'utente. Una volta ottenuti i dati, il secondo modulo si occupa di elaborarli per calcolare la probabilità di produzione di seme, facendo perno su tre parametri principali: la precipitazione e la temperatura estiva dei due anni precedenti e un fattore di autocorrelazione negativa per anni di pasciona consecutivi. Per ogni anno viene calcolato un punteggio da 0 a 1 in base ai valori di temperatura e precipitazione e tenendo conto di come questi influenzino l'insacco di un evento di pasciona, in relazione ai loro pesi relativi. Non vengono però usati i valori assoluti, ma la classe percentile dei valori immessi (dal 1950 all'attualità se si usa il servizio CDS) in quanto questo approccio permette di avere un'analisi della variabilità dei parametri nel tempo relativa allo storico climatico locale. Così fatto, i punteggi ottenuti vengono mediati tra loro e alla fine viene associato il fattore negativo di autocorrelazione che riduce la probabilità di pasciona qualora ne fosse prevista una nell'anno precedente. Si ottiene così la probabilità di pasciona per l'anno corrente. Infine, il terzo modulo si occupa di rappresentare graficamente la probabilità di pasciona ottenuta per l'anno corrente e per l'intero periodo utilizzato nelle analisi (Grafico 4.5-1).

L'algoritmo di calcolo della pasciona e l'intero pacchetto foreMast sono stati testati utilizzando i dati del Database MASTREE (PIOVESAN e ADAMS 2001, ASCOLI *et al.* 2017), il quale riporta valori di produzione di seme di diverse specie europee registrati per diversi siti in Europa negli ultimi due secoli. Da questo Database, sono stati selezionati solo i siti relativi al faggio e per ognuno di essi è stato fatto girare il pacchetto, confrontando infine i valori dei dati a terra con quelli ottenuti da foreMast attraverso un'analisi statistica di correlazione tra ranghi (BEST e ROBERTS 1975). Per ogni simulazione, sono state testate anche diverse combinazioni di pesi dei parametri di precipitazione e temperatura. In generale, calcolando la *performance* media tra tutti i siti, l'algoritmo risulta avere una buona capacità predittiva per le annate di pasciona, specialmente quando la temperatura ha un peso tre volte la precipitazione ($\rho = 0.506$; $p.value < 0.000$). Questo conferma la tesi secondo la quale la temperatura è uno dei principali fattori scatenanti grandi produzioni di seme. La capacità di previsione incrementa ulteriormente ($\rho = 0.615$; $p.value < 0.000$) se dall'analisi vengono rimossi due plot di MASTREE che presentano problemi legati alle modalità di raccolta dei dati in campo, soprattutto riguardo alla registrazione di annate di scarsa produzione di semi quando questa

viene assimilata ad annate nulle. Nonostante la buona relazione a livello generale, per alcuni siti la relazione tra le due variabili è contraria, con la *performance* che aumenta quando la precipitazione presenta un peso maggiore della temperatura. Questo potrebbe essere collegato ai fattori caratterizzanti l'ambiente nel quale si trova la faggeta (fattori topografici e microclima) o alla regione climatica ed ai fattori limitanti ad essa associata. Di conseguenza, nell'utilizzazione del pacchetto foreMast, è possibile impostare i pesi delle variabili meteorologiche in tre modalità diverse:

- **standard**, nella quale viene utilizzato il rapporto mediamente più performante (3:1 per temperatura e precipitazione rispettivamente);
- **auto**, dove il rapporto viene stabilito in base alla configurazione più performante nel sito di MASTREE più vicino al sito dell'utente, supponendo quindi una somiglianza delle caratteristiche climatiche;
- **manuale**, nella quale i pesi possono essere impostati liberamente.

Purtroppo, il ritardo nella disponibilità dei dati meteorologici, ostacola l'inclusione di eventi avversi come gelate tardive, forti precipitazioni nel periodo di impollinazione o siccità che possono sensibilmente alterare la produzione di seme, quindi l'occorrenza di una pasciona. Perciò, all'interno dell'applicazione è stata aggiunta la possibilità di indicare esplicitamente se si sia verificato un tale evento, così da migliorare il risultato.

Implicazioni e applicazioni di foreMast

foreMast rappresenta quindi uno strumento utile ad ottenere, preventivamente, una idea sulle dinamiche di riproduzione del faggio all'interno del territorio non solo nazionale ma anche europeo. Il pacchetto, dal punto di vista informatico, è flessibile per implementazioni di algoritmi per la previsione della pasciona di altre specie. Tuttavia, l'algoritmo utilizzato da foreMast per il faggio non ha un potenziale alto di trasferibilità ad altre specie, in quanto i processi che regolano la pasciona di altre specie (es.: le querce) non sono generalizzabili e attualmente compresi come per il faggio. Limitatamente al faggio, dunque, la buona *performance* dell'algoritmo permette di avere risultati accurati e facilmente riproducibili utilizzando una semplice correlazione tra variabili meteorologiche. La semplicità strutturale lo rende modificabile in base alle esigenze locali o per sviluppare nuove opzioni, mentre la praticità ne permette l'utilizzo da parte di qualsiasi utente abbia una minima conoscenza informatica, andando così a semplificare eventuali procedimenti decisionali e amministrativi. Ciò nonostante, altri dataset climatici saranno da esplorare, optando per una risoluzione spaziale e temporale migliore, in modo da incrementare la *performance* dell'algoritmo e studiare come la produzione di seme è legata ai fattori meteorologici in base alla regione climatica o alla caratterizzazione dell'ambiente nel quale si trovano le faggete d'interesse. Inoltre, gli eventi di pasciona sono legati anche alle dinamiche di popolazione della fauna selvatica. Non è secondario, a questo proposito, neanche l'implicazione della pasciona sulle oscillazioni delle zoonosi (es.: il morbo di Lyme trasmesso dalle zec-

che) che risentono di un effetto a cascata innescato proprio da eventi di pascione (BREGNARD *et al.* 2021). Di conseguenza, foreMast acquista un valore aggiuntivo, supportando il monitoraggio della diversità animale e la relativa gestione, strettamente associata agli ecosistemi forestali. **La possibilità di prevedere eventi di pascione permette di pianificare e adattare le attività selvicolturali** in modo da ottenere boschi in grado di rispondere con efficacia agli effetti del cambiamento climatico, mantenendo la capacità di erogare servizi fondamentali per la società. Infine, questo pacchetto permette di **indagare altre influenze del cambiamento climatico sulla pascione attraverso un'analisi storica degli eventi simulati**. Infatti, possono essere condotte indagini a diverse scale territoriali per indagare se oltre alla frequenza delle pascione il cambiamento climatico rischia di impattare anche sulla maturazione dei frutti o sulle economie di scala dovute alla sincronia di questi eventi.

BIBLIOGRAFIA

- ASCOLI D., MARINGER J., HACKET-PAIN A., *et al.*, 2017 - **Two centuries of masting data for European beech and Norway spruce across the European continent**. *Ecology* 98:1473. <https://doi.org/10.1002/ecy.1785>
- BEST D.J., ROBERTS D.E., 1975 - **Algorithm AS 89: The Upper Tail Probabilities of Spearman's Rho**. *Applied Statistics* 24:377.
- BREGNARD C., RAIS O., VOORDOUW M.J., 2021 - **Masting by beech trees predicts the risk of Lyme disease**. *Parasites Vectors* 14, 168. <https://doi.org/10.1186/s13071-021-04646-0>
- CHIAVETTA U., MARZINI S., 2021 - **foreMast: an R package for predicting beech (*Fagus sylvatica* L.) masting events in European countries**. *Annals of Forest Science* 78, 93. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01109-5>
- CUTINI A., CHIANUCCI F., GIANNINI T., 2010 - **Effect of the silvicultural treatment on canopy properties, litter and seed production in beech coppices under conversion to high forest**. *Ann Silvicultural Res* 36:109-124. <https://doi.org/10.12899/asr-825>
- DROBYSHEV I., ÖVERGAARD R., SAYGIN I., *et al.*, 2010 - **Masting behaviour and dendrochronology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in southern Sweden**. *For Ecol Manage* 259:2160-2171.
- DROBYSHEV I., NIKLASSON M., MAZEROLLE M.J., BERGERON Y., 2014 - **Reconstruction of a 253-year long masting record of European beech reveals its association with large scale temperature variability and no long-term trend in masting frequencies**. *Agric Meteorol* 192-193:9-17.
- HILTON G.M., 2003 - **Variation in the masting of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in northern Europe over two centuries (1800-2001)**. *Forestry* 76:319-328
- ILLÉS G., MÓRICZ N., 2022 - **Climate envelope analyses suggests significant rearrangements in the distribution ranges of Central European tree species**. *Annals of Forest Science* 79, 35. <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01154-8>
- KASPRZYK I., ORTYL B., DULSKA-JEŻ A., 2014 - **Relationships among weather parameters, airborne pollen and seed crops of *Fagus* and *Quercus* in Poland**. *Agric for Meteorol* 197:111-122.
- KELLY D., HART D.E., ALLEN R.B., 2001 - **Evaluating the wind pollination benefits of mast seeding**. *Ecology* 82:117-126.
- LARSEN J.B., ANGELSTAM P., BAUHUS J., CARVALHO J.F., DIACI J., DOBROWOLSKA D., GAZDA A., GUSTAFSSON L., KRUMM F., KNOKE T., KONCZAL A., KUULUVAINEN T., MASON B., MOTTA R., PÖTZELBERGER E., RIGLING A., SCHUCK A., 2022 - **Closer-to-Nature Forest Management, From Science to Policy**. European Forest Institute. <https://doi.org/10.36333/fsi2>
- LEUSCHNER C., ELLENBERG H., 2017 - **Beech and mixed beech forests**. *Ecol Central Eur For* 351-441.
- LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M., 2010 - **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems**. *Forest Ecology and Management* 259, 698-709. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023>
- MAESANO M., LASSERRE B., MARCHETTI M., 2014 - **Increasing wood mobilization through sustainable forest management in protected areas of Italy**. *Annals of Silvicultural Research* 38:13-21. <https://doi.org/10.12899/asr-754>
- MASSON-DELMOTTE V., ZHAI P., PIRANI A., CONNORS S.L., PÉAN C., BERGER S., CAUD N., CHEN Y., GOLDFARB L., GOMIS M.I., HUANG M., LEITZEL K., LONNOY E., MATTHEWS J.B.R., MAYCOCK T.K., WATERFIELD T., YELEKÇI O., YU R., ZHOU B., (eds.), 2021 - **IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896.
- MUÑOZ-SABATER J., DUTRA E., AGUSTÍ-PANAREDA A., *et al.*, 2020 - **ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications**. doi: 10.5194/essd-2021-82.
- NOCENTINI S., 2009 - **Structure and management of beech (*Fagus sylvatica* L.) forests in Italy**. *iForest - Biogeosciences For* 2:105-113.
- NUSSBAUMER A., WALDNER P., ETZOLD S., *et al.*, 2016 - **Patterns of mast fruiting of common beech, sessile and common oak, Norway spruce and Scots pine in Central and Northern Europe**. *For Ecol Manage* 363:237-251. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.033>
- NUSSBAUMER A., MEUSBURGER K., SCHMITT M., *et al.*, 2020 - **Extreme summer heat and drought lead to early fruit abortion in European beech**. *Sci Rep* 10:5334. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62073-0>
- OTTAVIANI G., GÖTZENBERGER L., BACARO G., *et al.*, 2019 - **A multifaceted approach for beech forest conservation: environmental drivers of understory plant diversity**. *Flora* 256:85-91.
- PEARSE I.S., KOENIG W.D., KELLY D., 2016 - **Mechanisms of mast seeding: resources, weather, cues, and selection**. *New Phytol* 212:546-562. <https://doi.org/10.1111/nph.14114>
- PACKHAM J.R., HYTTBORN H., 2012 - **Swedish beech forests and the storm gap theory**. *Arboricult J* 34:151-159.
- PACKHAM J.R., THOMAS P.A., LAGEARD J.G.A., HILTON G.M., 2008 - **THE English beech masting survey 1980-2007: variation in the fruiting of the common beech (*Fagus sylvatica* L.) and its effects on woodland ecosystems**. *Arboricult J* 31:189-214.
- PIOVESAN G., ADAMS J.M., 2001 - **Masting behaviour in beech: linking reproduction and climatic variation**. *Can J Bot* 79:1039-1047.
- VACCHIANO G., HACKET-PAIN A., TURCO M., *et al.*, 2017b - **Spatial patterns and broad-scale weather cues of beech mast seeding in Europe**. *New Phytol* 215:595-608. <https://doi.org/10.1111/nph.14600>
- VACCHIANO G., ASCOLI D., BERZAGHI F., *et al.*, 2018 - **Reproducing reproduction: how to simulate mast seeding in forest models**. *Ecol Modell* 376:40-53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.03.004>

AUTORI

Sebastian Marzini, EURAC Research, Institute for Alpine Environment, Bolzano.
E-mail: sebastian.marzini@eurac.edu

Giorgio Vacchiano, Dipartimento di Scienze Agricole e Ambientali - Produzione, Territorio, Agroenergia. Università degli Studi di Milano.
E-mail: giorgio.vacchiano@unimi.it

Ugo Chiavetta, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: ugo.chiavetta@crea.gov.it

4.5 | Abstract

The prediction model for beech masting implemented by AForClimate project

Masting is a key strategy adopted by many broadleaved species, consisting in the production of large quantities of seed, within or between stands, at the same time. In beech forests, masting events have a recurrence interval between two and ten years, and their frequency is increasing due to climate changes. Large seed production depends on a variety of factors, but numerous studies have shown that they mostly depend on weather cues, particularly regarding the summer conditions in the two years before to a masting event.

Specifically, it is associated with temperature and precipitation and usually occurs after a year with high summer temperatures and low precipitations, preceded by a year with low summer temperatures and high precipitations. **Temperature has been observed to be a more consistent variable in triggering masting events**, more than precipitations even if drought periods might hamper such dynamics. All these factors were implemented in a tool capable to predict the probability of production of large seed amount for a given year, named foreMast¹⁾. It has been delivered both as an R package and a web app, that can be used from different users. It is composed by three modules, everyone dealing with a different task.

The prediction of a masting year is calculated by using temperatures and precipitation data only.

They are obtained from the online data service of Copernicus (CDS), using the ERA-5 dataset, which provide temperature and precipitation data with the highest temporal and spatial resolution currently available among all the open-access data libraries. The first module of the algorithm allows to request the data remotely or to load them as a file, for a defined area. The second module arranges the weather variables and elaborate them to calculate the masting probability in two main steps: first, the values of summer precipitations and temperatures of the two

years preceding the one of interest are transformed in percent rank values and averaged, assigning to temperature an higher weight than precipitation. Second, a negative autocorrelation factor is associated to the previous score, to reduce the probability of large seed production for two consecutive years. Finally, the probability of having a masting event for the current year is obtained and plotted as a graphical representation by the third module of the package.

The performance of the algorithm has been tested against field data coming from the MASTREE dataset, which includes observations about the seed production of beech across different plots in Europe, trying also various combination of weights regarding both temperature and precipitation. Overall, the results showed a good accuracy whit temperature weighting three times more than precipitation ($\rho = 0.506$; $p\text{-value} < 0.000$), highlighting temperatures as the main triggering factor of masting events. Even though, when analyzing single plot accuracy, some sites showed similar values when the precipitation weighted more than temperature.

This may be linked to the environment topography, the microclimate conditions or the climate region. Therefore, foreMast includes two ways of setting the weights for the weather cues and allows customization. Nevertheless, weather data are available with a lag of three months, which does not allow to include adverse events such as late frosts or summer drought that may reduce or block the production of seeds. To overcome this issue, using the package it is possible to manually signal the happening of such events, to include them in the masting calculation. To conclude, **foreMast is an innovative and useful tool to obtain the probability of large seed production of beech forest for the current year.** It is easy to use and to modify in relation to the stakeholder needs. Moreover, it can be implemented in the management of beech forests, regarding both conservation and biomass production, improving the planning of forest operations and decision making, for more adapted and resilient beech forests under future changing conditions.

¹⁾<https://github.com/uchiavetta/foreMast>
https://sebastianmarzini.shinyapps.io/test_pasciona/



4.6

Cambiamenti climatici e fenologia

Roberta Proietti - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Maria Cristina Monte verdi - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Ugo Chiavetta - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Introduzione

La fenologia vegetale studia le manifestazioni stagionali ricorrenti nel ciclo vitale delle piante (dall'apertura delle gemme alla caduta delle foglie, dalla fioritura alla maturazione dei frutti) in relazione ai fattori climatici e ambientali.

La fenologia è un carattere adattivo, con elevata plasticità negli alberi (CUNY *et al.* 2015, ROSSI *et al.* 2016), in grado di modellare sia l'inizio che la durata della stagione di crescita (CHUINE *et al.* 2013), la *fitness* della popolazione e l'area di distribuzione delle specie attraverso l'adattamento del ciclo di vita stagionale alle condizioni ambientali locali (CHUINE *et al.* 2013). I caratteri fenologici sono, infatti, di tipo quantitativo (ANDERSON *et al.* 2014, GHELARDINI *et al.* 2014), con un alto livello di ereditabilità e variabilità genetica all'interno e tra le popolazioni (CHUINE 2010), ma sono anche sotto controllo climatico. **Temperatura dell'aria, disponibilità di acqua e fotoperiodo sono i principali fattori climatici che influenzano le varie fasi fenologiche**, insieme ad altre variabili ambientali, come altitudine ed esposizione, tipo di suolo e umidità del suolo (BRUNS *et al.* 2003, CHUINE 2010, SANTAMARIA *et al.* 2003).

Esiste, comunque, una relazione reciproca tra fenologia ed ecosistema e sono molti i feedback vegetazione-clima mediati dalla fenologia come, ad esempio, la stagionalità dell'albedo, la conduttanza della chioma e i flussi di acqua ed energia in atmosfera, l'assimilazione della CO₂ (RICHARDSON *et al.* 2013). La fenologia fogliare e quella cambiale influenzano, infatti, la crescita degli alberi e la produttività delle foreste e, di conseguenza, il sequestro del carbonio atmosferico.

Il monitoraggio della fenologia è considerato un robusto indicatore degli effetti del cambiamento climatico sugli ecosistemi naturali. Quindi, è uno strumento utile sia per valutare la resilienza di specie e popolazioni ai cambiamenti ambientali, sia per prevederne le loro dinamiche future di diffusione. Questo aspetto è stato evidenziato anche dal quarto Rapporto di valutazione ("AR4") dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (PARRY *et al.* 2007), in cui è riportato come la più precoce apertura delle gemme in primavera e l'incremento della lunghezza della stagione di crescita registrate negli ultimi decenni sono strettamente correlate con l'aumento medio delle temperature legato al "global warming". A partire dagli anni '50, la temperatura è aumentata di 0,13 °C per decennio (IPCC 2014), mentre, a partire dal 1970, la stagione vegetativa è anticipata mediamente di 2,5 giorni ogni dieci anni (PARRY *et al.* 2007). Gli studi disponibili sugli effetti del cambiamento climatico evidenziano una modifica dei modelli di crescita delle foreste, in particolare nell'area Mediterranea, dove l'anticipo della stagione

vegetativa espone gli alberi a rischio di gelate tardive (MURA *et al.* 2022, NOLÈ *et al.* 2018) che, insieme alla ridotta piovosità del periodo primaverile estivo e alle sempre più frequenti ondate di calore, mettono a repentaglio la *fitness* (scarsa produzione di seme e ridotta rinnovazione come confermato dal monitoraggio eseguito nel corso del progetto AForClimate) e l'accrescimento degli stessi. Di conseguenza diverse popolazioni rischiano di diventare marginali ed isolate rispetto al loro areale di distribuzione, quindi sempre meno resilienti.

Per questo motivo, negli ultimi anni, il monitoraggio fenologico è sempre più impiegato per lo studio degli effetti del cambiamento globale sugli ecosistemi, compresi quelli forestali, e sempre più progetti di ricerca tengono in considerazione questo aspetto.

Tecnica del monitoraggio

Le osservazioni fenologiche assumono maggiore importanza se disponibili, per un periodo di tempo lungo e continuo, per lo stesso sito. Questo rende il sito una "stazione fenologica", che può essere messa a confronto con altre stazioni, creando così una rete di monitoraggio in grado di fornire dati e informazioni sugli effetti del cambiamento climatico sugli ecosistemi ad un'ampia scala temporale e spaziale.

Vista la capacità predittiva dei modelli fenologici in relazione a quella di resilienza delle specie, **il monitoraggio fenologico diventa un valido strumento per una pianificazione forestale adattativa.** Questa deve tenere conto dei processi evolutivi di una popolazione e della variabilità climatica, definendo un metodo di misurazione dei fattori climatici predisponenti e predittivi di specifici comportamenti fenologici, di accrescimento e di resilienza (rinnovazione e produzione di seme). Nelle specie forestali il monitoraggio fenologico riguarda spesso l'attività vegetativa della chioma e l'accrescimento radiale del tronco (fenologia cambiale). La fenologia fogliare primaverile e autunnale può essere monitorata con metodi tradizionali (monitoraggio *in situ*) e da remoto (telerilevamento multispettrale: per esempio Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, Terra/Aqua-MODIS Enhanced Vegetation Index - EVI e Sentinel-2 red-edge Normalized Difference Vegetation Index - RNDVI), interessando scale temporali e spaziali diverse.

Con gli approcci tradizionali, le fenofasi delle gemme e/o delle foglie in primavera e/o in autunno vengono monitorate *in situ*, su singoli alberi, attraverso osservazioni dirette della chioma e attribuzione di un punteggio a ciascuna fenofase raggiunta (KOCH *et al.* 2007, POLGAR e PRIMACK 2011), utilizzando generalmente la scala di riferimento BBCH (Biologische Bundesan-

stalt, Bundessortenamt und Chemische Industries), (HACK *et al.* 1992, MEIER 2009). Le osservazioni *in situ* possono essere replicate una o più volte a settimana nei periodi di schiusura delle gemme e di ingiallimento e caduta delle foglie.

Un altro metodo tradizionale *in situ* su singoli alberi è il monitoraggio della fenologia cambiale, che ci permette di monitorare con estrema precisione l'accrescimento radiale del tronco in relazione all'andamento climatico. Attraverso il prelievo settimanale di micro-carote è possibile seguire le diverse fasi di sviluppo delle cellule cambiali durante tutta la stagione vegetativa e la formazione dei tessuti floematici e xilematici dall'inizio della primavera all'entrata in dormienza autunnale (ROSSI *et al.* 2016).

Il telerilevamento multispettrale viene utilizzato per monitorare il cambiamento della fenologia fogliare a scala regionale (CONG *et al.* 2013, WU *et al.* 2014), consentendo il passaggio dal monitoraggio fenologico su singoli alberi a quello di paesaggio (FU *et al.* 2014).

Il monitoraggio *in situ* produce risultati più puntuali, tuttavia, richiede rilievi ripetuti a scadenze prestabilite della popolazione. Pertanto, è generalmente applicato su piccola scala, si concentra su poche specie, è più costoso in termini economici e di tempo necessario per le osservazioni (NAGAI *et al.* 2016, POLGAR e PRIMACK 2011) e risente della soggettività dell'operatore nell'attribuzione del punteggio.

Con le tecniche multispettrali, il monitoraggio, non richiede la presenza periodica di un rilevatore in campo, risultando così un metodo più rapido ed economico, oltre che svincolato dalla stagionalità, ma il dato acquisito è meno accurato. Anche con l'impiego di tecniche di *remote sensing* possono, comunque, esistere problemi nell'acquisizione delle informazioni, dovute sia a problemi interni al sistema (malfunzionamento dei sensori, perdita di acquisizione dati, ecc.), che a cause ambientali, dovute a fenomeni atmosferici

come la presenza di nuvole o l'elevata umidità del suolo, ombre e altri rumori di segnale che possono interferire con la raccolta dei dati (DE BERNARDIS *et al.* 2016, HUFKENS *et al.* 2019, POLGAR e PRIMACK 2011).

Esistono però alcuni sistemi da remoto, come Sentinel-1 (Synthetic Aperture Radar), che sono in grado di superare alcuni di questi limiti, come l'acquisizione del dato fenologico in presenza di nuvole. Questo è particolarmente importante nelle aree mediterranee, dove la successione delle fenofasi avviene in primavera e autunno, due periodi in cui la presenza di nuvole può essere frequente e può perciò impedire l'acquisizione di una serie temporale di dati continua anche per satelliti ad altissima risoluzione temporale. I sensori radar in banda C consentono di superare questo problema, producendo una copertura temporalmente continua, grazie alla loro indipendenza operativa che consente di acquisire informazioni in qualsiasi condizione atmosferica e anche di notte (LOPEZ-SANCHEZ *et al.* 2014). Questo aspetto è molto importante nelle regioni mediterranee, dove il periodo di apertura delle gemme può essere veloce, e quindi la mancata acquisizione dei dati, anche per poche ore, può essere critica.

Il modello AForClimate

Con il progetto AForClimate il **monitoraggio fenologico fogliare è stato utilizzato per stimare gli effetti ambientali (altitudine ed esposizione) e quelli dei trattamenti selvicolturali (diverse intensità di diradamento) sull'accrescimento radiale annuale del faggio in relazione all'andamento climatico**. Nell'ambito del progetto, sono state messe a confronto metodologie diverse di acquisizione di dati fenologici, vale a dire l'osservazione diretta *in situ* mediante stima sintetica della fenofase (metodo più semplice e speditivo) e quella da remoto, ottenendo un miglioramento dell'efficienza

Fasi fenologiche primaverili






				
Punteggio 1	Punteggio 2	Punteggio 3	Punteggio 4	Punteggio 5
Gemme invernali chiuse (dormienti). Riferimento scala BBCH: 00	Le gemme sono rigonfie. Le perule cominciano ad allargarsi. Riferimento scala BBCH: 07	Le gemme sono aperte ed è possibile osservare le prime punte verdi delle nuove foglie (<i>bud break</i>). Riferimento scala BBCH: 09	La superficie fogliare si sta espandendo. Sono visibili le prime foglie aperte (tutta la lamina fogliare è visibile). Riferimento scala BBCH: 11	Almeno il 50% delle foglie della chioma ha tutta la superficie della foglia e la base della lamina fogliare distese e ben visibili. Riferimento scala BBCH: 19

Figura 4.6-1 - Scala di punteggio adottata per il monitoraggio *in situ* dell'apertura delle gemme in primavera (secondo MEIER, 2009).

del monitoraggio da satellite, potendo identificare con maggiore accuratezza la fase di apertura delle gemme e quella di completa distensione fogliare e, quindi, l'inizio dell'accrescimento radiale annuo.

I risultati ottenuti hanno evidenziato come il monitoraggio fenologico fogliare sia un valido strumento per valutare la reattività e la capacità di resilienza di una faggeta in relazione ai cambiamenti climatici e al tipo di trattamento selvicolturale che viene applicato.

Questo lo rende uno strumento utile per modulare l'intensità di intervento selvicolturale in funzione delle caratteristiche ambientali e climatiche del sito, quindi per una pianificazione forestale dinamica e adattativa.

Il monitoraggio fenologico fogliare *in situ* dell'apertura delle gemme fogliari (*leaf unfolding*) e dell'ingiallimento e caduta delle foglie (*leaf colouring*) deve essere effettuato in primavera e in autunno. In ogni sito devono essere identificati un numero rappresentativo di alberi della stessa specie, con posizione sociale dominante o codominante e buone condizioni fitosanitarie, di età e dimensioni simili tra loro. Le fasi fenologiche delle foglie devono essere monitorate visivamente *in situ* ad intervalli settimanali/bisettimanali in primavera (da fine marzo a metà maggio), fino allo spiegamento completo delle foglie, e in autunno (settembre e ottobre) fino alla caduta delle foglie.

Il monitoraggio fenologico della chioma degli alberi selezionati viene effettuato secondo la "scala BBCH estesa", una scala centesimale, molto puntuale, che divide le fasi fenologiche di crescita in principali e secondarie. Ad ogni fase viene attribuito un punteggio indicato da un codice a due cifre. È una delle scale fenologiche più utilizzate a livello internazionale, poiché definisce fasi fenologiche simili e comuni alle diverse specie (ZHAO *et al.* 2019).

La scala messa a punto nel corso del Progetto Life

AForClimate per il faggio, seguendo il codice BBCH (MEIER 2009, SCHUSTER *et al.* 2014, KRAUS *et al.* 2016) ha identificato per le fasi fenologiche di primavera (*bud flush*) una scala di 5 punteggi - da 1 (gemme chiuse e coperte da perule; corrispondenza al punteggio BBCH 00) a 5 (foglie completamente distese; corrispondenza al punteggio BBCH 19) (Figura 4.6-1) e una scala di 3 punteggi per le fasi fenologiche autunnali (*leaf colouring*) - da 6 (inizio ingiallimento chioma; corrispondenza al punteggio BBCH 91) a 8 (caduta generale delle foglie; corrispondenza al punteggio BBCH 97) (Figura 4.6-2). L'osservazione delle fasi fenologiche deve essere eseguita almeno su 3 lati della chioma di ciascun albero. Il punteggio si considera raggiunto se sulla chioma almeno il 50% delle gemme/foglie osservate ha raggiunto la fase corrispondente, in accordo con quanto suggerito dal sistema BBCH (VILHAR *et al.* 2018). Tutti i dati vengono calcolati come Day Of the Year (DOY) secondo il calendario giuliano. L'inizio di ciascuna fase fenologica in ciascun sito deve essere determinato come valore medio calcolato da tutti gli alberi osservati.

L'acquisizione del dato è semplice e speditiva, ma si consiglia di formare e di mantenere lo stesso operatore per tutto il periodo di osservazione al fine di ridurre l'errore di misurazione determinata dalla soggettiva dell'operatore stesso.

Il metodo tradizionale *in situ* è comunque uno strumento utile per la messa a punto del monitoraggio da remoto per la singola specie, in quanto consente di relazionare le diverse fenofasi fogliari con i dati di *backscatter* acquisiti da satellite e di verificare la relazione esistente tra i due metodi.

Infatti, in base ai risultati ottenuti nei primi anni di monitoraggio **nei siti del progetto AForClimate di Toscana e Molise, dal confronto tra metodi di rilievo *in situ* e da remoto, l'andamento fenologico stagionale è stato sti-**

Fasi fenologiche autunnali

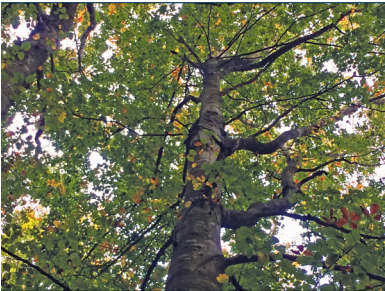


		
Punteggio 6	Punteggio 7	Punteggio 8
Inizio della colorazione delle foglie Il 10% della superficie fogliare ha assunto colorazione autunnale (da giallo a bruno) oppure è già caduto. Non confondere con l'essiccamento fogliare causato da periodi di calura, siccità o altri fattori.	Colorazione generale delle foglie Il 50% della superficie fogliare ha assunto colorazione autunnale (da giallo a bruno) oppure è già caduto. Non confondere con l'essiccamento fogliare causato da periodi di calura, siccità o altri fattori.	Caduta generale delle foglie Il 50% della superficie fogliare dell'albero è caduto. La caduta di foglie causata da grandine, venti tempestosi, siccità o parassiti è da contrassegnare.
Riferimento scala BBCH: 91.	Riferimento scala BBCH: 95.	Riferimento scala BBCH: 91.

Figura 4.6-2 - Scala di punteggio adottato per il monitoraggio *in situ* della fenologia fogliare autunnale (secondo MEIER, 2009).

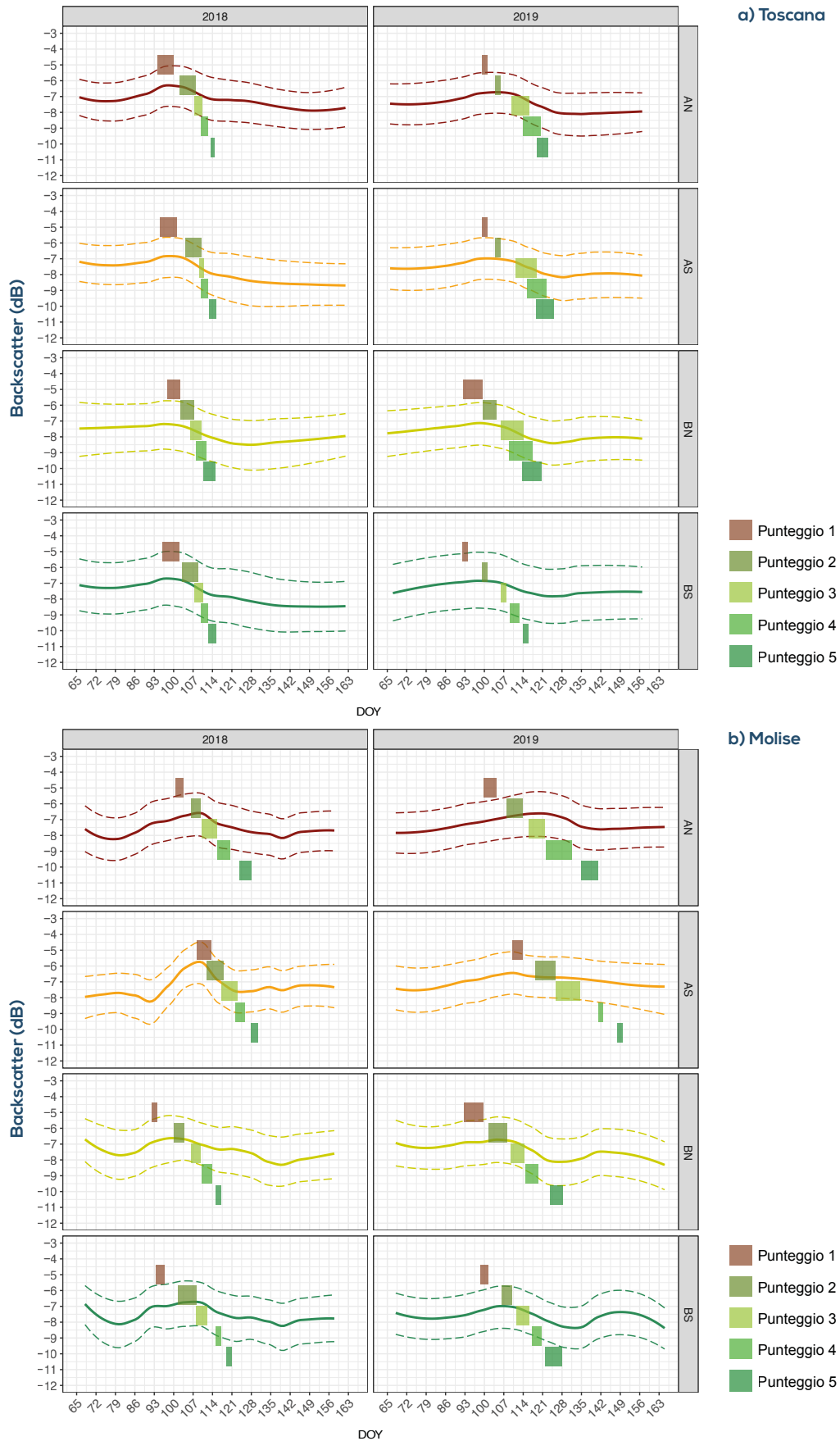


Grafico 4.6-1 - Serie temporali di *backscatter* radar (γ° - polarizzazione VV) in due siti del progetto Life AForClimate (Molise e Toscana), in quattro settori (Alto Nord - AN; Basso Nord - BN; Alto Sud - AS; Basso Sud - BS - linee continue colorate) e per due anni di monitoraggio. Le linee tratteggiate colorate sono il primo e il terzo quartile del *backscatter*. I rettangoli colorati rappresentano le fenofasi osservate e la loro estensione temporale.

mato anche attraverso i dati del satellite Copernicus Sentinel 1, elaborati dalla piattaforma Google Earth Engine. Tale sistema è un ulteriore avanzamento del metodo di monitoraggio fenologico in remoto attraverso sistemi radar ad apertura sintetica (SAR - Sentinel-1), metodo validato scientificamente e pubblicato nell'ambito di AForClimate (PROIETTI *et al.* 2020) (Grafico 4.6-1a e 1b).

Con questo sistema di monitoraggio è possibile recuperare informazioni per una scala spaziale e temporale più ampia; quindi, anche per aree non monitorate direttamente *in situ* e per periodi precedenti e posteriori rispetto a quelli di osservazione, consentendo così di colmare eventuali gap di monitoraggio.

Implicazioni del metodo

Per la specie su cui il metodo è stato validato, **il monitoraggio può essere esteso a siti non monitorati e distribuiti sull'intero areale, permettendo così di realizzare un database che consentirebbe un monitoraggio fenologico specie-specifico su scala europea.**

I dati di monitoraggio fenologico in remoto relativi al sito possono essere ottenuti utilizzando Google Earth Engine. Questa piattaforma presenta una vasta raccolta di immagini satellitari, database climatici e dati geofisici, i quali, attraverso la propria API (*Application Programming Interface*), possono essere analizzati, visualizzati ed esportati. I principali vantaggi di questa piattaforma sono l'assenza di costi e la presenza di dataset satellitari che non necessitano di una preventiva elaborazione. In questo modo, il dataset di Sentinel-1 può essere filtrato per il periodo che va dal primo giorno di disponibilità dei dati (10-06-2014) ad oggi, come suggerito da precedenti studi (RÜETSCHI *et al.* 2018)¹⁾. Il confronto tra metodi diversi di monitoraggio fenologico può aiutare a migliorare l'efficienza del monitoraggio in termini di qualità del dato acquisito, soggettività del rilievo, sostenibilità economica e valutazione dei possibili effetti sia della gestione che delle caratteristiche stazionali sulle risposte fenologiche delle popolazioni.

Conclusioni

Si può affermare che:

- attraverso il monitoraggio fenologico è possibile **ottenere informazioni sulla reattività e la capacità di resilienza di un popolamento forestale;**
- la caratterizzazione e l'analisi della fenologia di un popolamento forestale rappresentano **un fattore da considerare per calibrare le scelte gestionali e selvicolturali;**
- i diversi metodi di monitoraggio fenologico consentono di produrre **risultati sullo stato di un popolamento forestale** sia su scala locale che regionale;
- la validazione del metodo AForClimate per singola specie consente di **estendere il monitoraggio a siti non monitorati e distribuiti sull'intero areale**, con l'opportunità di realizzare un database dei fattori fenologici a scala europea.

1) Specificamente, sono stati selezionati solo i valori di backscatter σ^0 (sigma nought) con polarizzazione VH (Vertical-Horizontal). Si utilizza la polarizzazione VH perché, come è stato dimostrato in studi recenti, il backscatter polarizzato VH è più sensibile alla foresta boreale rispetto al backscatter polarizzato VV (RÜETSCHI *et al.* 2018).

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON J.T., WAGNER M.R., RUSHWORTH C.A., PRASAD K.V.S.K., MITCHELL OLDS T., 2014 - **The evolution of quantitative traits in complex environments.** *Heredity*, 112: 4-12. doi:10.1038/hdy.2013.33
- BRUNS E., CHMIELEWSKI F.M., VAN VLIET A.J.H., 2003 - **The Global Phenological Monitoring Concept. Towards International Standardization of Phenological Networks.** In M.D. Schwartz (Ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*, Vol. 39 of the series *Tasks for Vegetation Science*, chapter 2.6, 93-104. ISBN: 978-1-4020-1580-9 (Print) 978-94-007-0632-3 (online); doi:10.1007/978-94-007-0632-3_7
- CHUINE I., 2010 - **Why does phenology drive species distribution?** *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365, 3149-3160. doi:10.1098/rstb.2010.0142
- CHUINE I., DE CORTAZAR-ATAURI I.G., KRAMER K., HÄNNINEN H., 2013 - **Plant Development Models.** In: M.D. Schwartz (ed.), *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Dordrecht, Netherlands: 275-293. ISBN: 978-94-007-6925-0, doi:10.1007/978-94-007-6925-0_15.
- CONG N., WANG T., NAN H.-J., MA Y.-C., WANG X.-H., MYNENI R.B., PIAO S.-L., 2013 - **Changes in satellite-derived spring vegetation green-up date and its linkage to climate in China from 1982 to 2010: a multimethod analysis.** *Glob. Chang. Biol.* 19: 881-891. <https://doi.org/10.1111/gcb.12077>.
- CUNY H.E., RATHGEBER C.B., FRANK D., FONTI P., MÄKINEN H., PRISLAN P., ROSSI S., DEL CASTILLO E.M., CAMPELO F., VAVRŮK H., CAMARERO J.J., BRYUKHANOVA M.V., JYSKE T., GRČAR J., GRÝC V., DE LUIS M., VIEIRA J., ČUFAR K., KIRDYANOV A.V., OBERHUBER W., TREML V., HUANG J.G., LI X., SWIDRAK I., DESLAURIERS A., LIANG E., NÓJD P., GRUBER A., NABAIS C., MORIN H., KRAUSE C., KING G., FOURNIER M., 2015 - **Woody biomass production lags stem-girth increase by over one month in coniferous forests.** *Nat. Plants*, 1: 15160. doi:10.1038/nplants.2015.160.
- DE BERNARDIS C., VICENTE-GUIJALBA F., MARTINEZ-MARIN T., LOPEZ-SANCHEZ J. M., 2016 - **Contribution to real-time estimation of crop phenological states in a dynamical framework based on NDVI time series: Data fusion with SAR and temperature.** *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(8): 3512-3523.
- FU Y.H., PIAO S., OP DE BEECK M.O., CONG N., ZHAO H., ZHANG Y., MENZE A., JANSSENS I.A., 2014 - **Recent spring phenology shifts in western Central Europe based on multiscale observations.** *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23 (11): 1255-1263. <https://doi.org/10.1111/gcb.12210>.
- GHELARDINI L., BERLIN S., WEIH M., LAGERCRANTZ U., GYLLENSTRAND N., RÖNNBERG-WÄSTLJUNG A.C., 2014 - **Genetic architecture of spring and autumn phenology in *Salix*.** *BMC Plant Biology*, 14(1): 31. doi:10.1186/1471-2229-14-31.
- HACK H., BLEIHOLDER H., BURH L., MEIER U., SCHNOCK-FRICKE E., WEBER E., WITZENBERGER A., 1992 - **Einheitliche Codierung der phanologischen Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen - Erweiterte BBCH-Skala Allgemein.** *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 44: 265-270.
- HUFKENS K., MELAAS E.K., MANN M.L., FOSTER T., CEBALLOS F., ROBLES M., KRAMER B., 2019 - **Monitoring crop phenology using a smartphone based near-surface remote sensing approach.** *Agricultural and forest meteorology*, 265: 327-337.
- KOCH E., BRUNS E., CHMIELEWSKI F.M., DEFILA C., LIPA W., MENZEL A., 2007 - **Guidelines for Plant Phenological Observations World Climate Data and Monitoring Programme.** Geneva, Switzerland, 13 pp.
- KRAUS C., ZANG C., MENZEL A., 2016 - **Elevational response in leaf and xylem phenology reveals different prolongation of growing period of common beech and Norway spruce under warming conditions in the Bavarian Alps.** *Eur. J. Forest Res.*, 135: 1011-1023. doi:10.1007/s10342-016-0990-7.
- IPCC, 2014 - **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- LOPEZ-SANCHEZ J.M., VICENTE-GUIJALBA F., BALLESTER-BERMAN J. D., CLOUDE S. R., 2013 - **Polarimetric response of rice fields at C-band: Analysis and phenology retrieval.** *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(5): 2977-2993.
- MEIER U., BLEIHOLDER H., BUHR L., FELLER C., HACK H., HESS M., LANCASHIRE P.D., SCHNOCK U., STAUSS R., VAN DEN BOOM T., WEBER E., ZWERGER P., 2009 - **The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants - history and publications.** *Journal für Kulturpflanzen*, 61 (2): 41-52.
- MURA C., BUTTÒ V., SILVESTRO R., DESLAURIERS A., CHARRIER G., RAYMOND P., ROSSI S., 2022 - **The early bud gets the cold: diverging spring phenology drives exposure to late frost in a *Picea mariana* (Mill.) BSP common garden.** *Physiol Plant*. 2022 Oct 17:e13798. doi:10.1111/pp1.13798.

NAGAI S., NASAHARA K.N., INOUE T., SAITOH T.M., SUZUKI R., 2016 - **Review: advances in in situ and satellite phenological observations in Japan.** *Int. J. Biometeorol.* 60 (4): 615–627. <https://doi.org/10.1007/s00484-015-1053-3>

NOLÉ A., RITA A., FERRARA A.M.S., BORGHETTI M., 2018 - **Effects of a large-scale late spring frost on a beech (*Fagus sylvatica* L.) dominated Mediterranean mountain forest derived from the spatio-temporal variations of NDVI.** *Annals of Forest Science* 75: 83. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0763-1>

PARRY M.L., CANZIANI O.F., PALUTKOF J.P., VAN DER LINDEN P.J., HANSON C.E. (Eds.), 2007 - **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability.** Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge UP, Cambridge, UK, 976 pp.

POLGAR C.A., PRIMACK R.B., 2011 - **Leaf out phenology of temperate woody plants: from trees to ecosystems.** *New phytologist*, 191(4): 926–941.

PROIETTI R., ANTONUCCI S., MONTEVERDI M.C., GARFI V., MARCHETTI M., PLUTINO M., DI CARLO M., GERMANI A., SANTOPUOLI G., CASTALDI C., CHIAVETTA U., 2020 - **Monitoring spring phenology in Mediterranean beech populations through in situ observation and Synthetic Aperture Radar methods.** *Remote Sensing of Environment*, 248: 111978. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111978>

RICHARDSON A.D., KEENAN T.F., MIGLIAVACCA M., RYU Y., SONNENTAG O., TOOMEY M., 2013 - **Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system.** *Agricultural and Forest Meteorology* 169: 156–173. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.09.012>

ROSSI S., ANFODILLO T., ČUFAR K., CUNY H.E., DESLAURIERS A., FONTI P., FRANK D., GRICAR J., GRUBER A., HUANG J.G., JYSKE T., KAŠPAR J., KING G., KRAUSE C., LIANG E., MÄKINEN H., MORIN H., NÓJD P., OBERHUBER W., PRISLAN P., RATHGEBER C.B.K., SARACINO A., SWIDRAK I., TREML V., 2016 - **Pattern of xylem phenology in conifers of cold ecosystems at the Northern Hemisphere.** *Global Change Biol.*, 22(11): 3804–3813. doi:10.1111/gcb.13317

RÜETSCHI M., SCHAEPMAN M., SMALL D., RÜETSCHI M., SCHAEPMAN M.E., SMALL D., 2018 - **Using Multitemporal Sentinel-1 C-band Backscatter to Monitor Phenology and Classify Deciduous and Coniferous Forests in Northern Switzerland.** *Remote Sens.* 10: 55. doi:10.3390/rs10010055

SANTAMARÍA L., FIGUEROLA J., PILON J.J., MJELDE M., GREEN A.J., DE BOER T., KING R.A., GORNALL R.J., 2003 - **Plant performance across latitude: the role of plasticity and local adaptation in an aquatic plant.** *Ecology*, 84(9): 2454–2461. doi:10.1890/02-0431

SCHUSTER C., ESTRELLA N., MENZEL A., 2014 - **Shifting and extension of phenological periods with increasing temperature along elevational transects in southern Bavaria.** *Plant Biology*, 16: 332–344. doi:10.1111/plb.12071

VILHAR U., DE GROOT M., ZUST A., SKUDNIK M., SIMONČIČ P., 2018 - **Predicting phenology of European beech in forest habitats.** *iForest* 11: 41–47. doi:10.3832/ifor1820-010

WU C., GONSAMO A., GOUGH C.M., CHEN J.M., XU S., 2014 - **Modelling growing season phenology of North American forests using seasonal mean vegetation indices from MODIS.** *Remote Sens. Environ.* 147: 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.001>

ZHAO G., GAO Y., GAO S., XU Y., LIU J., SUN C., GAO Y., LIU S., CHEN Z., JIA L., 2019 - **The Phenological Growth Stages of *Sapindus mukorossi* According to BBCH Scale.** *Forests* 10: 462. <https://doi.org/10.3390/f10060462>

AUTORI

Roberta Proietti, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: roberta.proietti@crea.gov.it

Maria Cristina Monteverdi, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: mcristina.monteverdi@crea.gov.it

Ugo Chiavetta, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: ugo.chiavetta@crea.gov.it



4.6 | Abstract

Climate change and phenology

Plant phenology studies the recurring seasonal events in the life cycle of plants (from budburst to leaf fall, from flowering to fruit ripening) in relation to climatic and environmental factors.

Phenology is an adaptive trait with high plasticity in trees, capable of shaping both the onset and duration of the growing season, population fitness, and species distribution by adapting the seasonal life cycle to local environmental conditions. Phenological traits are quantitative, highly heritable, and show genetic variability within and among populations, but they are also under climatic control. Air temperature, water availability, and photoperiod are the main climatic factors influencing various phenological phases, along with other environmental variables such as altitude, aspect, soil type and soil moisture.

The relationship between phenology and the ecosystem leads to various vegetation-climate feedbacks, affecting albedo seasonality, canopy conductance, water and energy fluxes, and CO₂ assimilation. Leaf and cambial phenology influence tree growth, forest productivity, and atmospheric carbon sequestration.

Monitoring phenology is a robust indicator of the effects of climate change on natural ecosystems, providing valuable information for assessing species and population resilience to environmental changes and predicting future distribution dynamics. The earlier budburst in spring and the extended growing season, linked to global warming, have been reported in recent decades.

Studies on climate change effects suggest modifications in forest growth patterns, particularly in the Mediterranean area, where early spring phenology exposes trees to the risk of late frosts, reduced spring-summer rainfall, and more frequent heatwaves, endangering fitness and growth. This may lead to certain populations becoming less resilient, marginal and isolated.

Phenological monitoring has become increasingly important in studying the effects of global change on ecosystems, including forests. Observations assume greater significance if available for an extended and continuous period, making the site a "phenological station" that can be compared with others to create a monitoring network providing data on climate change effects at a broader temporal and spatial scale.

Due to the predictive capability of phenological

models related to species' resilience, phenological monitoring is a valuable tool for adaptive forest planning, considering evolutionary processes, climatic variability, specific phenological behaviors, growth, and resilience (seed production and regeneration).

Phenological monitoring in forest species often involves monitoring canopy vegetative activity (leaf phenology) and radial growth (cambial phenology). Spring and autumn leaf phenology can be monitored using traditional methods (*in situ* monitoring) or remotely (multispectral remote sensing) with different temporal and spatial scales.

Traditional *in situ* methods involve direct observations of bud and/or leaf phenophases on individual trees using a scoring system. Another *in situ* method is cambial phenology monitoring, which precisely tracks radial trunk growth in relation to climate.

Multispectral remote sensing is used to monitor regional-scale leaf phenology changes, providing faster and cheaper data acquisition, but with less accuracy. However, certain remote sensing systems like Sentinel-1 (Synthetic Aperture Radar) can overcome some limitations, capturing phenological data even in the presence of clouds.

The AForClimate project used beech leaf and cambial phenological monitoring to estimate how the environmental (altitude, aspect), silvicultural treatment and weather affect the tree growth. Also, different data acquisition methods were compared, including *in situ* observation and remote sensing, which improved overall monitoring efficiency.

In situ leaf phenological (leaf unfolding and coloring) monitoring should be conducted in spring and autumn on a representative number of trees with similar age, size, and health. For *in situ* canopy monitoring, the "extended BBCH scale" is used, with a 5-point scale for spring bud flush (Figure 4.6-1) and a 3-point scale for autumn leaf coloring (Figure 4.6-2). Remote monitoring through satellite data allows for a wider spatial and temporal scale and can be used to fill monitoring gaps (Graph 4.6-1).

Comparison of different monitoring methods helps improve data quality, reduce subjectivity, and assess the effects of management and seasonal characteristics on phenological responses of populations.





CAPITOLO 5

PIANIFICAZIONE FORESTALE FLESSIBILE E ADATTABILE AI CAMBIAMENTI CLIMATICI

- 5.1** Pianificazione forestale e adattamento:
una risposta alla sfida dei cambiamenti
climatici



5.1

Pianificazione forestale e adattamento: una risposta alla sfida dei cambiamenti climatici

Umberto Di Salvatore - CREA, Centro di ricerca Politiche e Bioeconomia

Paolo Cantiani[†] - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Fabrizio Ferretti - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Introduzione

I cambiamenti climatici, accompagnati dall'insorgere sempre più frequente di eventi estremi (EASAC 2018, BUSSOTTI *et al.* 2022), costituiscono la sfida principale del tempo presente, soprattutto per chi si occupa di gestione degli ambienti naturali e, in particolare, di sistemi biologici complessi come sono le foreste (CIANCIO e NOCENTINI 1996, NOCENTINI 2019).

La pioggia, il vento o il fuoco costituiscono da sempre i naturali fattori ecologici che determinano e influenzano le dinamiche all'interno dei popolamenti forestali ma negli ultimi decenni, soprattutto a seguito della loro maggiore severità (IPCC, 2022), stanno mettendo in seria difficoltà le capacità di resistenza e resilienza degli ecosistemi forestali (PACI 2004, PIUSSI e ALBERTI 2015). La spinta distruttiva di questi fenomeni è molto spesso aggravata dagli effetti di fattori biotici quali, ad esempio, malattie e attacchi parassitari con ulteriori conseguenze sulla stabilità ed efficienza degli ecosistemi forestali (BERTINI *et al.* 2011, ICP-Forests 2016) nonché con effetti sociali ed economici sulle comunità locali (MOTTA *et al.* 2018).

Sarà necessario intensificare gli sforzi di tutte le parti interessate all'attuazione di misure di adattamento ai cambiamenti climatici, tenendo conto delle capacità di previsione di medio e di lungo periodo (Forest Europe 2020). Secondo quanto indicato dalla Commissione Europea, per adattamento si deve intendere il processo di adeguamento alla situazione climatica reale o prevista e ai suoi effetti (IPCC 2014). Non si tratta di una risposta una tantum a un'emergenza, bensì di una serie di misure proattive per affrontare il nesso tra pericolo, esposizione e vulnerabilità (COM(2021) 82 final). In questa ottica, alla Gestione Forestale Sostenibile (GFS) è ormai riconosciuta la capacità di poter incidere positivamente, oltre che sui livelli di biodiversità, sulla capacità di risposta delle foreste e quindi sull'attenuazione degli effetti del cambiamento climatico (MARCHETTI *et al.* 2018). All'interno della GFS ed in particolare dell'adattamento ai cambiamenti climatici, nella sua accezione di previsione e prevenzione, **un compito fondamentale deve essere svolto dalla pianificazione forestale** da esercitarsi a tutti i livelli. È tramite la pianificazione forestale che è possibile diversificare nel tempo e nello spazio le diverse opzioni gestionali calibrandole il più possibile sia alle differenti situazioni di struttura e composizione del bosco (CANTIANI 1963) sia alle diverse variabili ambientali, compresa la possibilità

di prevedere gli effetti relativi a nuovi scenari climatici. Il ruolo strategico della pianificazione forestale è ormai chiaramente riconosciuto nelle norme e nelle linee guida di carattere internazionale e comunitario e la necessità di avere in futuro foreste più estese, più sane e più resilienti è l'obiettivo comune di tutte le principali strategie messe in campo (FAO 2022, COM(2021) 572 final, Strategia europea biodiversità, Forest Europe 2020).

Anche la ricerca nel settore forestale dibatte ormai da diversi anni attorno a queste tematiche proponendo diverse soluzioni innovative e approcci concreti (LINDNER *et al.* 2010, MESSIER *et al.* 2015, TRUMBORE *et al.* 2015, JANDLE *et al.* 2019). Creare una relazione più stretta tra i processi decisionali dei gestori forestali e le indicazioni della ricerca scientifica (CORONA 2016) è sicuramente una delle strade da perseguire per il raggiungimento dei difficili obiettivi che la sfida del cambiamento climatico propone.

Dotarsi di sistemi di controllo e di monitoraggio più efficienti e rafforzare la quantità e la qualità degli strumenti di pianificazione forestale sono due delle azioni fondamentali proposte affinché le foreste possano continuare a svolgere in maniera soddisfacente il ruolo multifunzionale di produzione di beni e servizi (GAGLIOPPA *et al.* 2017) tra i quali la mitigazione degli effetti climatici (COM (2021) 82 final).

Ampliare le superfici coperte da pianificazione è un requisito fondamentale per poter giungere ad indicazioni gestionali di dettaglio tale da includere una corretta valutazione dei rischi connessi al previsto ulteriore aumento di eventi climatici estremi in futuro (HARI *et al.* 2020, IPCC 2022) e metter in atto delle misure di adattamento e, laddove necessario, di ripristino (SPATHELF *et al.* 2018).

Il quadro legislativo nel contesto italiano

In Italia **il livello della pianificazione forestale, sia esso aziendale o territoriale, è ancora ampiamente insufficiente**, con situazioni articolate e differenti tra le diverse Regioni e Province autonome (RAF 2018, CORONA *et al.* 2020). Una spinta ad incrementare la superficie pianificata e ad uniformare le diverse realtà territoriali sarà sicuramente data nei prossimi anni da quanto previsto dal decreto legislativo 34/2018 (Testo Unico in materia di Foreste e Filiere forestali, noto come TUFF) e dai relativi decreti attuativi interministeriali (CORONA *et al.* 2022).

In particolare, il TUFF riconosce nei criteri della GFS gli strumenti utili ad integrare nella prassi pianificatoria le misure necessarie a garantire una corretta gestione del patrimonio forestale che tenga conto di aspetti quali la bioeconomia, la *green economy* e in particolare la lotta al cambiamento climatico (ROMANO 2018).

Il TUFF all'art. 1 fra i principi al comma 1 stabilisce che: "La Repubblica riconosce il patrimonio forestale nazionale come parte del capitale naturale nazionale e come bene di rilevante interesse pubblico da tutelare e valorizzare per la stabilità e il benessere delle generazioni presenti e future" mentre al comma 3: "Lo Stato e le regioni promuovono attraverso il fondamentale

contributo della selvicoltura la gestione forestale sostenibile [...] garantendo, nel tempo, [...], la salvaguardia ambientale, la lotta e l'adattamento al cambiamento climatico". All'art. 2, tra le finalità, sancisce che le disposizioni del decreto stesso sono finalizzate a proteggere la foresta promuovendo azioni di adattamento al cambiamento climatico e di sequestro del carbonio.

Il quadro di riferimento per la pianificazione forestale (art. 6) è articolato su 4 livelli: i primi due con carattere prevalentemente strategico (la **Strategia Forestale Nazionale** SFN, Box 5.1-1) e programmatico (**Programmi forestali regionali**), i secondi due con carattere prevalentemente operativo, i **piani forestali di indirizzo territo-**

BOX 5.1-1

Strategia Forestale Nazionale (SFN) e binomio pianificazione forestale-mitigazione degli impatti dei cambiamenti climatici

Si propone una sintesi della SFN per evidenziare quali obiettivi generali, azioni operative, azioni specifiche e azioni strumentali, sono più strettamente collegati al binomio pianificazione e mitigazione.

Il più legato alla pianificazione aziendale e territoriale è l'obiettivo generale A (**Gestione sostenibile e ruolo multifunzionale delle foreste**), volto a favorire la GFS e il ruolo multifunzionale delle foreste, per garantire la fornitura equilibrata di beni e servizi ecosistemici.

Azione A.1 - Programmazione e pianificazione forestale e politiche di gestione e conservazione del paesaggio e del territorio

Sotto-Azione A.1.2 - Promuove la pianificazione forestale di area vasta.

A.1.2.a) Promuove e diffonde i Piani Forestali di Indirizzo Territoriale (art. 6 c. 3, TUFF), strumento redatto con metodo partecipativo, per individuare, mantenere e valorizzare le risorse silvo-pastorali e il coordinamento delle attività di gestione e prevenzione dai rischi naturali e antropici.

A.1.2.f) prevede azioni economiche e fiscali a supporto di chi fornisce servizi ecosistemici senza mercato di diverse pratiche selvicolturali

Sotto-Azione A.1.3 Promuove la pianificazione forestale delle proprietà pubbliche, private e collettive in linea con la GFS

A.1.3.a) Promuove e diffonde la pianificazione forestale (art. 6 c. 6, TUFF) quale strumento operativo di gestione e assestamento.

Azione A.6 Mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici

A.6.1.c) incentiva l'adozione di pratiche selvicolturali anche a macchiatico negativo per migliorare le capacità di resistenza e resilienza dei popolamenti forestali ai cambiamenti climatici.

A.7.1 Valorizzare le neoformazioni forestali

A.7.3 Gestire imboschimenti e rimboschimenti artificiali.

A.S.1.1.a) Il Piano Nazionale per la gestione degli eventi estremi dovrà contemplare diversi aspetti fra cui indicare le procedure per revisione dei piani di gestione forestale a seguito degli eventi estremi.

Meno rappresentato è l'obiettivo generale B (**Efficienza nell'impiego delle risorse forestali per uno sviluppo sostenibile delle economie nelle aree rurali, interne e urbane del Paese**), volto a migliorare l'efficienza nell'impiego delle risorse, ottimizzando il contributo multifunzionale delle foreste allo sviluppo della bioeconomia e delle economie forestali.

Sotto-Azione B.1.1 - Migliorare e incrementare la GFS nelle foreste esistenti.

B.1.1.a) Promuove e incentiva l'adozione di scelte gestionali sostenibili e di lungo periodo, codificate in strumenti di pianificazione al fine di "mantenerne la biodiversità, produttività, capacità di rinnovamento, vitalità e potenzialità di adempiere, ora e nel futuro, a rilevanti funzioni ecologiche, economiche e sociali, senza comportare danni ad altri ecosistemi" (Forest Europe, Risoluzione H1 di Helsinki) nonché per "aumentare la quantità, la qualità, la resilienza e lo stato di salute delle foreste" (Strategia Europea per la biodiversità per il 2030 (COM/2020/380 final).

riale (PFIT) ed i **piani di assestamento** (piani aziendali). Nel decreto attuativo MIPAAF 28 ottobre 2021 "Disposizioni per la definizione dei criteri minimi nazionali per l'elaborazione dei piani forestali di indirizzo territoriale e dei piani di gestione forestale" all'art. 3 (Disposizioni per i Piani forestali di indirizzo territoriale) Comma VIII punto f, si stabilisce che i PFIT conterranno "le misure di tutela delle aree sensibili, di gestione dei rischi naturali e di adattamento ai cambiamenti climatici da adottare nel periodo di validità del PFIT, in coerenza con gli strumenti territoriali vigenti per la prevenzione e la mitigazione dei rischi naturali, quali, a titolo esemplificativo, incendi boschivi, tempeste, frane, dissesto, valanghe ed alluvioni, ecc., e l'adattamento ai cambiamenti climatici".

Le misure di contenimento dei rischi naturali e di adattamento ai cambiamenti climatici, individuate dai PFIT per ogni area omogenea assieme agli altri indirizzi gestionali, vedranno poi la loro attuazione nell'ambito dei piani di gestione forestale (art. 4 comma II del DM 28 ottobre 2021).

Tecnica pianificatoria-selvicolturale e cambiamenti climatici

Negli ultimi due secoli sono state formulate molte definizioni di assestamento forestale e quindi di piano di assestamento (o gestione) forestale (Box 5.1-2).

BOX 5.1-2

Excursus delle definizioni di assestamento proposte nel corso degli ultimi 150 anni

Assestare una foresta significa:

- raggiungere il **massimo utile costante, tanto dal capitale impiegato nelle culture ed in altre spese, quanto dal fondo** (PICCIOLI 1881);
- **costituire il bosco in tal modo che possa a suo tempo somministrare successivi prodotti annui e costanti** (BORIO 1910);
- anche **riportare una foresta da uno stato attuale allo stato ideale propostoci in relazione alle condizioni di ambiente** in modo da ottenere anche altri scopi (idrogeologici, ecc.) (DI TELLA 1920);
- raggiungimento della meta prefissa, che, secondo la volontà dell'uomo e secondo le esperienze scientifiche, è raggiungibile e che determina **la migliore utilizzazione nell'avvenire del bosco** (HOFFMANN 1924);
- assicurare **la conservazione della foresta** e ottenere **una forma di produzione che sia massima, annua e, grossolanamente, costante** (PATRONE 1944);
- assicurare il **graduale miglioramento quantitativo e qualitativo della produzione** e assicurare una rendita annua o periodica, possibilmente costante (TASSINARI 1951);
- assicurare altre funzioni della foresta, oltre la produttiva, che hanno assunto un ruolo di primaria importanza (turismo, caccia, protezione della natura, difesa del paesaggio, ecc.). **L'assestamento, pertanto, si trova a dover agire nel quadro di un piano più ampio ove prevalgono obiettivi di tutela di pubblici interessi** (CANTIANI 1984);
- **raggiungere perpetuità e costanza delle utilità che dai boschi derivano ai proprietari ed alla collettività**. L'assestamento punta anche a **migliorare qualsiasi tipo di funzione prevalente o esclusiva che venga razionalmente assegnata ad un determinato bosco o ad una sua parte**. (MAZZEI in BAGNARESI et al. 1986);
- **salvo rarissime eccezioni, applicare il principio generale della durevolezza**, che postula perpetuità costanza della produzione e delle erogazioni. (HELLRIGL in BAGNARESI et al. 1986);
- ordinare i boschi con piani adatti a **garantire la produzione continua di legnami, oppure l'erogazione continua di servizi pubblici, senza pericoli di deterioramento** (BERNETTI 1989);
- **definire le scelte di gestione e prescrivere le azioni per realizzare tali obiettivi**. Si definiscono gli algoritmi colturali; si verificano i risultati delle scelte effettuate, in un **processo iterativo di miglioramento continuo del sistema**: si diversificano le scelte di gestione in funzione delle varie situazioni; si programmano gli interventi nel tempo e nello spazio in modo da rispettare i vincoli all'uso (CIANCIO e NOCENTINI 2004);
- non più solo produzione. Al bosco si riconosce la funzione di erogare benefici e servizi di carattere protettivo, ambientale e culturale, tanto che ormai lo si considera patrimonio irrinunciabile da tutelare a vantaggio di tutta la collettività, anche a costo di subordinare gli interessi del singolo. **L'assestamento deve confrontarsi con esigenze eterogenee, spesso conflittuali e non sempre facilmente quantificabili ma non per questo meno reali e urgenti; deve connotarsi sempre più espressamente quale strumento di gestione a obiettivi plurimi**. (BIANCHI et al. 2020).

Tali definizioni hanno mantenuto, nei concetti base, una sostanziale continuità nel tempo. Salvo rarissime eccezioni, l'assestamento applica il principio generale della durevolezza, da quella esclusivamente economica a quella di tutti i servizi ecosistemici, che postula perpetuità e costanza della produzione e delle erogazioni (HELLRIGL 1986), integrando, senza esplicitarla, la capacità di adattamento delle foreste. Il tutto in una ricerca della "normalità".

In questo contesto si inseriscono due nuovi ordini di incognite: rapidi mutamenti del sistema economico/sociale e rapidi mutamenti del regime climatico (MARCHETTI *et al.* 2018).

La pianificazione forestale, non solo per massimizzare la redditività ma per la multifunzionalità, richiede **nuovi criteri metodologici** (diverse scale di piano e nuovi parametri da considerare). La sintesi comunque rimane quella di effettuare responsabilmente scelte selvicolturali opportune e monitorarne gli effetti nel tempo (BIANCHI *et al.* 2020).

I mutamenti climatici determinano un aumento del rischio e quindi della probabilità di danni da parte di diversi fattori, ondate di calore, incendi, vento, concentrazione delle precipitazioni nel tempo e nello spazio, patogeni. In particolare, il vento in Europa è il principale fattore di disturbo e agente di danno agli alberi (oltre il 50% del totale) con una media di due tempeste catastrofiche ogni anno (MOTTA *et al.* 2018).

Il rischio di subire danni da parte dei boschi a causa di tali fattori sembra destinato ad aumentare nelle prossime decadi, come effetto dei cambiamenti climatici in atto (IPCC 2022).

Questi fattori agiscono sui soprassuoli al momento dell'evento ma spesso riverberano i loro effetti sulla capacità del bosco di rigenerarsi. Incidono quindi sulla dinamica successionale del bosco e impongono al gestore/pianificatore di modificare/adattare le scelte selvicolturali in corso d'opera (ovvero in corso di validità del piano) e di conseguenza modificare le prescrizioni di intervento. Ciò influisce ulteriormente a livello di pianificazione in quanto **l'evoluzione del sistema richiede una pianificazione forestale in grado di modificarsi e adattarsi in corso di piano**.

Un esempio illuminante è quello rappresentato dalla foresta di Vallombrosa quando sono stati messi a confronto gli anni '60 del XX secolo con la seconda decade del XXI secolo. Già negli anni '70 ci si poneva il problema di contemperare previsioni pianificatorie con accadimenti accidentali; infatti, già nel piano di assestamento del periodo 1960-1969, in abetina pura a rinnovazione artificiale, a fronte di 10.997 m³ di tagli ordinari e colturali sono stati effettuati 13.520 m³ di tagli straordinari e accidentali (PATRONE 1970).

Nel marzo 2015 a seguito di un unico evento (tempesta di vento) sono stati atterrati 43.447 m³ di legno, su 233 ha interessati dall'evento (CHIRICI *et al.* 2016). In poche ore una quantità di legno pari circa 3,2 volte quel che, sempre accidentalmente, era stato abbattuto in un decennio circa 50 anni prima.

L'esito delle scelte selvicolturali adottate in fase di piano è quindi sempre meno prevedibile. Alla pianificazione forestale, aziendale e territoriale, è quindi richiesto di adattarsi in modo da trovare risposte e soluzioni a questi problemi crescenti (BIANCHI *et al.* 2004, AGNOLONI *et al.* 2009).

Sarà necessario affinare la capacità di analisi dei rischi, avere metodologie operative per il rapido adattamento delle prescrizioni di piano alle mutate condizioni occorse in corso di validità dei piani, valutare l'efficacia delle scelte selvicolturali previste ed il loro rapido adattamento.

Un aiuto potrà venire dal nuovo approccio pianificatorio previsto dal TUFF ed approfondito dalla SFN (Box 5.1-1) che potrà consentire di dare risposte migliori e adeguate in funzione di un più appropriato livello di scala.

Analisi climatiche, valutazione del rischio, analisi sulle potenzialità di risposta dei popolamenti forestali ai cambiamenti climatici, zonizzazione del territorio in funzione anche del rischio potranno essere validamente effettuate al livello territoriale (BIANCHI *et al.* 2006a, BIANCHI *et al.* 2006b, SECCO *et al.* 2006, CANTIANI 2006, CANTIANI e FERRETTI 2006, AGNOLONI *et al.* 2008, ARGENTI *et al.* 2008, AGNOLONI *et al.* 2009, BIANCHI *et al.* 2009, COSTANTINI *et al.* 2013), mentre a livello di piano aziendale si potrà intervenire tramite:

- la creazione di una rete di monitoraggio permanente per l'analisi della risposta dei popolamenti agli interventi;
- la stesura di un piano degli interventi che sia applicabile in modo flessibile e adattabile in corso di validità del piano;
- il rilievo di specifici parametri del popolamento forestale per la valutazione del rischio;
- la previsione di un'ampia e variegata gamma di possibili interventi selvicolturali applicabili con finalità di resistenza e resilienza («stabilità» del bosco, «stabilità meccanica» e «capacità di reazione» dei popolamenti forestali).

Inserire, ad esempio, nei piani di nuova adozione indicazioni per una selvicoltura che preveda un adattamento continuo e progressivo della tecnica in modo da:

- dare priorità alla gestione del bosco affinché mantenga **coperture perenni e stabili nel tempo** (quindi temperature e condizioni mitigate);
- **aumentare l'attenzione alle specie secondarie favorevoli** nei cedui e nelle fustaie per avere un bosco più resiliente e resistente;
- lasciare una quota, valutabile caso per caso, di **superficie ad evoluzione naturale** per tipologia boscata più rappresentativa (risorsa genetica);
- **fare attenzione alle scelte selvicolturali per specie con difficoltà di rinnovazione** perché magari al limite dell'areale o sotto quota;
- **lasciare ad evoluzione naturale ed indisturbati ettari di boschi a macchiatico negativo.**

Conclusioni

Scopo ultimo della pianificazione deve essere quello di **assicurare la perpetuità della foresta e la sua multifunzionalità**.

Non esiste un approccio unico ottimale in grado di massimizzare la resilienza e la capacità di adattamento alle condizioni future. È molto probabile che, con il passare del tempo e con il sopraggiungere di cambiamenti nelle interazioni tra foresta, clima e disturbi, si presentino per il pianificatore delle esigenze completamente diverse da quelle attuali (McKENZIE *et al.* 2003, WILLIAMS *et al.* 2007).

È necessaria quindi una **strategia di pianificazione che sia impostata in un'ottica di sempre maggiore flessibilità** all'interno di un'ampia gamma di strategie di gestione forestale, con la possibilità di scegliere tra adattamenti in grado di costruire resistenza e resilienza nel breve periodo e adattamenti a lungo termine con lo scopo di gestire il cambiamento man mano che le soglie vengono superate (BLATE *et al.* 2009).

Un unico approccio di pianificazione e adattamento non funzionerà soprattutto se si considera la varietà delle condizioni iniziali di partenza ovvero il grado di diversità degli ecosistemi all'interno delle foreste italiane (GASPARINI *et al.* 2022).

Un aiuto in questo senso è sicuramente fornito dalla pianificazione organizzata su **due livelli operativi: territoriale e aziendale**, in modo da analizzare il problema e organizzare possibili soluzioni alla scala idonea (un livello di pianificazione per ogni istanza).

Un altro elemento chiave è rappresentato dalla creazione di una **rete di monitoraggio permanente**, basata sui registri degli eventi/interventi correttamente e dettagliatamente compilati e in grado di fornire una valutazione in corso d'opera della risposta dei soprassuoli alle scelte pianificatorie/gestionali/selvicolturali.

Infine, **l'individuazione di nuovi percorsi amministrativi ed autorizzativi** in modo da poter adattare rapidamente i piani vigenti e le loro disposizioni agli effetti causati da eventi catastrofici.

BIBLIOGRAFIA

AGNOLONI S., CANTIANI P., DE MEIO I., D'ERCOLE E., IORIO G., FERRETTI F., FRATTEGANI M., MORGANTE L., 2008 - **Piano Forestale di Indirizzamento Territoriale della Comunità Montana Alto Molise**. CRA-INEA, Roma.

AGNOLONI S., BIANCHI M., BIANCHETTO E., CANTIANI P., DE MEIO I., DIBARI C., FERRETTI F., 2009 - **I Piani Forestali Territoriali di Indirizzamento. Una proposta metodologica**. Forest@ 6: 140-147.

ARGENTI G., BELLOTTI G., BERNETTI J., BIANCHETTO E., CANTIANI G., CANTIANI P., CAMINITI L., CONSIGLIO L., COSTANTINI G., DE CARLO S., DE MEIO I., DI GIULIO S., FERRETTI F., FRATTEGANI F., GUZZARDO E., LETTIERI T., LUCCHESI F., RUGGE C., 2008 - **Piano Forestale Territoriale di Indirizzamento della Comunità Montana Collina Materana**. INEA, Roma.

BAGNARESI U., BERNETTI G., CANTIANI M., HELLRIGL B., MAZZEI L., 1986 - **Nuove metodologie nella elaborazione dei piani di assestamento dei boschi**. ISEA, Bologna.

BERNETTI G., 1989 - **Assestamento Forestale: i piani particolareggiati forestali**. DREAM Italia Edizioni, Firenze.

BERTINI G., AMORIELLO T., FABBIO G., PIVOSI M., 2011 - **Forest growth and climate change: Evidences from the ICP-Forests intensive monitoring in Italy**. iForest - Biogeosciences and Forestry 4 (6): 262-267.

BIANCHI M., CANTIANI P., FERRETTI F., 2004 - **Si cominciò in Emilia-Romagna: dai piani economici dei boschi pubblici secondo la Legge forestale del 1923 agli attuali piani di gestione forestale nel contesto territoriale**. Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali 53: 67-76.

BIANCHI M., CANTIANI P., FERRETTI F., 2006a - **Criteri per la raccolta e organizzazione dei dati e per l'informatizzazione delle procedure per la pianificazione e gestione forestale**. Annali C.R.A. - ISSEL 32: 9-24.

BIANCHI M., CANTIANI P., FERRETTI F., 2006b - **Metodo per la raccolta e organizzazione dei dati e per l'informatizzazione delle procedure per la pianificazione e gestione forestale**. Annali C.R.A. - ISSEL 32: 25-95.

BIANCHI M., CANTIANI P., FERRETTI F., 2020 - **Assestamento forestale in Manuale dell'Agronomo**. REDA VI Edizione 2018, I ristampa 2020.

BIANCHI M., CANTIANI P., DE MEIO I., FERRETTI F., FRATTEGANI M., IORIO G., 2009 - **La pianificazione forestale: dagli indirizzi alle scelte di dettaglio. Il caso del territorio della Comunità Montana Alto Molise**. In: Scritti in onore di MARIO CANTIANI, a cura di LA MARCA O.: 61-74.

BLATE B.M., JOYCE L.A., LITTELL J.S., McNULTY S.G., MILLAR C.I., MOSER S.C., NELSON R.P., O'HALLORAN K., PETERSON D.L., 2009 - **Adapting to climate change in United States national forests**. Unasylva 60: 57-62.

BORIO G., 1910 - **Primi Elementi Di Economia E Stima Dei Fondi Agrari e Forestali**. Torino, UTET.

BUSSOTTI F., PAPITTO G., DI MARTINO D., COCCIUFFA C., CINDOLO C., CENNI E., BETTINI D., IACOPETTI G., POLLASTRINI M., 2022 - **Le condizioni delle foreste italiane stanno peggiorando a causa di eventi climatici estremi? Evidenze dalle reti di monitoraggio nazionali ICP Forests - CON.ECO.FOR**. Forest@ 19: 74-81. doi: 10.3832/efor4134-019

CANTIANI M., 1963 - **Sviluppi del metodo colturale nell'assestamento forestale**. L'Italia Forestale e Montana, 18 (1): 46-48.

CANTIANI M., 1984 - **Appunti di Assestamento forestale. Coordinati da L. Hermanin e O. la Marca, Istituto di Selvicoltura e Assestamento Forestale**. Università degli Studi di Firenze, Edizioni A-Zeta, Firenze.

CANTIANI M.G., 2006 - **L'approccio partecipativo nella pianificazione forestale**. Forest@ 3: 281-299.

CANTIANI P., FERRETTI F., 2006 - **ProgettoBosco come base per i Piani Natura 2000**. Sherwood. Foreste ed Alberi Oggi 123: 22-24.

CHIRICI G., BOTTALICO F., GIANNETTI F., ROSSI P., DEL PERUGIA B., TRAVAGLINI D., NOCENTINI S., MARCHI E., FODERI C., FIORAVANTI M., FATTORINI L., GUARIGLIA A., CIANCIO O., BOTTAI L., CORONA P., GOZZINI B., 2016 - **Stima dei danni da vento ai soprassuoli forestali in Regione Toscana a seguito dell'evento del 5 marzo 2015**. L'Italia Forestale e Montana, 71 (4): 197-213. <http://dx.doi.org/10.4129/ifm.2016.4.02>

COSTANTINI G., DE CARLO S., LETTIERI T., FRATTEGANI M., FERRETTI F., DE MEIO I., SIMONIELLO T., IMBRENDA V., CARONE M.T., DIGLIO S., 2013 - **La pianificazione di indirizzamento forestale su area va sta in Basilicata: il caso Alto Agri**. INEA, Roma.

CIANCIO O., NOCENTINI S., 1996 - **Il bosco e l'uomo l'evoluzione del pensiero forestale dall'umanesimo moderno alla cultura della complessità. La selvicoltura sistemica e la gestione su basi naturali**. In "Il bosco e l'uomo" (a cura di O. CIANCIO). Accademia Italiana di Scienze Forestali: 21-115.

CIANCIO O., NOCENTINI S., 2004 - **Il bosco ceduo. selvicoltura, assestamento, gestione**. Editore Accademia Italiana di Scienze Forestali.

Comunicazione della Commissione COM, 2021 - **82 final - Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici - La nuova Strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici**

Comunicazione della Commissione COM, 2021 - **82 final - La nuova strategia dell'UE per le foreste per il 2030**

CORONA P., 2016 - **Pensiero forestale**. Forest@ 13: 31-32. [online 2016-05-10] www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor0084-013

CORONA P., BECAGLI C., CANTIANI P., CHIANUCCI F., DI SALVATORE L., DI SALVATORE U., ROMANO R., VACCHIANO G., FERRETTI F., 2020 - **Elementi di orientamento per la pianificazione forestale alla luce del testo unico in materia di foreste e filiere forestali**. Rete Rurale Nazionale 2014-2020, Scheda n. 22.2 - Foreste, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Roma. URL: www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/21957

CORONA P., CUCCA B., ALIVERNINI A., 2022 - **Un percorso sfidante per la pianificazione forestale in Italia**. Forest@ 19: 95- 97. doi: 10.3832/efor4175-019.

DI TELLA G., 1920 - **Boschicoltura e torrenti italiani**.

EASAC, 2018 - **Extreme weather events in Europe. Preparing for climate change adaptation: an update on EASAC's 2013 study**. European Academies Science Advisory Council, Brussels, Belgium. http://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/EASAC_Extreme_Weather_2018_web.pdf

FAO, 2022 - **The State of the World's Forests 2022. Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies**. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cb9360en>

FOREST EUROPE, 2020 - **Adaptation to Climate Change in Sustainable Forest Management in Europe**. Liaison Unit Bratislava, Zvolen, 2020.

GAGLIOPPA P., GUADAGNO R., MARINO D., MARUCCI A., PALMIERI M., PELLEGRINO D., SCHIRPKA U., CARACAUSI C., 2017 - **L'assestamento forestale basato su servizi ecosistemici e pagamenti per servizi ecosistemici: considerazioni a valle del progetto Life Making Good Natura**. Forest@ 14: 99-106 [online 2017-03-28] URL: www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor2235-014

GASPARINI P., DI COSMO L., FLORIS A., 2022 - **Area and characteristics of Italian forests**. In P. GASPARINI, L. DI COSMO, A. FLORIS, e D. DE LAURENTIS (Eds.), Italian National Forest Inventory-Methods and results of the third survey. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98678-0_7

HARI V., RAKOVEC O., MARKONIS Y., HANEL M., KUMAR R., 2020 - **Increased future occurrences of the exceptional 2018-2019 Central European drought under global warming.** Scientific Reports 10: 12207. doi: 10.1038/s41598-020-68872-9.

HELLRIGL B., 1986 - **I compiti dell'assessamento forestale. Nuove metodologie nella elaborazione dei piani di assessamento dei boschi.** ISEA, 3-18.

HOFMANN A., 1924 - **L'assessamento dei boschi comunali con particolare riguardo alle condizioni della montagna friulana.** Udine, Ed. Del Bianco.

ICP-Forests, 2016 - **30 years of monitoring the effects of long range transboundary air pollution on forests in Europe and beyond.** Web site. [online] URL: <http://icp-forests.net>

IPCC, 2014 - **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC, 2022 - **Climate change 2022. Impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II, Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** WMO-UNEP.

JANDL R., SPATHELF P., BOLTE A., PRESCOTT C.E., 2019 - **Forest adaptation to climate change – is non-management an option?** Annals of Forest Science 76, 48. doi: 10.1007/s13595-019-0827-x.

LINDNER M., MAROSCHEK M., NETHERER S., KREMER A., BARBATI A., GARCIA-GONZALO J., SEIDL R., DELZON S., CORONA P., KOLSTRÖM M., LEXER M.J., MARCHETTI M., 2010 - **Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems.** Forest Ecology and Management 259 (4): 698-709. doi: 10.1016/j.foreco.2009.09.023

MARCHETTI M., MOTTA R., PETTENELLA D., SALLUSTIO L., VACCHIANO G., 2018 - **Le foreste e il sistema foresta-legno in Italia: verso una nuova strategia per rispondere alle sfide interne e globali.** Forest@ 15: 41-50. doi: 10.3832/efor2796-015.

McKENZIE D., PETERSON D.W., PETERSON D.L., THORNTON P.E., 2003 - **Climatic and biophysical controls on conifer species distributions in mountain forests of Washington state, USA.** Journal of Biogeography 30: 1093-1108.

MESSIER C., PUETTSMANN K., CHAZDON R., ANDERSSON K., ANGERS V., BROTONS L., FILOTAS E., TITTLER R., PARROTT L., LEVIN S., 2015 - **From management to stewardship: viewing forests as complex adaptive systems in an uncertain world.** Conservation Letters 8: 368-377.

MOTTA R., ASCOLI D., CORONA P., MARCHETTI M., VACCHIANO G., 2018 - **Selvicultura e schianti da vento. Il caso della "tempesta Vaia".** Forest@ 15: 94-98. doi: 10.3832/efor2990-015.

NOCENTINI S., 2019 - **La gestione del bosco come sistema biologico complesso: una questione di teoria e di metodo.** L'Italia Forestale e Montana, 74 (1): 11-23. <https://doi.org/10.4129/itm.2019102>

PACI M., 2004 - **Ecologia Forestale. Elementi di conoscenza dei sistemi forestali.** Edagricole, Bologna.

PATRONE G., 1944 - **Lezioni Di Assesamento Forestale.** Tipografia Mariano Ricci.

PATRONE G., 1970 - **Piano di assessamento delle Foreste di Vallombrosa e di S. Antonio per il quindicennio 1970-1984.** Tipografia R. Coppini & C.

PICCIOLI F., 1881 - **Elementi di tassazione ed assessamento forestale.** Firenze Tipi dell'Arte della Stampa.

PIUSSI P., ALBERTI G., 2015 - **Selvicultura generale: boschi, società e tecniche culturali.** Compagnia delle foreste.

RAF, 2018 - **Rapporto sullo stato delle Foreste e del settore forestale in Italia.** Compagnia delle Foreste, Arezzo

ROMANO R., 2018 - **Il Testo unico in materia di foreste e filiere forestali, in Agriregionieuropea.**

SECCO L., AGNOLONI S., CANTIANI P., DE MEO I., FERRETTI F., PETTENELLA D., 2006 - **A methodology to integrate SFM standards on forest cultural heritage into meso-scale forest planning: preliminary results of the RiSelvItalia 4.2 research project.** In: PARROTTA J., AGNOLETTI M., JOHANN E. (a cura di). 2006. Cultural Heritage and Sustainable Forest Management: The role of traditional Knowledge. Proceedings of IUFRO Conference, Firenze, Italy, 8-11.06.2006. Warsaw: MCPFE Liaison Unit-Warsaw, Volume 2: 443-450.

SPATHELF P., STANTURF J., KLEINE M., 2018 - **Adaptive measures: integrating adaptive forest management and forest landscape restoration.** Annals of Forest Science 75: 55. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0736-4>

TASSINARI G., 1951 - **Manuale dell'Agronomo** Ramo Ed. Agricoltori.

TRUMBORE S., BRANDO P., HARTMANN H., 2015 - **Forest health and global change.** Science, 349(6250): 814-818.

WILLIAMS J.W., JACKSON S.T., KUTZBACH J.E., 2007 - **Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 104, 5738-5742.

AUTORI

Umberto Di Salvatore, CREA - Centro di ricerca Politiche e Bioeconomia.
Email: umberto.disalvatore@crea.gov.it

Paolo Cantiani[†], CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno.

Fabrizio Ferretti
CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno.
Email: fabrizio.ferretti@crea.gov.it



5.1 | Abstract

Forest planning and adaptation: a response to the challenge of climate change

Climate change, accompanied by the increasingly frequent occurrence of extreme events, poses the main challenge of our time, especially for those involved in the management of natural environments, particularly complex biological systems such as forests. Rain, wind, and fire have always been natural ecological factors influencing dynamics within forest populations, but in recent decades, their increased severity has severely affected the resilience and resistance capacities of forest ecosystems. The destructive force of these phenomena is often exacerbated by biotic factors such as diseases and pest attacks, further impacting forest ecosystem stability and efficiency, with socio-economic consequences for local communities.

To address the challenges posed by climate change, efforts must intensify to implement adaptation measures, considering medium and long-term forecasting capabilities. Adaptation should be an ongoing proactive process, understanding the interplay between hazard, exposure, and vulnerability.

Sustainable Forest Management (SFM) is recognized for its potential to positively influence biodiversity levels and enhance forest responsiveness, thus mitigating the effects of climate change. Forest planning, as a component of SFM and adaptation to climate change, plays a fundamental role at all levels. Through forest planning, it is possible to diversify and tailor management options over time and space, accounting for different forest structure and composition situations and environmental variables, including the ability to predict the effects of new climate scenarios.

In the Italian context, forest planning is currently insufficient and varies across different regions and provinces. Legislative measures, such as the "Testo unico in materia di foreste e filiere forestali (TUFF)" and its implementing decrees, aim to increase planned forest areas and harmonize practices at various territorial levels. TUFF

recognizes the importance of SFM criteria in integrating measures for correct forest management, considering aspects such as bioeconomy, green economy, and climate change mitigation. Climate change poses uncertainties in forest planning, as it increases the risk of damage from various factors like heatwaves, fires, windstorms, concentrated precipitation, and pathogens. The evolving climate influences the succession dynamics of forests, **requiring planners to modify and adapt silvicultural choices during the planning period.**

The new planning approach provided by TUFF and the National Forest Strategy (SFN) could offer better responses based on appropriate scales. Climate analyses, risk assessment, and evaluation of forest stand responses to climate change can be effectively conducted at the territorial level. At the company level, planners can create a **monitoring network for analyzing stand responses to interventions, develop flexible and adaptable intervention plans, assess specific forest parameters for risk evaluation, and propose a diverse range of silvicultural interventions** to enhance resistance and resilience.

The final goal of planning is to ensure forest perpetuity and multifunctionality. There is no one-size-fits-all approach to maximize resilience and adaptability to future conditions. Flexibility within a broad range of forest management strategies is essential, allowing for short-term and long-term adaptations as thresholds are crossed. Individual approaches to planning and adaptation must consider the diversity of initial conditions and ecosystems within Italian forests.

Operational planning at both territorial and company levels, along with a well-organized monitoring network, will aid in analyzing the problem and organizing appropriate solutions at the suitable scale. Implementing new administrative and authorization procedures will enable rapid adaptation of existing plans and provisions to the effects of catastrophic events.





CAPITOLO 6

IL SISTEMA REALIZZATO DA AFORCLIMATE PER SUPPORTARE LA GESTIONE ADATTATIVA

- 6.1** Un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per la pianificazione e la gestione forestale delle faggete



6.1

Un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) per la pianificazione e la gestione forestale delle faggete

Ugo Chiavetta - CREA, Centro di ricerca Foreste e Legno

Uno degli aspetti distintivi del progetto Life AForClimate è la possibilità di mettere a disposizione dei gestori forestali uno strumento a supporto delle decisioni (Decision Support System - DSS) per la pianificazione degli interventi selvicolturali. Lo strumento, costituito da una piattaforma *online* (www.aforclimate.eu/piattaforma-dss), permette di suggerire, all'inizio della programmazione annuale degli interventi per un determinato complesso forestale, **in quali aree la crescita potenziale della foresta è rallentata, quindi minore della media osservata nel recente passato**. Il sistema valuta come le variabili climatiche degli ultimi anni possono influenzare positivamente o negativamente il comportamento della foresta relativamente a:

- **la potenzialità di crescita;**
- **la probabilità di maggiore produzione di seme.**

Il DSS permette di visualizzare diversi parametri (meteorologici e geografici) relativi a delle aree forestali d'interesse e al loro andamento nel corso del tempo. In questo modo, tenendo conto delle condizioni climatiche stagionali dell'area interessata, il sistema consente di stabilire il periodo di intervento selvicolturale più consono in base alla pianificazione forestale a cui è assoggettata tale area, trovando quindi un punto di accordo tra l'interesse del gestore e l'eventuale fase di reattività del bosco in relazione all'andamento climatico.

Moduli disponibili nel DSS

Attualmente nel DSS realizzato da AForClimate sono disponibili due moduli:

- reattività della **crescita dendrometrica;**
- capacità di **produzione di seme abbondante (pascionia).**

Per entrambi i moduli, sulla piattaforma è possibile eseguire operazioni relativamente alle aree dimostrative del progetto o anche inserire nuove aree di interesse. I due moduli elaborano le informazioni grazie a degli algoritmi appositamente sviluppati nell'ambito del progetto AForClimate.

Algoritmo di crescita

Lo sviluppo degli algoritmi di crescita è basato su un approccio modellistico multilineare realizzato sulla base di osservazioni dendrocronologiche. **Il presupposto teorico è che la crescita del popolamento di faggio sia influenzata dalle condizioni meteorologiche cor-**

renti (sperimentate nel corso dell'anno di osservazione) e da quelle sperimentate nell'immediato passato.

Ovviamente la crescita totale è frutto di entrambe le componenti. Non potendo prevedere le condizioni meteorologiche che un popolamento forestale sperimenterà nell'anno in corso, gli algoritmi modellizzano la componente di reattività attesa per il futuro triennio derivante dalle condizioni meteorologiche sperimentate nei precedenti due anni.

Nel progetto Life AForClimate sono stati calibrati tre modelli (uno per ogni sito del progetto: Toscana, Molise e Sicilia) che descrivono **l'incremento radiale medio standardizzato atteso nei successivi tre anni, rispetto all'anno di applicazione del modello, utilizzando le variabili climatiche di temperatura media mensile e precipitazione totale mensile dei 24 mesi precedenti.**

La calibrazione ha usato i dati di lettura dendrocronologica di circa 30 alberi per ogni sito con le seguenti caratteristiche:

- piante dominanti;
- poste su stazioni meteo-sensibili (escludendo soprattutto gli impluvi);
- di grandi dimensioni (in modo da avere sequenze di 50-80 anni circa).

Nello specifico, sono state estratte due carote per ciascun albero, a 90 gradi l'una dall'altra, opportunamente preparate e poi lette al dendrocronografo. Le letture delle carote di ogni sito sono state sincronizzate e per ciascun sito è stata elaborata una serie *master* che descrive l'andamento dell'accrescimento radiale medio standardizzato delle 30 piante considerate come popolamento. Per ogni serie *master* e per una media mobile di tre anni lungo la serie, è stato poi calibrato un modello che stimasse l'incremento medio radiale standardizzato a partire dalle variabili meteorologiche precedentemente citate. Un passaggio successivo ha verificato che non ci fossero problemi statistici legati a fenomeni di *overfitting*¹⁾. Infine, i modelli sono stati opportunamente validati con un approccio di *cross-validazione* detto *k-fold*²⁾ mostrando un errore compreso tra il 9 e il 17%.

In pratica, l'approccio è il seguente: per stimare quale sarà la propensione all'accrescimento radiale (ri-

1) L'*overfitting* in statistica è una condizione in cui un modello è eccessivamente complesso e si adatta troppo bene ai dati di addestramento, perdendo la capacità di generalizzare correttamente rispetto a nuovi dati. Ciò può portare a prestazioni scadenti del modello quando viene applicato a dati non utilizzati durante l'addestramento.

petto alla media osservata sulle carote) nell'anno T_0 vanno conosciuti i valori di 48 variabili: temperature medie mensili e precipitazioni totali mensili dei 24 mesi (12+12) relativi a T_{-1} e T_{-2} . Ogni modello è sito specifico e per ogni sito sono state selezionate solo alcune delle 48 variabili disponibili, diverse a seconda del sito. Geograficamente, l'applicabilità del modello è limitata e rispecchia l'adattamento di quella popolazione alle condizioni meteo-stazionali. Pertanto, per la corretta applicazione del modello in nuove aree, si suggerisce di consultare la sezione formazione del sito del progetto (www.atorclimate.eu/formazione) e prendere contatto con il CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno, per realizzare un modello apposito o valutare l'uso di uno già esistente.

Anche l'algoritmo della pasciona si basa sulla disponibilità di variabili meteorologiche relative ai due precedenti anni. Il suo funzionamento è stato illustrato in precedenza nel capitolo 4.5. Dal punto di vista operativo, di seguito sono descritte le caratteristiche della piattaforma e delle due componenti crescita e pasciona.

Previsione della crescita

Come descritto sopra, questa sezione si focalizza sulla previsione dell'incremento radiale legnoso medio usando uno o più algoritmi che mettono in relazione la crescita potenziale della foresta rispetto all'andamento delle variabili climatiche analizzate verificatosi negli ultimi anni. La piattaforma ha tre sezioni di *data entry*:

- **sezione di DataBase climatico**, che può essere implementata attraverso dati propri del gestore oppure direttamente con dati online del DataBase cli-

matico Copernicus (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>);

- **sezione di inserimento algoritmi**, al momento completa per i tre siti di applicazione del progetto (Toscana, Molise e Sicilia);
- **sezione di inserimento cartografia** del Piano di gestione forestale.

Il flusso elaborativo della piattaforma prevede quattro fasi:

- **importazione della mappa degli interventi di un determinato piano di gestione forestale**: la mappa, acquisita in formato .SHP, richiede una specifica struttura. I principali campi informativi riguardano un codice identificativo della particella, l'intervento selvicolturale previsto, l'anno di intervento e la collocazione dell'unità forestale rispetto alla fascia altimetrica e alla sua esposizione (ad esempio collocazione fascia altitudinale alta, esposizione nord; fascia bassa, esposizione sud; e così via). La piattaforma contiene un processo di validazione che permette di correggere eventuali problemi topologici della mappa di ingresso;
- **sceita dell'algoritmo**: l'algoritmo da impiegare è specifico dell'area geografica di appartenenza del Piano di gestione forestale. In assenza di un algoritmo sito specifico l'utente potrà essere supportato dallo staff scientifico del progetto per procedere alla definizione di un algoritmo adeguato all'area di applicazione. Gli algoritmi al momento presenti nella piattaforma riguardano le tre foreste pilota dove il progetto è stato applicato;
- **sceita del dataset climatico**: la piattaforma contiene più *dataset* climatici. È stata infatti progettata per ricevere serie climatiche direttamente raccolte in sito attraverso capannine meteorologiche, ma anche dai principali *database* climatici presenti in rete che mettono a disposizione serie climatiche ed elaborazioni spaziali dei parametri climatici;
- **elaborazione**: una volta conclusa la fase di definizione delle condizioni di base viene avviata l'elaborazione.

2) Il metodo di cross-validazione *k-fold* è una tecnica comune utilizzata nell'apprendimento automatico (*machine learning*) e nella statistica per valutare le prestazioni di un modello statistico, un algoritmo di apprendimento automatico o un classificatore. Il metodo *k-fold* prevede la suddivisione dei dati in *k* parti uguali. Il modello viene addestrato su *k-1* parti e testato sulla parte rimanente, ripetendo questo processo *k* volte. Alla fine, si calcolano le prestazioni medie del modello su tutte le iterazioni. Questo aiuta a valutare in modo affidabile le prestazioni del modello e a evitare problemi di sovrallenamento o sottallenamento.

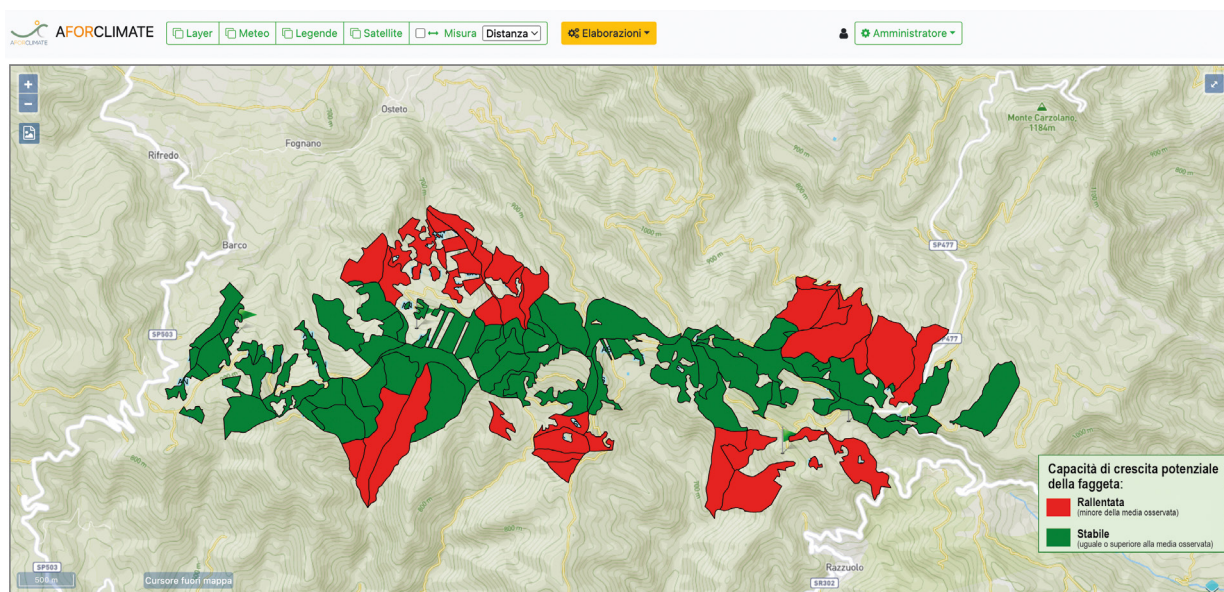


Figura 6.1-1 - Esempio di restituzione grafica dell'interfaccia GIS della piattaforma. In colore rosso le particelle dove la capacità di crescita potenziale della faggeta è rallentata (minore della media osservata).

L'elaborazione restituisce un **tabulato che indica, per ciascuna particella o sottoparticella soggetta ad intervento, il livello di maggiore o minore potenzialità di crescita che può essere previsto per i tre anni vegetativi successivi**. Oltre al tabulato, un'interfaccia GIS della piattaforma **tematizza le particelle con colori rosso o verde**, che indicano rispettivamente quelle aree dove si prevede un rallentamento della capacità di crescita potenziale della foresta rispetto a quelle dove invece la capacità potenziale di crescita sarà più favorita (Figura 6.1-1).

Previsione della pasciona

La piattaforma contiene una sezione dedicata all'applicazione di un algoritmo di previsione della pasciona (pacchetto ForeMast) dall'interfaccia ShinyForeMast, sviluppata durante il progetto AForClimate. L'algoritmo calcola la probabilità di produzione di seme nell'anno corrente, utilizzando solo dati meteorologici e le coordinate dell'area di interesse. **I dati riguardano la temperatura e la precipitazione media dei due anni precedenti, calcolate per i mesi estivi (giugno, luglio e agosto), in quanto si sono rivelate essere dei fattori fondamentali nell'innescare annate con abbondante produzione di seme.**

Nella sezione "pasciona" della piattaforma DSS (www.aforclimate.eu/piattaforma-dss) è riportata una guida per l'applicazione dell'algoritmo alla specifica area geografica di cui l'utente ha necessità di ottenere una valutazione. L'algoritmo restituisce un grafico che rappresenta l'andamento delle probabilità di pasciona nel periodo climatico considerato (Figura 6.1-2). L'ultimo anno di riferimento è quello relativo alla previsione. **Ai fini gestionali si consiglia di considerare utile per la realizzazione di interventi a favore della rinnovazione la probabilità espressa dall'algoritmo al di sopra della soglia del 75%.** Utenti esperti possono anche utilizzare l'algoritmo nella sua versione per il software R, disponibile al link <https://github.com/uchiavetta/foreMast>. Per maggiori approfondimenti vedere il capitolo 4.5.

Accesso

La piattaforma è pubblicata nel sito web di Life AForClimate (www.aforclimate.eu/piattaforma-dss) e il suo accesso è permesso a seguito di una registrazione da parte dell'utente. I livelli di accesso presenti in piattaforma sono tre:

- **amministratore:** ha pieno accesso alla piattaforma per impostare anche i parametri degli strumenti messi a disposizione;
- **moderatore:** rappresenta colui che può gestire le richieste che vengono effettuate dagli utenti e approvare o meno le richieste di registrazione nel portale;
- **utente:** si può iscrivere alla piattaforma e caricare le proprie richieste. Avrà a disposizione la propria *dashboard* su cui monitorare e caricare le richieste.

Poiché gli aspetti che questo strumento tratta richiedono comunque un contributo da parte del gruppo di riferimento scientifico del progetto, è stata definita una procedura di utilizzo che segue i due *step* qui elencati:

- **registrazione alla piattaforma, mediante specifico form**, a seguito della quale l'utente sarà abilitato dal gestore del servizio mediante pannello di controllo;
- **creazione della richiesta tramite la propria area riservata:** l'utente, una volta connesso alla piattaforma, potrà accedere alla propria *dashboard* dove sarà possibile creare e gestire le proprie richieste.

Nella *dashboard*, l'utente potrà quindi monitorare lo stato delle richieste già inoltrate, crearne di nuove e visualizzarle tutte, sia in formato tabellare a video, sia in formato grafico (nella visualizzazione nell'apposito strumento webGIS messo a disposizione nella piattaforma). Inoltre, potrà essere esportata in formato .XSL la lista delle particelle con i dati caricati nella richiesta.

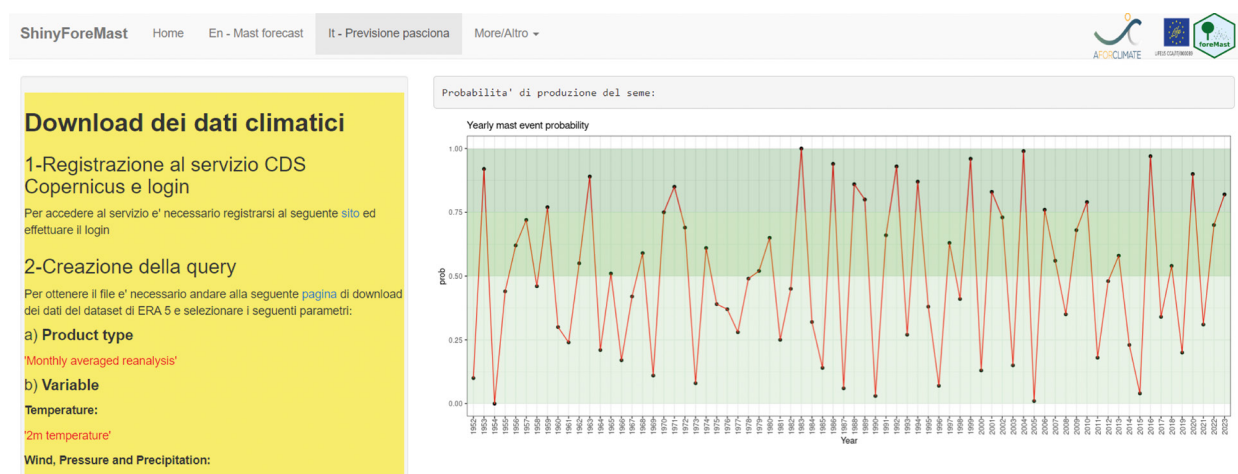


Figura 6.1-2 - Esempio di restituzione grafica dell'interfaccia GIS della piattaforma sull'andamento delle probabilità di pasciona.

Interpretazione dei risultati e applicabilità

Anzitutto bisogna premettere che gli strumenti disponibili sulla piattaforma sono stati pensati ed elaborati per faggete governate a fustaia e trattate a tagli successivi uniformi, dove una delle finalità è quella di ritrarre materiale legnoso. I modelli relativi alla crescita dendrometrica possono rivelarsi utili anche in fase di avviamento diretto all'alto fusto attraverso riduzione progressiva dei polloni delle ceppaie presenti. Come mostrato in precedenza, la piattaforma restituisce due principali *output*:

- l'indicazione che il popolamento stia andando o meno incontro ad un periodo di minore reattività di crescita dendrometrica;
- la probabilità che nella successiva stagione vegetativa ci sia un'abbondante fruttificazione.

Per quanto riguarda lo **stato di reattività della crescita dendrometrica**, l'*output* della piattaforma può dare due valori alternativi: crescita rallentata o crescita stabile. Un eventuale *output* che indichi una crescita attesa rallentata deve essere interpretato come l'indicazione che il popolamento sia andato incontro, nell'immediato passato, a condizioni fuori dal suo *optimum* meteo-climatico di crescita. **Questo segnale "di allerta", preso singolarmente, deve indurre il gestore a considerare (nel quadro dell'intero Piano di gestione) la necessità di applicare una immediata azione mitigatrice alla particella al fine di escludere altri fattori di stress.** A titolo di esempio, se per quella particella fosse previsto un taglio intercalare nel prossimo futuro (tra 5 anni, quindi in condizione di un popolamento già denso), questo intervento (che ridurrebbe la competizione per le risorse idriche in caso di un evento di siccità) può essere anticipato (sempre che sia selvicolturalmente congruente).

Un altro caso potrebbe essere rappresentato da un segnale di crescita stabile della particella per la quale è previsto un diradamento nello stesso anno. Tuttavia, se su un'altra particella si riscontrasse invece un segnale "di allerta", come nell'esempio precedente, e il

gestore non fosse in grado (o non intendesse) intervenire su entrambe le particelle, allora potrebbe scegliere di posticipare l'intervento previsto lo stesso anno e anticipare quello della particella in stato di allerta.

Sempre nella programmazione annuale degli interventi da applicare, un segnale di allerta di crescita rallentata, come nel primo caso ipotizzato (intervento previsto dopo 5 anni), potrebbe determinare la scelta di anticipare sì l'intervento, ma di operare con una percentuale di diradamento leggermente più cauta, in quanto la crescita dopo l'intervento sarebbe più lenta di quella media prevista e quindi il popolamento impiegherebbe più tempo a recuperare la massa asportata. Per il ragionamento inverso, invece, se si intervenisse comunque su una particella che ha mostrato un *output* di crescita attesa stabile, potrebbe essere scelto di operare con un'intensità leggermente più alta.

Infine, **la potenzialità di questa componente della piattaforma si esprime non solo in fase di applicazione del Piano di gestione, ma anche nella fase di redazione di quelli futuri.** Infatti, prima di definire le finalità e le modalità di gestione nel piano, gli algoritmi possono essere eseguiti a ritroso in presenza di un *dataset* storico di dati meteo-climatici come quelli di Copernicus su cui si basa la piattaforma. In questo caso **potrebbero essere individuate le particelle che nel corso degli ultimi anni sono andate ripetutamente incontro a fasi di crescita rallentata.**

Per queste particelle sarebbe opportuno adottare una strategia di gestione diversa da quella dell'ordinaria faggeta trattata a tagli successivi, considerando altre modalità di intervento che introducano una o più strategie adattative, tra cui quelle descritte nei precedenti capitoli 3 e 4, valutando come *extrema ratio* anche quello di assecondare un progressivo cambio di specie.

Come accennato nei paragrafi precedenti, gli algoritmi hanno validità locale; essi dovrebbero essere realizzati durante la fase di redazione del piano di gestione e nel suo ambito applicati. Tuttavia, una loro estensione a livello geografico e temporale potrebbe essere ragionevole per scopi pratici. In ogni caso, se ne consiglia l'uso limitatamente ad un comprensorio territorialmente limitato e temporalmente si suggerisce una revisione



dei modelli dopo 20 anni, cioè dopo la loro applicazione per circa due Piani di gestione.

Per quanto riguarda, invece, la **componente della pasciona**, l'algoritmo va applicato nella circostanza di effettuare un taglio di sementazione all'inizio della fase di rinnovazione di una fustaia di faggio. In questo caso l'*output* dell'algoritmo è un valore compreso tra 0% e 100%. **Un'alta probabilità di pasciona (superiore al 75%) costituisce un valore che garantisce una buona possibilità che, dopo il taglio di sementazione, sia prodotta una quantità di seme sufficiente ad assicurare la futura rinnovazione.** Anche la scelta di accettare valori sopra il 50%, comunque, può costituire un rischio ponderato in casi in cui (ad esempio per la particolare omogeneità e maturità del soprassuolo) si voglia comunque mettere a rinnovazione una porzione di bosco. È bene specificare che l'algoritmo è stato testato e validato sulla produzione percentile di seme in diverse serie di osservazioni in campo in varie località europee. Pertanto, **l'algoritmo ha una validità territoriale paneuropea e quindi può essere utilizzato lungo tutto l'areale di distribuzione del faggio.** Invece, proprio perché l'algoritmo prevede la produzione percentile di seme (quindi relativa alla produzione media di quella

particolare stazione) il gestore dovrà interpretare, di volta in volta, se per quella stazione possa essere accettabile una stima del 50% (sufficiente per stazioni con produzione medio-abbondante in termini assoluti) oppure attendere una stima del 75% (suggerita per stazioni mediamente poco produttive in termini di quantità assoluta di seme).

Ovviamente, gli esempi citati sopra sono solo alcune considerazioni generali che vanno comunque calate nel contesto specifico di applicazione dell'approccio suggerito da AForClimate. Un confronto con il gruppo di ricerca del CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno è suggerito sia in fase di redazione del piano sia in fase di applicazione della piattaforma all'interno di un Piano già esistente.

AUTORE

Ugo Chiavetta, CREA - Centro di ricerca Foreste e Legno. E-mail: ugo.chiavetta@crea.gov.it

6.1 | Abstract

Decision Support System (DSS) for Forest Planning and Management

The Life AForClimate project introduces a comprehensive Decision Support System (DSS) online platform designed to assist forest managers in planning silvicultural interventions. The tool is particularly notable for its focus on assessing areas within forests where growth is slower due to climatic variables.

The DSS incorporates two key components: dendrometric growth reactivity and mast seed production. The former predicts radial growth increase over the next three years based on climate data from the preceding two years, and the latter estimates seed production probabilities. Growth predictions are calibrated through multilinear models validated using k-fold cross-validation. Mast seed predictions are based on a hierarchical algorithm derived from literature and validated through external pan-European field data.

The platform allows users to input relevant data, choose algorithms, and view results in both tabulated form and through a Geographic Information System (GIS) interface. Access to the platform is facilitated through the Life AForClimate website, with varying user levels, including administrators, moderators, and regular users. A two-step registration process is in place, and users can monitor and manage their re-

quests through a dashboard.

The tool primarily targets managed beech forests, particularly those with a shelterwood system and a productive function. However, its adaptability extends to coppice under conversion into high forests, and the results offer valuable insights during both planning and application phases.

The DSS provides nuanced outputs, indicating whether a forest stand is experiencing a dendrometric growth reduction or reactivity and predicting the probability of abundant fruiting in the next growing season (mast seed). Reactivity signals prompt forest managers to consider timely interventions, adjusting thinning intensity based on growth status.

Beyond immediate application, the platform's algorithms support retroactive analysis, identifying stands that have consistently faced slowed growth, requiring different management strategies.

Local validity of growth models is emphasized, with recommendations to review models every 20 years. For seed production, the algorithm's pan-European validity is acknowledged.

The platform serves as a valuable tool, providing general guidelines adaptable to specific contexts with input from experts on particular issues.





CAPITOLO 7

GESTIONE ADATTATIVA AI CAMBIAMENTI CLIMATICI NEGLI SCHEMI DI CERTIFICAZIONE FSC® E PEFC

- 7.1** Gestione adattativa ai cambiamenti climatici: la certificazione FSC®
- 7.2** Gestione adattativa ai cambiamenti climatici: la certificazione PEFC



7.1

Gestione adattativa ai cambiamenti climatici: la certificazione FSC®

Ilaria Dalla Vecchia - FSC® Italia

Enrico Bonis - FSC® Italia

Introduzione

Le foreste svolgono un ruolo cruciale nella sfida contro i cambiamenti climatici svolgendo, tra le varie funzioni, anche quella di contenimento e assorbimento delle emissioni di carbonio. Le foreste sono seconde solo agli oceani in quanto maggiori riserve mondiali di carbonio: ad esempio, le foreste tropicali da sole assorbono fino a 1,8 gigatonnellate di carbonio dall'atmosfera ogni anno. È quindi di fondamentale importanza impegnarsi a mantenere ecosistemi forestali sani e resilienti, che siano in grado di continuare a svolgere queste importanti funzioni.

Gli strumenti come la gestione attiva di queste aree possono ulteriormente aumentare queste capacità, e ampliare gli effetti positivi su ambiente, persone ed economia.

La certificazione FSC® (Forest Stewardship Council®) è uno strumento che promuove una gestione forestale rispettosa dell'ambiente, socialmente utile ed economicamente sostenibile. Per promuovere la propria *mission* e *vision*, FSC® si basa su una serie di dieci Principi e relativi Criteri, che descrivono gli elementi essenziali per una gestione forestale responsabile.

Grazie al suo approccio responsabile nella gestione delle foreste, ad una filiera trasparente e al lavoro di sensibilizzazione di governi, amministrazioni, imprese e cittadini, FSC® sostiene attivamente il contributo che le foreste hanno nella sfida alla crisi climatica.

Nell'ultimo anno FSC® Italia ha condotto, in collaborazione con altri uffici europei di FSC®, uno studio per valutare i reali impatti derivanti dalla certificazione forestale, indagando la relazione tra i requisiti previsti dallo standard di gestione forestale e le azioni di mitigazione degli effetti derivanti dal cambiamento climatico. Tra i risultati più significativi è emerso come la certificazione FSC® promuova una gestione di tipo adattativo: all'interno dello standard di gestione forestale FSC®, vi sono infatti più Criteri che indirizzano il gestore forestale ad includere nella pianificazione gli esiti derivanti dal monitoraggio delle attività di gestione e i relativi impatti sulla superficie forestale certificata. Ciò rappresenta una solida base che il gestore può utilizzare nella pianificazione delle proprie attività, permettendo così di adattare le proprie scelte gestionali sulla base dei risultati derivanti dai rilevamenti in campo (FSC® Italy *et al.* 2022).

Più in dettaglio, tra i Criteri che risultano avere un collegamento diretto con la mitigazione degli impatti negativi derivanti dal cambiamento climatico e la perdita di biodiversità, troviamo i Criteri legati al calcolo del tasso di prelievo sostenibile (Criterio 5.2), i Criteri legati alla

valutazione degli impatti ambientali (si veda Tabella 7.1-1, Criteri 6.1 - 6.8), e quelli relativi all'identificazione, gestione e protezione dei cosiddetti Alti Valori di Conservazione (AVC - dall'inglese HCVs, High Conservation Values), relativi ai Criteri 9.1 - 9.4. In particolare, all'interno del Criterio 9.1, vengono definiti i **"servizi ecosistemici critici"**, ovvero quei servizi naturali la cui interruzione causerebbe un serio danno o sofferenza agli utilizzatori di tale servizio, che sono allo stesso tempo maggiormente esposti agli effetti del cambiamento climatico e sui quali è particolarmente necessario applicare una gestione adattativa. Infine, è utile citare anche i Criteri legati alle modalità di implementazione delle attività di gestione forestale, tra le quali la limitazione all'uso di specie alloctone, il favorire metodi di rinnovazione naturale fino alla scelta di pratiche selvicolturali il più possibile adattate alla tipologia forestale e alle caratteristiche ed esigenze del territorio.

Ulteriori evidenze della connessione tra la certificazione di gestione forestale FSC® e i risultati della gestione adattativa da essa promossa si ritrovano in diverse ricerche scientifiche. Si è dimostrato, ad esempio, come la certificazione FSC® abbia un impatto positivo nel miglioramento delle condizioni degli ecosistemi dei corsi d'acqua e delle aree ripariali (Dias *et al.* 2014). Si è inoltre evidenziata la riduzione di impatti negativi sugli ambienti particolarmente fragili grazie alla diminuzione dell'incidenza delle attività di utilizzazione boschiva (OLIVEIRA *et al.* 2016). Inoltre, l'identificazione di un'area rappresentativa pari al 10% dell'intera superficie forestale (così come richiesto dallo standard di gestione forestale), favorisce la diversità di specie, di habitat e quindi la conservazione e il mantenimento della biodiversità (Dias *et al.* 2016). Infine, l'identificazione delle aree ad alto valore di conservazione (AVC) garantisce la protezione degli habitat e delle specie anche al di fuori delle aree protette o delle aree che rientrano all'interno della rete Natura 2000 (FSC® Portugal, 2020).

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON J.T., WAGNER M.R., RUSHWORTH C.A., PRASAD K.V.S.K., MITCHELL OLDS T., 2014 - **The evolution of quantitative traits in complex environments.** *Heredity*, 112: 4-12. doi:10.1038/hdy.2013.33.

DIAS F.S., BUGALHO M.N., RODRIGUEZ-GONZÁLEZ P.M., ALBUQUERQUE A., CERDEIRA J.O., 2014 - **Effects of forest certification on the ecological condition of Mediterranean streams.** *Journal of Applied Ecology*, 52(1): 190-198. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12358>

DIAS F.S., MILLER D.L., MARQUES T.A., MARCELINO J., CALDEIRA M.C., ORESTES CERDEIRA J., BUGALHO M.N., 2016 - **Conservation zones promote oak regeneration and shrub diversity in certified Mediterranean oak woodlands.** *Biological Conservation*, 195: 226-234. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.01.009>

FSC® Portugal, 2020 - **FSC® Forest Certification as a conservation tool in Portugal: Impacts and Potentialities**

FSC® Italy, FSC® Portugal, 2022 - **For a more impactful forest management certification.**

MEXIA T., LECOMTE X., CALDEIRA M.C., BUGALHO M.N., 2022 - **Conservation zones increase habitat heterogeneity of certified Mediterranean oak woodlands.** Forest Ecology and Management, 504: 119811. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119811>

OLIVEIRA J.M., FERNANDES F., FERREIRA M.T., 2016 - **Effects of forest management on physical habitats and fish assemblages in Iberian eucalypt streams.** Forest Ecology and Management, 363: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.011>

AUTORI

Ilaria Dalla Vecchia, Referente tecnico per la gestione forestale FSC® Italia.
E-mail: i.dallavecchia@it.fsc.org

Enrico Bonis, Referente tecnico per la gestione forestale FSC® Italia. E-mail: e.bonis@it.fsc.org

Tabella 7.1-1 - Criteri dello Standard di gestione forestale FSC® collegati alla gestione adattativa.

Criteri FSC®	Descrizione
5.2	L'Organizzazione deve di norma raccogliere prodotti e servizi dall'Unità di Gestione ad un livello uguale o inferiore a quello sostenibile in modo permanente.
6.1	L'Organizzazione deve valutare i valori ambientali presenti nell'Unità di Gestione e quei valori al di fuori dell'Unità di Gestione potenzialmente influenzati dalle attività di gestione. Tale valutazione deve essere intrapresa preventivamente (prima dell'inizio delle attività pianificate) ad un livello di dettaglio, di scala e di frequenza che sia proporzionato alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione; e sia sufficiente per individuare ed attuare le necessarie misure di conservazione, prevenzione e mitigazione, e per determinare e monitorare i possibili impatti negativi di tali attività.
6.2	Prima di iniziare le attività all'interno del sito, l'Organizzazione deve individuare e valutare la scala, l'intensità e il rischio dei potenziali impatti dovuti alle attività di gestione sui valori ambientali identificati.
6.3	L'Organizzazione deve individuare e realizzare azioni efficaci per prevenire gli impatti negativi dovuti alle attività di gestione sui valori ambientali, e mitigare e sanare quelli che si verificano in proporzione alla scala, all'intensità e al rischio di tali impatti.
6.4	L'Organizzazione deve proteggere le specie rare, le specie minacciate e i loro habitat presenti nell'Unità di Gestione mediante zone di conservazione, aree di protezione, di connessione e/o (laddove necessario) altre misure dirette per la loro sopravvivenza e vitalità. Tali misure devono essere proporzionate alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione e allo stato di conservazione e ai requisiti ecologici delle specie rare e minacciate. Nello stabilire le misure da adottare all'interno dell'Unità di Gestione, l'Organizzazione deve tenere in considerazione la distribuzione geografica e i requisiti ecologici delle specie rare e minacciate al di là dei confini dell'Unità di Gestione.
6.5	L'Organizzazione deve individuare e proteggere Aree Rappresentative degli ecosistemi nativi e/o riportarli a condizioni più naturali. Laddove non siano presenti aree rappresentative, o siano insufficienti, l'Organizzazione deve riportare una porzione dell'Unità di Gestione a condizioni più naturali. La dimensione delle aree e le misure intraprese per la loro protezione o ripristino devono essere proporzionate allo stato di conservazione e al valore degli ecosistemi a livello di paesaggio e alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione.
6.6	L'Organizzazione deve mantenere in modo efficace l'esistenza continuativa delle specie native dei genotipi presenti in natura e prevenire le perdite di diversità biologica, in particolare mediante la gestione degli habitat nell'Unità di Gestione. L'Organizzazione deve dimostrare che sono in essere misure efficaci per gestire e controllare la loro caccia, pesca, cattura e raccolta.
6.7	L'Organizzazione deve proteggere o ripristinare i corsi d'acqua naturali, i corpi idrici, le zone ripariali e la loro connettività. L'Organizzazione deve evitare impatti negativi sulla qualità e quantità delle acque e mitigare e porre rimedio a quelli che si verificano.
6.8	L'Organizzazione deve gestire il paesaggio dell'Unità di Gestione per mantenere e/o ripristinare un mosaico eterogeneo di specie, dimensioni, classi di età, distribuzioni spaziali e cicli rigenerativi appropriati per i valori paesaggistici presenti in quella regione e per aumentare la resilienza ecologica ed economica.
9.1	L'Organizzazione, tramite il coinvolgimento dei portatori d'interesse, deve valutare e identificare la presenza e lo status dei sottoelencati Alti Valori di Conservazione, in proporzione alla scala, all'intensità e al rischio degli impatti delle attività di gestione e la probabilità della loro presenza nell'Unità di Gestione. AVC 1 - Diversità di specie. Le concentrazioni di diversità biologica, incluse le specie endemiche e le specie rare, minacciate e in pericolo di estinzione, significative a livello mondiale, regionale e nazionale. AVC 2 - Ecosistemi e mosaici a livello di paesaggio. Paesaggi forestali intatti e ampi ecosistemi e mosaici di ecosistemi a livello di paesaggio che sono significativi a livello globale, regionale e nazionale e che contengono popolazioni vitali della maggior parte delle specie naturalmente presenti secondo modelli naturali di distribuzione e densità. AVC 3 - Ecosistemi e habitat. Ecosistemi, habitat e rifugi rari, minacciati o in pericolo di estinzione. AVC 4 - Servizi ecosistemici critici. Servizi ecosistemici di base in situazioni critiche, inclusi la protezione di bacini idrici e il controllo dell'erosione di suoli e versanti vulnerabili. AVC 5 - Fabbisogni della comunità. Siti e risorse fondamentali per il soddisfacimento delle necessità di base di comunità locali (per il sostentamento, la salute, la nutrizione, l'acqua, etc.) individuati attraverso il coinvolgimento di tali comunità. AVC 6 - Valori culturali. Siti, risorse, habitat e paesaggi di rilevanza culturale, archeologica o storica, globale o nazionale, e/o di fondamentale importanza culturale, ecologica, economica o religiosa/sacra per le culture tradizionali delle comunità locali, identificate attraverso il coinvolgimento di tali comunità locali.
9.2	L'Organizzazione deve sviluppare efficaci strategie che mantengano e/o migliorino gli Alti Valori di Conservazione individuati, mediante il coinvolgimento dei portatori d'interesse e di esperti. Tali strategie e azioni devono mettere in atto l'approccio precauzionale ed essere proporzionate rispetto alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione.
9.3	L'Organizzazione deve attuare strategie e azioni che mantengano e/o migliorino gli Alti Valori di Conservazione individuati. Tali strategie e azioni devono mettere in atto l'approccio precauzionale ed essere proporzionate rispetto alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione.
9.4	L'Organizzazione deve dimostrare che viene condotto un monitoraggio periodico per valutare eventuali cambiamenti delle condizioni degli Alti Valori di Conservazione e deve adeguare le proprie strategie di gestione per assicurare la loro efficace protezione. Il monitoraggio deve essere proporzionato alla scala, all'intensità e al rischio delle attività di gestione e deve includere il coinvolgimento dei portatori d'interesse e di esperti.

10.1	Dopo il prelievo o in conformità con il Piano di Gestione, l'Organizzazione deve, attraverso metodi di rinnovazione naturale o artificiale, rinnovare tempestivamente la copertura vegetale, verso condizioni simili a quelle precedenti il prelievo o più naturali.
10.2	L'Organizzazione deve favorire la rinnovazione di specie che sono ecologicamente ben adattate al sito e agli obiettivi della gestione. L'Organizzazione deve favorire specie native e genotipi locali per la rinnovazione, eccetto quando vi è una giustificazione chiara e convincente per l'uso di altro materiale.
10.3	L'Organizzazione deve usare specie alloctone solamente quando la conoscenza e/o l'esperienza hanno dimostrato che qualsiasi impatto invasivo può essere controllato e che sono in essere efficaci misure di mitigazione.
10.4	L'Organizzazione non deve usare organismi geneticamente modificati nell'Unità di Gestione.
10.5	L'Organizzazione deve adottare pratiche selvicolturali ecologicamente appropriate rispetto alla vegetazione, le specie, i siti e per gli obiettivi della gestione.
10.6	L'Organizzazione deve minimizzare o evitare l'uso di fertilizzanti. Nel caso in cui vengano usati fertilizzanti, l'Organizzazione deve dimostrare che il loro uso è parimenti o maggiormente benefico sul piano ecologico ed economico del ricorso a sistemi selvicolturali che non richiedono fertilizzanti e prevenirne, mitigarne e/o ripararne i danni ai valori ambientali, ivi compresi i suoli.
10.7	L'Organizzazione deve adottare la gestione integrata degli agenti patogeni e sistemi selvicolturali che evitino o mirino ad eliminare l'uso di prodotti fitosanitari chimici. L'Organizzazione non deve usare prodotti fitosanitari chimici proibiti dalla politica FSC®. Nel caso in cui vengano usati pesticidi, l'Organizzazione deve prevenirne, mitigarne e/o ripararne i danni ai valori ambientali e alla salute umana.
10.8	L'Organizzazione deve minimizzare, monitorare e controllare severamente l'uso degli agenti di controllo biologico in conformità con protocolli scientifici riconosciuti a livello internazionale. Nel caso di utilizzo di agenti di controllo biologico, l'Organizzazione deve prevenirne, mitigarne e/o ripararne i danni ai valori ambientali.
10.9	L'Organizzazione deve valutare i rischi e attuare attività che riducano potenziali impatti negativi derivanti da pericoli naturali, in proporzione a scala, intensità e rischio delle attività di gestione.
10.10	L'Organizzazione deve gestire lo sviluppo infrastrutturale, le attività di trasporto e la selvicoltura in modo tale che le risorse idriche e il suolo siano protetti e che vengano impediti, mitigati e/o riparati i disturbi e i danni alle specie rare e minacciate, agli habitat, agli ecosistemi e ai valori paesaggistici.
10.11	L'Organizzazione deve gestire le attività associate al taglio e all'estrazione di legname e di Prodotti Forestali non Legnosi in modo tale che i valori ambientali vengano conservati, si riduca lo spreco di materiale commerciabile e vengano evitati danni agli altri prodotti e servizi.
10.12	L'Organizzazione deve raccogliere, sgomberare, trasportare e smaltire i materiali di risulta in un modo appropriato dal punto di vista ambientale, che preservi i valori ambientali di cui al Criterio 6.1.

7.1 | Abstract

Adaptive management to climate change: the FSC® certification

Climate change is threatening our forests, degrading the capacity of natural ecosystems to fight fire, pests, disease and the loss of biodiversity. During the last years, in Europe several extreme events demonstrate the need to adapt forest management practices to the changing climatic conditions, increasing the resilience of forestry ecosystems.

The main goal of this paper is to present the positive impacts and benefits generated by FM certification, using the results from the study conducted by FSC®

Italy in collaboration with other European FSC® offices and other scientific studies. In the FSC® study, an in-depth analysis of the FSC® certification criteria have been carried out, showing the **positive relation between the FSC® Principle&Criteria and the effects on the increased resilience to climate change** (fire, droughts, flood) **and protection of biodiversity** (qualitative measurement of the conservation areas), by the promotion of adaptive management practices on certified areas.



7.2

Gestione adattativa ai cambiamenti climatici: la certificazione PEFC

Francesco Dellagiacomà - PEFC Italia

Antonio Brunori - PEFC Italia

Eleonora Mariano - PEFC Italia

Il PEFC Italia è un organismo di normazione italiano che gestisce il sistema di certificazione internazionale PEFC (*Programme for Endorsement of Forest Certification schemes*), certificazione focalizzata sul mondo forestale, del fuori foresta (piantagioni, agroforestazione e verde urbano) e sui relativi servizi e filiere produttive. La certificazione PEFC mira alla **promozione di una gestione forestale ecologicamente appropriata, economicamente valida e socialmente benefica**. Tra gli obiettivi che si è dato il PEFC vi è anche quello di migliorare l'immagine della selvicoltura e la promozione delle filiere locali.

Al 31 dicembre 2022, la superficie certificata in Italia è pari a 925.609,96 ha (di cui 8.554,55 ha di pioppeti e 54,91 ha di piantagioni). Sono 14 le regioni che hanno almeno una foresta certificata, con il Trentino Alto Adige che conferma la superficie più vasta con 556.147,9 ha, seguita da Friuli Venezia Giulia con 95.163,98 ha e Veneto con 76.294,005 ha.

La certificazione di gestione forestale sostenibile è uno strumento volontario che permette, tramite controlli periodici in bosco (audit di certificazione) svolti da Organismi terzi e indipendenti, di fornire garanzie sul rispetto di rigorosi standard internazionali di gestione forestale.

Per essere certificate, le aree forestali devono in primo luogo essere **dotate di piani di gestione**, o loro equivalenti¹⁾, appropriati alle dimensioni e all'uso dell'area forestale, che devono essere periodicamente aggiornati. Essi devono essere basati sulla legislazione vigente così come sugli esistenti piani d'uso del suolo e definire in modo adeguato le risorse forestali e il relativo stock di carbonio, la modalità di protezione della biodiversità, gli aspetti legati alla salute e alla vitalità delle foreste, ma anche gli aspetti sociali e gli aspetti economici.

A partire da questa condizione indispensabile, in Italia, a livello operativo, la certificazione viene applicata tramite il **rispetto di indicatori gestionali** elaborati da un Forum di esperti che hanno lavorato a livello nazionale, partendo da norme di riferimento di buona gestione del bosco come i processi intergovernativi continentali di gestione forestale sostenibile (i sei Criteri paneuropei individuati dal processo di Helsinki del 1993 e le Linee guida operative per la pianificazione e la pratica della gestione forestale della conferenza

di Lisbona del 1998). Il forum di esperti è aperto alla società civile e al mondo forestale e industriale, con interessi relativi a tutti gli aspetti del comparto forestale: dal taglio all'esbosco alla gestione della fauna e della biodiversità, dal dissesto idrogeologico alla formazione dei lavoratori alla prevenzione degli incidenti.

Ulteriore aspetto fondante della certificazione forestale è il **monitoraggio annuale** delle risorse forestali e la valutazione della loro gestione i cui risultati dovrebbero contribuire (come retroazione) al processo di pianificazione.

La sfida del cambiamento climatico

Tra le sfide da affrontare negli ultimi anni, sia per una crescente sensibilità su scala globale della società civile che per gli evidenti impatti negativi sul patrimonio forestale, è evidente il tema del cambiamento climatico. L'assorbimento di CO₂ da parte delle piante e la gestione dello stoccaggio del carbonio sono elementi importanti in tutte le strategie di mitigazione del cambiamento climatico. Accanto alla creazione di nuove foreste e alla piantagione negli ambiti urbani e agricoli, la gestione forestale e l'utilizzo del legno che proviene da gestione sostenibile possono dare un contributo importante.

La diffusione della pianificazione delle proprietà pubbliche e delle (poche) private di grandi dimensioni permette di adeguare la gestione forestale alle funzioni prevalenti della foresta, che resta comunque orientata al mantenimento di tutte le funzioni: intensità delle misure, modalità e tempi vengono così adattati alla funzione che localmente prevale.

Il mantenimento dell'integrazione delle diverse funzioni richiede una certa intensità di gestione: accessibilità, pianificazione, interventi dimensionati, meccanizzazione adeguata, capacità tecnica e formazione di chi opera in foresta. In due parole: **investimenti e strutture**. L'evoluzione naturale deve essere guidata verso le tipologie più stabili e il monitoraggio per verificare lo stato di salute del bosco e la sua evoluzione è essenziale; la capacità di intervento per realizzare le operazioni necessarie e in caso di eventi eccezionali è importante. Il RAF (Rapporto sullo stato delle foreste e del settore forestale 2017-18) stima per le foreste italiane nel 2015 un prelievo pari al 24% rispetto all'incremento di volume annuale, risalito di poche unità percentuali negli anni successivi per le forzose utilizzazioni dopo la tempesta Vaia e i danni provocati dalla diffusione del Bostrico tipografo.

1) Lo standard del PEFC Italia prevede la possibilità di certificare proprietà di superficie inferiore a 100 ettari senza un piano di gestione in presenza di strumenti di pianificazione forestale territoriali o di un sistema autorizzatorio, con l'obbligo di una pianificazione con i dati essenziali della proprietà.

Un recente studio (SPADONI *et al.*, 2023), condotto da ricercatori di varie università italiane che ha visto il PEFC attivamente coinvolto, ha dimostrato che la gestione attiva del territorio attraverso la selvicoltura e una gestione sostenibile delle risorse forestali può avere, in maniera indiretta, un **effetto regolatore positivo sugli incendi**, su una scala straordinariamente più grande di quella in cui sono efficaci la prevenzione diretta e la lotta attiva. Lo studio, tramite analisi quantitative, considerando tutti gli incendi avvenuti in Italia dal 2007 al 2017 ed includendo i fattori scatenanti maggiormente rilevanti dei regimi di fuoco (clima, meteorologia, infiammabilità del territorio, condizioni socioeconomiche, processi di abbandono del territorio e cambio di uso del suolo), mostra che nelle aree in cui si è investito nella gestione attiva negli ultimi anni (tra i quali le foreste certificate, che nel 2017 erano 800.000 ettari), si sono ottenuti impatti degli incendi ridotti. Ovvero, i territori più virtuosi ed attivi, hanno la metà degli impatti da incendi rispetto alle aree che investono meno risorse nella gestione territoriale.

Quali indicatori gestionali per il clima

Una specifica analisi fatta per questo progetto Life identifica quattro Criteri, quattro Linee Guida e cinque Indicatori gestionali obbligatori espressamente modificati o sviluppati nel 2022 per rendere la gestione forestale più resiliente alle sfide del cambiamento del clima di questi ultimi anni.

La Tabella 7.2-1 li raccoglie nella loro forma integrale.

Conclusioni

Oggi, la sfida del cambiamento climatico richiede di rafforzare il monitoraggio e l'accessibilità, introdurre flessibilità e capacità reattiva di fronte ad eventi eccezionali, costruendo e mantenendo un'adeguata capacità tecnica di intervento (di gestione e operativa). La certificazione forestale si è inserita in questa sfida ed è stata parte del processo di evoluzione della selvicoltura alpina in senso naturalistico e multifunzionale, iniziato già negli ultimi decenni.

PEFC ha dato un contributo importante in tal senso:

- **promuovendo l'uso del legno** come materia prima rinnovabile, naturale, positiva dal punto di vista climatico e ambientale, in quanto proveniente da una gestione forestale sostenibile certificata in un processo trasparente di terza parte;
- **aprendo un dialogo sulla gestione forestale** con tutte le parti interessate in una logica di valorizzazione delle filiere;
- **creando collegamenti e stabilendo relazioni** all'interno del mondo forestale e soprattutto con l'esterno (a livello di filiere e con il pubblico generale);
- sottolineando la necessità e richiedendo una **comunicazione adeguata e trasparente**;
- **attivando progetti comuni** sui temi dei servizi ecosistemici e della comunicazione;
- iniziando a sperimentare **forme di cooperazione sui servizi ecosistemici** nella logica di arrivare al riconoscimento della loro importanza e a forme di pagamento.

In questa ottica PEFC Italia nel 2021 ha sviluppato degli standard specifici per i servizi ecosistemici che sono ora in fase di sperimentazione nei progetti pilota: i temi attualmente coperti sono lo stoccaggio, la non emissione e l'assorbimento di CO₂, l'uso turistico ricreativo e il benessere dei boschi, la conservazione della biodiversità.

Si tratta di elementi su cui c'è molto interesse, come mostrano vari progetti che coinvolgono importanti imprese private interessate a compensare volontariamente una parte delle emissioni causate dalla loro attività attraverso il finanziamento della certificazione forestale o di attività di rimboschimento e gestione forestale. Un segno importante della disponibilità della società e del mondo produttivo che il mondo forestale ha colto, anche per affermare il proprio ruolo da protagonista nello sforzo di mitigare, su scala locale, i danni provocati dal cambiamento del clima su scala globale.

BIBLIOGRAFIA

SPADONI G.L., MORIS J.V., VACCHIANO G., ELIA M., GARBARINO M., SIBONA E., TOMAIO A., BARBATI A., SALLUSTIO L., SALVATI L., FERRARA C., FRANCI S., BONIS E., DALLA VECCHIA I., STROLLO A., DI LEGINIO M., MUNAFÒ M., CHIRCI G., ROMANO R., CORONA P., MARCHETTI M., BRUNORI A., MOTTA R., ASCOLI D., 2023 - **Active governance of agro-pastoral, forest and protected areas mitigates wildfire impacts in Italy**. *Science of The Total Environment* 890: 164281. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164281>.

AUTORI

Francesco Dellagiacoma, Membro del Consiglio di Amministrazione PEFC Italia.
E-mail: francesco.dellagiacoma@gmail.com

Antonio Brunori, Segretario generale PEFC Italia.
E-mail: info@pefc.it

Eleonora Mariano, Responsabile Ufficio progetti PEFC Italia. E-mail: progetti@pefc.it

Tabella 7.2-1 - Criteri, Linee Guida operative (LG) e Indicatori gestionali dello Standard di gestione forestale PEFC.**CRITERIO 1 - Mantenimento o appropriato miglioramento delle risorse forestali e loro contributo al ciclo globale del carbonio**

LG 1.1 *La gestione forestale deve salvaguardare nel medio e nel lungo periodo la quantità e la qualità delle risorse forestali e la loro capacità di stoccare e sequestrare carbonio, bilanciando le utilizzazioni col tasso d'incremento, utilizzando appropriate misure e tecniche selvicolturali e preferendo tecniche che minimizzino gli impatti diretti e indiretti alle risorse forestali, idriche e del suolo. Devono essere adottate misure selvicolturali e pianificatorie adatte a mantenere o a portare i livelli della massa legnosa della foresta a soglie economicamente, ecologicamente e socialmente desiderabili. Dovrebbero essere implementate pratiche positive per il clima, quali il mantenimento o il miglioramento dell'assorbimento del carbonio, la riduzione delle emissioni di gas clima-alteranti e l'uso efficiente delle risorse.*

Indicatore 1.1 c	Implementazione di pratiche positive per il clima
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	Individuazione di pratiche positive per il clima messe in atto dall'Organizzazione nelle operazioni gestionali, come ad esempio pratiche selvicolturali per l'incremento dell'assorbimento del carbonio (imboschimento, allungamento del turno, conversione ceduo - altofusto), la riduzione dell'emissione di gas clima-alteranti (come l'implementazione di attività antincendio), l'uso efficiente delle risorse e la valorizzazione non energetica dei sottoprodotti derivanti dalla gestione (come ramaglie, cortecce, legname di bassa qualità), fatta salva la necessità o l'opportunità di rilasciarli in bosco.
Esempio di fonte di rilevamento e di informazione	Piano di gestione forestale o suo equivalente a livello aziendale, interaziendale o a livello pianificatorio superiore. Presenza di rilievo e registrazione degli interventi di gestione.

CRITERIO 2 - Mantenimento della salute e vitalità degli ecosistemi forestali

LG 2.1 *Le pratiche di gestione forestale devono fare l'uso migliore delle strutture e dei processi naturali e prendere misure biologiche preventive, ogni qualvolta e fintanto che sia fattibile dal punto di vista economico, per mantenere e migliorare la salute e la vitalità delle foreste. Un'adeguata diversità genetica, di specie e strutturale deve essere incoraggiata e/o mantenuta per migliorare la stabilità, la vitalità e la capacità di resistenza delle foreste ai fattori ambientali avversi e per rinforzare i meccanismi di regolazione naturale.*

Indicatore 2.1 b	Diversificazione del ceduo: rilascio di aree escluse dalla ceduzione
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	Rapporto tra le superfici non tagliate, diradate, avviate all'altofusto rispetto al totale gestito a ceduo
Soglia di criticità	Almeno il 10% di superfici a ceduo in presenza di fertilità ridotta, presenza di alberi di pregio, alberi habitat, emergenze morfologiche (rilievi localizzati) o incisioni (lati di fossi) salvo prescrizioni diverse dello strumento pianificatorio ed eccezioni adeguatamente motivate. Indicatore applicabile esclusivamente per superfici accorpate superiori a 100 ettari NB: tale indicatore non è applicabile a formazioni a castagno e a robinia
Ambito di miglioramento	Aumento del rilascio per ogni rinnovo della certificazione
Indicatore 2.1 c	Matricinatura per gruppi o mista (gruppi, piccoli gruppi -anche 3 soggetti- e singoli soggetti)
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	1.Posizionamento delle matricine 2.Forma delle matricine singole
Soglia di criticità	1.La localizzazione delle matricine deve favorire il riscoppio vegetazionale e ridurre l'impatto visivo dell'intervento 2.Le matricine singole devono avere un aspetto quanto più possibile ben conformato
Ambito di miglioramento	Non applicabile

CRITERIO 3 - Mantenimento e sviluppo delle funzioni produttive nella gestione forestale (prodotti legnosi e non legnosi)

LG 3.1 Le attività di gestione forestale devono assicurare il mantenimento e/o il miglioramento delle risorse boschive in un contesto di pianificazione forestale a livello locale, considerando anche i servizi generali garantiti dalla foresta.

Indicatore 3.1 b	Contenuti della pianificazione forestale locale
Tipo di indicatore	Informativo
Parametri di misura	<p>Presenza nel piano di gestione forestale, o suo equivalente a livello aziendale, interaziendale o a livello pianificatorio superiore di cui all'indicatore 3.1.a o nelle normative vigenti, di indicazioni in merito a:</p> <ul style="list-style-type: none"> · obiettivi della gestione, alla localizzazione (con riporto cartografico) e descrizione delle risorse da gestire e delle aree destinate a funzioni protettive; · modalità di esercizio degli interventi selvicolturali, del pascolo e degli usi civici, nonché alle attività di gestione connesse alla produzione di beni non legnosi e servizi ricreativi (quando tali attività ricorrono nell'ambito territoriale considerato); · capacità produttiva dei boschi e sua valorizzazione; · direttive per gestione di aree protette o particolari emergenze naturali (tra cui anche quelli segnalati nell'ind. 4.7.a), specie rare o in pericolo (con riferimento ai documenti dove sono segnalati); · protezione della biodiversità forestale; · preservazione, e ove necessario, incremento di una adeguata quota di legno in decomposizione in bosco; · analisi di eventi fitosanitari trascorsi, definizione di pratiche per il trattamento e tecniche selvicolturali volte a massimizzare la resistenza degli ecosistemi nei confronti di attacchi parassitari, eventi meteorici ed incendi; · pianificazione delle modalità e tempi degli interventi di cura dei soprassuoli giovanili (interventi intercalari); · pianificazione della continuità della rinnovazione naturale nel tempo; · individuazione di una gamma più ampia possibile di prodotti e servizi ricavabili dal bosco, individuazione di orientamenti gestionali per consolidarne la produzione direttive per la gestione di singoli alberi o formazioni ad alto valore paesaggistico; · mantenimento di habitat naturali per la biodiversità; · creazione e mantenimento di inventari e mappe delle risorse forestali che siano adeguati alle condizioni locali e nazionali; · mantenimento e incremento di salute e vitalità della foresta e miglioramento degli ecosistemi degradati, attraverso appropriate misure selvicolturali e se possibile intervenendo sulle cause del degrado; · minimizzazione del rischio di degradazione e di danni agli ecosistemi forestali.
Soglia di criticità	Presenza e rispetto del parametro di misura.
Ambito di miglioramento	Supportare la pianificazione forestale locale con strumenti inventariali e cartografici accurati e aggiornati
Esempio di fonte di rilevamento e di informazione	Piano di gestione forestale o suo equivalente a livello aziendale, interaziendale o a livello pianificatorio superiore.

CRITERIO 4 - Mantenimento, conservazione e appropriato miglioramento della diversità biologica negli ecosistemi forestali

Indicatore 4.6 b	Aree non sottoposte al taglio, destinate alla libera evoluzione
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	<p>Superficie rilasciata alla libera evoluzione: (ettari) Motivazioni della scelta della destinazione alla libera evoluzione</p>
Soglia di criticità	Presenza di superficie destinata alla libera evoluzione.
Esempio di fonte di rilevamento e di informazione	Piani di gestione forestale a livello aziendale, interaziendale o a livello comprensoriale superiore, Piani naturalistici dei parchi o piani di gestione della Rete Natura 2000. Verifiche dirette

CRITERIO 5 - Mantenimento e appropriato miglioramento delle funzioni protettive della gestione forestale (con specifica attenzione alla difesa del suolo e alla regimazione delle acque)

LG 5.1 Le funzioni protettive delle foreste per la società tra le quali la capacità di mitigare l'erosione, di prevenire inondazioni, di purificare le acque, di regolazione del clima, di sequestro del carbonio e altri servizi ecosistemici di regolazione o di supporto devono essere mantenute o migliorate.

Indicatore 5.2 a	Operazioni selvicolturali in fustaie
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	Taglio raso e copertura del suolo nelle fustaie
Soglia di criticità	Nelle fustaie è vietato il taglio raso su superfici superiori al ½ ettaro, fatti salvi i casi in cui risulti indispensabile per la rinnovazione naturale del bosco o la sua applicazione a questo fine sia espressamente indicata nel piano di gestione regolarmente approvato o da strumenti pianificatori/autorizzativi equiparati o a fini fitosanitari.
Ambito di miglioramento	Non taglio durante il periodo di nidificazione tardo - primaverile/estivo - fermo biologico
Esempio di fonte di rilevamento e di informazione	Piani di gestione forestale o strumenti pianificatori equiparati ai sensi delle normative regionali/provinciali o fonti equipollenti (vedi indicatore 3.1.a).

Indicatore 5.2 b	Operazioni selvicolturali in boschi cedui
Tipo di indicatore	Obbligatorio
Parametri di misura	Ampiezza delle tagliate nei cedui in ha
Soglia di criticità	Nei cedui posti in aree con pendenza media uguale o superiore all' 80% sono vietati trattamenti a ceduo semplice, salvo diverse prescrizioni previste dal piano di gestione, o da strumenti pianificatori equiparati. Nei cedui posti in aree con pendenza media compresa tra 50% e 80% la superficie accorpata sottoposta al taglio non deve superare i 2 ettari su suoli fortemente erodibili, i 5 ettari negli altri casi. Su pendenze medie inferiori al 50% la superficie accorpata sottoposta al taglio non deve essere superiore a 10 ettari, fatte salve le eventuali diverse prescrizioni previste dal piano di gestione regolarmente approvato, o da strumenti pianificatori equiparati.
Ambito di miglioramento	Nelle regioni dove i Regolamenti non indicano il periodo di taglio, viene definito un periodo in funzione delle caratteristiche fisiologiche della specie forestale e dei periodi di nidificazione.
Esempio di fonte di rilevamento e di informazione	Piani di gestione forestale o strumenti pianificatori equiparati ai sensi delle normative regionali/provinciali o fonti equipollenti (vedi indicatore 3.1.a).

7.2 | Abstract

Adaptive management to climate change: the PEFC certification

PEFC Italy is the Italian standardising organization responsible for managing at national level the international certification system known as PEFC (Programme for Endorsement of Forest Certification schemes). PEFC certification is focused on the forest sector, encompassing both forests and trees outside forests like plantations, agroforestry, and urban green areas, as well as the associated services and production chains. The primary aim of PEFC certification is to **promote ecologically sound, economically viable, and socially beneficial forest management**, including improving the image of forestry and supporting local supply chains.

Sustainable forest management certification is a voluntary tool that provides assurance of compliance with rigorous international forest management standards through periodic forest audits conducted by independent third-party organizations. To obtain Pefc certification, forest owners/managers areas shall first have **management plans** or their equivalent that are appropriate in size and purpose, and these plans must be periodically updated. These plans must align with current legislation as well as existing land use plans and adequately address forest resources, carbon stock, biodiversity protection, health, vitality, social aspects, and economic considerations. Another fundamental aspect of forest certification is the **annual monitoring of forest resources** and the evaluation of their management, with the results intended to contribute to the planning process as feedback.

Today, the challenge of climate change requires strengthening monitoring and accessibility, introducing flexibility, and building and maintaining adequate technical intervention capacity (management and operational). Forest certification has become part of this challenge and has been a key

component of the evolution of alpine forestry towards a more naturalistic and multifunctional approach, a process that began in recent decades. PEFC has played a significant role in this regard by:

- **Promoting the use of timber** as a renewable, natural, climate-positive raw material sourced from certified sustainable forest management in a transparent third-party process.
- **Facilitating a dialogue** on forest management with all stakeholders to enhance value chains.
- **Creating connections and establishing relationships** within the forestry sector and especially with external parties, including value chains and the public.
- Emphasizing the need for advocating **transparent and adequate communication**.
- **Initiating joint projects** on ecosystem services and communication.
- Beginning to experiment with **forms of cooperation** on ecosystem services with the aim of recognizing their importance and establishing payment mechanisms.

In this context, PEFC Italy developed specific standards for forest ecosystem services in 2021, which are currently undergoing pilot projects. The themes covered include carbon storage, carbon non-emission, carbon absorption, recreational tourism and forest bathing, as well as biodiversity conservation.

There is considerable interest in these aspects, as demonstrated by various projects involving major private enterprises willing to voluntarily offset a portion of their emissions from their activities through the funding of forest certification and forest management activities. This reflects the society's and the productive world's willingness to acknowledge the forest sector's role as a key player in local efforts to mitigate the impacts of global climate change.





CONCLUSIONI

Paolo Mori - Compagnia delle Foreste

Luigi Torreggiani - Compagnia delle Foreste

Fin dall'ideazione del progetto Life AForClimate, i partner coinvolti erano ben consci di intraprendere un cammino tortuoso e in salita. Individuare metodologie innovative, ma al tempo stesso concrete, per meglio adattare le faggete alla crisi climatica in atto, era un obiettivo assai ambizioso. Infatti, numerose sono state le difficoltà operative incontrate nel cercare di trasferire una promettente impostazione teorica in strumenti funzionali alla pratica gestionale. Questo ha portato a centrare solo parzialmente gli auspici iniziali.

Tuttavia, **AForClimate ha avuto il coraggio di portare questo tema così complesso nel dibattito tecnico-scientifico forestale italiano**, stimolando la collaborazione tra esperti all'interno della "Comunità di pratiche" che ha contribuito alla realizzazione di queste Linee guida: un insieme di conoscenze e di visioni sicuramente utili per spingerci a pensare alla gestione dei popolamenti di faggio in modo diverso dal passato e più attento ai cambiamenti del clima.

Oltre ai primi strumenti pratici che il progetto ha fornito ai gestori forestali delle aree dimostrative, che saranno da affinare e migliorare durante la loro fase applicativa, **AForClimate ha lasciato, a tutti coloro che si occupano di Gestione Forestale Sostenibile, diversi e interessanti spunti di riflessione da cui occorrerà ripartire**. Questo permetterà di proseguire nel nobile intento di indirizzare le nostre foreste verso strutture più resilienti, introducendo nella loro gestione nuovi strumenti e procedure operative.

Un primo passo in avanti significativo andrà indubbiamente mosso nel campo della **pianificazione**, che do-

vrà tenere conto, molto di più che in passato, di quelle condizioni indotte dal riscaldamento globale che influiranno pesantemente sugli ecosistemi forestali in relazione ad esposizione, quota e caratteristiche pedologiche. Inserire la variabile climatica nel processo di pianificazione, per quanto non semplice da fare, sarà un passaggio decisivo, che richiede fin da subito maggiori investimenti in ricerca e sperimentazione, così come un aperto confronto tra tutti i portatori d'interesse del settore.

Lo "slancio pionieristico" di AForClimate e una nuova strada da percorrere

Per affrontare questa sfida si renderanno sempre più necessari anche **modelli in grado di prevedere o stimare, con buona precisione, l'effetto delle mutate condizioni climatiche sull'accrescimento e la rinnovazione dei popolamenti forestali**. Il progetto AForClimate, attraverso le analisi dendroclimatologiche e gli algoritmi studiati per stimare le differenti condizioni di reattività delle faggete e prevedere le annate di pasccia, ha posto le basi per dotare i gestori forestali di **primi strumenti operativi**.

Sulla base di quanto iniziato da AForClimate, altri *tool* previsionali potranno essere affinati, sperimentati e studiati nel prossimo futuro, non solo per il faggio. Anche su questo tema saranno necessari grandi investimenti e sforzi in ricerca e sperimentazione e sarà da considerarsi strategico un contatto diretto e costante tra ricercatori e gestori forestali.

I piani di gestione forestale del futuro, insieme agli strumenti previsionali, dovranno poi essere inseriti in modo dinamico all'interno di **Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS)** in grado di suggerire ai gestori forestali le diverse opzioni disponibili. Il progetto AForClimate, attraverso il suo DSS, ha proposto un modello



che può rappresentare un primo esempio. Attraverso il Sistema di Supporto alle Decisioni di AForClimate, infatti, il particellare della compresa forestale delle faggete può dialogare con gli algoritmi previsionali di accrescimento e pasciona, permettendo ai gestori di decidere come meglio affrontare gli interventi selvicolturali previsti. Lo sviluppo di strumenti analoghi di supporto e di *alert* potrebbe essere strategico per il prossimo futuro, non solo ovviamente per le faggete.

In un contesto di rapidi e talvolta drammatici mutamenti, è necessario investire anche in una **costante e il più possibile puntuale azione di monitoraggio degli ecosistemi forestali**. AForClimate ha puntato molto sull'analisi fenologica, condotta e testata con diverse tecniche, per studiare come mutano le stagioni vegetative in base al clima generale ma anche al microclima locale (esposizione e quote differenti). Gli interessanti risultati ottenuti possono essere considerati una solida base per estendere a più ampio raggio le attività di monitoraggio delle faggete italiane, presenti dalle Alpi alla Sicilia in condizioni climatiche e stagionali molto differenti. Questo rappresenterebbe un grande passo in avanti per conoscere in dettaglio il comportamento di questi importanti ecosistemi forestali nello scenario di riscaldamento globale.

In una situazione di crisi occorre ovviamente anche non partire da zero, ma **fare tesoro delle esperienze gestionali pregresse**. AForClimate ha investito molte energie per raccogliere le migliori buone pratiche studiate e messe in atto, anche nel recente passato, per la gestione delle faggete e valide per meglio adattare i popolamenti alla crisi climatica. Queste Linee guida, realizzate insieme ad un ampio e variegato partenariato di esperti, coinvolti da AForClimate nel primo Tavolo di discussione nazionale sul tema dell'adattamento delle foreste alla crisi climatica, rappresentano un lascito importante del progetto.

Un'altra eredità degna di nota è rappresentata dagli **interventi selvicolturali** realizzati nelle tre aree dimostrative (Mugello - Toscana, Monti del Matese - Molise e Monti Nebrodi - Sicilia): esempi concreti i cui risultati potranno essere costantemente monitorati, anche oltre la fine del progetto.

Infine, in un tempo di mutamenti è necessario un grande sforzo in **attività formative**, per permettere, soprattutto alle giovani generazioni, di approfondire gli scenari di cambiamento, la reazione dei popolamenti forestali e per conoscere tecniche e approcci innovativi. AForClimate, in collaborazione con il Life GoProFor, ha proposto corsi di formazione sul tema della crisi climatica che sono stati molto seguiti e che rimarranno a disposizione anche dopo la fine del progetto. Anche diverse **attività di comunicazione** sono state realizzate durante gli anni di lavoro, con strumenti molto diversificati, pensati per poter arrivare a target specifici: un ulteriore lascito per non disperdere le conoscenze acquisite e il lavoro realizzato.

I Progetti Life come AForClimate non sono promossi e finanziati dall'Unione Europea per risolvere problemi enormi come quello del riscaldamento globale. Il loro ruolo è piuttosto quello di mettere in atto soluzioni replicabili, dimostrandone la fattibilità e promuovendole anche oltre i confini delle aree pilota. In questo senso, possiamo affermare che **AForClimate ha gettato le basi di un percorso collettivo fondamentale, che tuttavia è solo agli inizi**.

Da questo "slancio pionieristico" sono derivate molte delle difficoltà incontrate lungo il cammino, ma il merito del lavoro svolto sta proprio nell'aver aperto una nuova strada, che altri potranno iniziare più comodamente a percorrere.

Stampa

Litograf Editor S.r.l. Città di Castello (PG) - Novembre 2023

I PARTNER DEL PROGETTO

Project partners



COORDINATORE | *Coordinator*

CREA

Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'analisi dell'Economia Agraria
Centro di ricerca Foreste e Legno
Viale Santa Margherita 80, Arezzo

REFERENTE | *Project manager*

Dott. UGO CHIAVETTA ugo.chiavetta@crea.gov.it

PARTNER TERRITORIALI | *Local partners*



Unione Montana dei Comuni del Mugello



Regione Molise



Regione Siciliana

Assessorato Regionale dell'Agricoltura, dello Sviluppo rurale e della Pesca Mediterranea

PARTNER SCIENTIFICI | *Scientific partners*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DEL MOLISE

Università degli Studi del Molise

Centro di ricerca per le Aree Interne e gli Appennini - ArIA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

Università degli Studi di Palermo

Dipartimento Scienze Agrarie, Alimentari e Forestali



D.R.E.A.M.
ITALIA

RESPONSABILE TECNICO | *Technical manager*

D.R.E.A.M. Italia

Società cooperativa agricola forestale



RESPONSABILE DELLA COMUNICAZIONE | *Communication manager*

Compagnia delle Foreste S.r.l.

ISBN: 978-88-98850-48-8

WWW.AFORCLIMATE.EU

info@aforclimate.eu