



*Linee Guida per una
Gestione Forestale
Sostenibile di
Abies alba Mill.*



Linee Guida per una Gestione Forestale Sostenibile di *Abies alba* Mill.

Deliverable: Section of the guidelines on management activities in forest conservation areas in climate change for each of the 4 species/genera complexes targeted



UNIVERSITA'
DEGLI STUDI
FIRENZE
DAGRI
DIPARTIMENTO DI AGROLOGIA
E ZOOTECNIA



CASENTINO
LUNGONI IDEI E STRALINI SISTEMI



Zavod za gozdove Slovenije
Slovenia Forest Service



DESCRIZIONE DEL PROGETTO LIFE SySTEMiC

Il programma LIFE è uno strumento dell'Unione Europea che finanzia progetti aventi come scopo la conservazione degli ecosistemi, della biodiversità e la lotta al cambiamento climatico.

Il progetto LIFE SySTEMiC Project (*Close-to-nature foreSt SusTainable Management practices under Climate Changes*) ha come obiettivo lo sviluppo e l'utilizzo di uno modello basato sulla diversità genetica per determinare le migliori pratiche selvicolturali al fine di proteggere le nostre foreste in tempi di cambiamenti climatici. L'idea di base è semplice: maggiore è la diversità genetica degli alberi in una foresta, più è probabile che alcuni alberi abbiano caratteristiche genetiche che li rendono più adattabili ai cambiamenti climatici, aumentando la resistenza e la resilienza del sistema forestale.

Sulla base di queste premesse, gli obiettivi principali del progetto sono:

- Indagare le relazioni tra gestione forestale e diversità genetica per 8 specie di alberi forestali in 3 Paesi europei (Croazia, Italia, Slovenia) al fine di identificare i sistemi selvicolturali che mantengono alti livelli di diversità genetica.
- Sviluppare un modello innovativo che comprenda Genetica, Biodiversità e Selvicoltura (GenBio-Silvi) basato sulla combinazione di tecniche avanzate di *Landscape Genomics*, genetica applicata e modelli selvicolturali al fine di supportare una Gestione Forestale Sostenibile.
- Diffondere la conoscenza del metodo in tutta Europa e trasferirne l'uso nella pratica forestale attraverso il coinvolgimento di Stakeholder.

Nella pagina web del progetto LIFE SySTEMiC vengono riportati tutti i prodotti finali del progetto: <https://www.lifesystemic.eu/>



1. INTRODUZIONE

Hojka Kraigher, Marjana Westergren

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

L'abete bianco è una specie arborea monoica, anemofila e generalmente allogama, tipica delle foreste montane europee temperate (comprese quelle mediterranee e continentali) (si veda la mappa di distribuzione nella Figura 1.1).



Figura 1.1. Areale di distribuzione dell'abete bianco (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Questa specie può crescere su una vasta gamma di tipi di suolo, eccetto quelli idromorfici e compat- ti. È molto tollerante l'ombra e può prosperare sotto copertura per decenni. In popolamenti puri, può raggiungere altezze di 50-60 metri, ma è frequentemente associata all'abete rosso e/o al pino nella fascia forestale superiore e al faggio a quote più basse. Può raggiungere la fase riproduttiva a 20 anni, ma di solito dopo i 60 anni. I fiori femminili si trovano principalmente sui rami più alti della chioma, mentre i fiori maschili appaiono più in basso. È considerato un produttore scarso di semi, poiché pochi coni raggiungono la maturità a causa di insetti e gelate tardive. Fiorisce tra aprile e giugno, a seconda della quota, e i coni maturano in 90-120 giorni. I coni maturi sono di colore giallastro-brunastro, crescono verso l'alto sui rami e si disintegrano quando i semi maturano, lasciando solo l'asse principale. A seconda delle condizioni del sito, i coni si disintegrano e i semi sono dispersi dal vento tra settembre e ottobre. La raccolta dei semi deve essere ben programmata, in modo che i coni maturi possano essere raccolti (arrampicandosi su alberi in piedi o abbattuti) prima che si disintegrino (in Slovenia a metà settembre). Gli anni di abbondante produzione di semi si verificano solitamente periodicamente (ogni 4-6 anni), ma alcuni alberi, a seconda del sito, possono produrre coni ogni anno (Kavaliauskas *et al.*, 2020).

I conifere possono essere raccolti per scopi economici se almeno il 50% dei semi pieni è visibile con un taglio longitudinale. Un litro di semi freschi pesa solitamente circa 400 g e i semi hanno un contenuto di acqua dell'8-11%. In 1 kg di conifere possono esserci 15-30 conifere e in 1 kg di semi circa 14.000-23.000 semi. Ogni cono può contenere 260-290 semi. La conservazione dei semi con un contenuto di acqua intorno all'8% è possibile per 3-5 anni in contenitori ermeticamente sigillati a -10/-15°C. L'embrione dell'abeto bianco è dormiente, perciò la stratificazione a freddo per 3-7 settimane è necessaria prima della semina (Kraigher 2024; Regent, 1980; USDA 2008).

L'abeto bianco, specialmente in fase giovanile, è suscettibile alle variazioni di temperatura, alle gelate tardive e alle siccità prolungate. La sua rinnovazione è anche altamente minacciata dalla brucatura, e il cambiamento climatico influisce sulla sua minore resistenza ai parassiti e alle malattie, specialmente vicino alle regioni mediterranee. Tra i parassiti e le malattie, Kavaliauskas *et al.* (2020) menzionano specificamente *Ips typographus* L., la *Cinara pectinata* Nördlinger e *Epinotia nigricans* Herrich-Schäffer che danneggiano la corteccia e le gemme, e *Armillaria mellea* P. Kumm agg. e *Heterobasidium annosum* Bref., responsabili della marcescenza delle radici e della parte inferiore del tronco, portando l'abeto bianco a essere più incline agli sradicamenti causati dal vento.

I pool genetici dell'abeto bianco sono ben strutturati latitudinalmente in un pool genetico dei balcani-sud Italia, uno dell'Europa centrale-nord Italia, uno alpino, uno del sud della Francia e uno pirenaico (GenTree 2020), che successivamente è stato suddiviso in uno orientale e uno occidentale (Scotti-Saintagne *et al.*, 2021). Tuttavia, il modello di distribuzione della diversità genetica differisce a seconda dei marcatori molecolari utilizzati (FORGENIUS 2023; GenTree 2020; Piotti *et al.*, 2017; Teodosiu *et al.*, 2019).

2. Linee guida sulla gestione forestale sostenibile e sull'adattamento delle foreste ai cambiamenti climatici

Andrej Breznikar¹, Kristina Sever¹, Hojka Kraigher², Davide Travaglini³

¹ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

² Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

³ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia

2.1. Gestione forestale sostenibile, multifunzionale e *close-to-nature*

La gestione forestale sostenibile, multifunzionale e *close-to-nature*, viene pianificata in modo tale da preservare le foreste e tutte le loro funzioni e servizi ecosistemici, garantendo al contempo un profitto ai proprietari forestali. Può essere descritta dai principi della "Scuola Forestale Slovena" come riportato da *et al.* (2019):

- La gestione forestale è adattata alle caratteristiche del sito ed allo sviluppo naturale della foresta.
- Protezione attiva delle popolazioni naturali di alberi forestali.
- Protezione e conservazione della biodiversità nelle foreste (inclusa la diversità genetica).
- Sostenere la stabilità bio-ecologica ed economica delle foreste aumentando il volume di legname.
- Cura di tutte le fasi di sviluppo e di tutte le forme forestali per sostenere alberi forestali vitali e di alta qualità, in grado di adempiere in modo ottimale a tutte le funzioni delle foreste
- La rinnovazione naturale è supportata in tutte le foreste.
- Se vengono utilizzati semi o sementali, devono provenire da fonti/provenienze adeguate e possono essere utilizzate solo specie appropriate.

La silvicoltura *close to nature* utilizza metodi di gestione forestale che promuovono la conservazione della natura e delle foreste, traendo benefici tangibili e intangibili da una foresta in modo tale da preservarla come ecosistema naturale con tutte le sue diverse forme di vita e le relazioni formatesi al suo interno. Si basa su una pianificazione della gestione forestale dettagliata, adattata alle condizioni specifiche del sito e degli stand, nonché alle funzioni forestali, considerando i processi naturali e le strutture specifiche degli ecosistemi forestali naturali; apprende continuamente dai processi nelle riserve forestali non gestite. I processi naturali vengono alterati il meno possibile, pur mantenendo la redditività economica e la sostenibilità sociale della gestione forestale (Forest management by Mimicking nature, 2014)

La selvicoltura *close-to-nature* imita i processi e le strutture naturali il più possibile. I popolamenti forestali dovrebbero rinnovarsi naturalmente e dovrebbero imitare una composizione di specie arboree e popolamenti forestali delle foreste naturali. La gestione forestale può influenzare direttamente i popolamenti arborei in un ecosistema forestale. Attraverso la rinnovazione naturale dei popolamenti forestali, si preserva l'adattabilità degli alberi alle condizioni specifiche dei siti di crescita e alle dinamiche naturali. I sistemi selvicolturali dovrebbero essere selezionati con attenzione per promuovere approcci *close-to-nature* e imitare i processi naturali nei popolamenti forestali.

Le foreste dovrebbero essere gestite in modo da conservare il loro ruolo multifunzionale (funzioni forestali ecologiche, sociali e produttive). Questo può essere ottenuto solo attraverso il mantenimento di foreste sane e della loro biodiversità, la protezione della loro fertilità naturale e delle risorse idriche, nonché di altre funzioni benefiche delle foreste nel ciclo dell'acqua e del carbonio, la fornitura sostenibile di legname e altri prodotti forestali, profitto e occupazione, nonché mezzi di ricreazione e altri benefici sociali legati alle foreste.

L'adattamento alle caratteristiche specifiche del sito di crescita è la principale direzione dello sviluppo forestale *close-to-nature*, che è stato studiato all'interno del progetto LIFE SySTEMiC attraverso una varietà di siti. Lo sviluppo diretto dei popolamenti forestali adattati alle condizioni specifiche del sito e del popolamento, e alle funzioni forestali, richiede grande flessibilità nella selezione di un sistema (metodo) di gestione forestale adeguato e una pianificazione attenta delle misure.

Le principali misure per adattare la gestione forestale ai cambiamenti climatici si concentrano sull'adattamento della composizione arborea nei popolamenti forestali, sull'aumento della resilienza delle foreste attraverso strutture forestali diversificate a tutti i livelli, soprattutto genetici, tramite misure avanzate di rinnovazione e rimboschimento, e sull'aumento della loro stabilità attraverso interventi tempestivi (ad esempio, diradamenti), che creino formazioni di strutture forestali multistratificate e selettive nei popolamenti, e (ultimo ma non meno importante) il monitoraggio e la conservazione della biodiversità forestale, a partire dalla diversità genetica (Bajc *et al.*, 2020).

2.2 descrizione dei sistemi selvicolturali per l'abeto bianco

Le pratiche selvicolturali attualmente applicate nei popolamenti di *A. alba* nell'area del Mediterraneo variano dal sistema a tagli successivi uniformi ai tagli successivi a gruppi o al taglio a scelta colturale. Nelle aree dove i popolamenti di *A. alba* hanno origine da piantagioni, come nell'Appennino in Italia, viene utilizzato il taglio raso con rinnovazione artificiale posticipata. Tuttavia, prevalgono pratiche di gestione forestale a intensità moderata. La rinnovazione è spesso naturale, i popolamenti vengono diradati selettivamente e le dimensioni dei tagli sono ridotte (cioè meno di 1 ettaro). I sistemi selvicolturali più adatti per i popolamenti di abete bianco sono il taglio a scelta colturale e il sistema a tagli successivi a gruppi su piccole aree. In queste condizioni, l'abeto bianco può competere con il faggio, l'abeto rosso, gli aceri e altre specie arboree in popolamenti forestali misti (ZGS, 2021).

In un sistema di taglio a scelta degli alberi con tagli continui a intervalli di 5-15 anni, viene mantenuto un volume ottimale di legname e condizioni del popolamento favorevoli alla rinnovazione degli abeti. In tali foreste, la quantità di legname tagliato è approssimativamente uguale all'incremento di legname (Wolf *et al.*, 2010).

In un sistema a tagli successivi a gruppi (Figura 2.2.1) è necessario un periodo di rinnovazione più lungo (superiore a 30 anni) per la rinnovazione e il successo della crescita degli abeti. Ciò significa che nei luoghi in cui si vuole promuovere l'abete bianco, si regolano gradualmente e a lungo termine le condizioni di luce, rimuovendo gradualmente gli alberi nella copertura superiore. Nelle aree dove gli obiettivi di rinnovazione sono diversi, la rinnovazione è possibile in un periodo più breve e anche su un'area più vasta. Questo metodo richiede una pianificazione della gestione forestale attenta e differenziata. Anche nel sistema a tagli successivi a gruppi sono importanti tagli continui e rinnovazione permanente, ma limitata nello spazio.

Da questo punto di vista, una gestione che punta all'uso intensivo del popolamento e alla rinnovazione su ampie superfici non è adatta per i popolamenti di abete. Tuttavia, è possibile favorire la rinnovazione dell'abete salvaguardando la pre-rinnovazione, anche di altre specie come il faggio (Wolf et al., 2010).

A causa delle differenze significative nella crescita degli abeti, così come nell'ecologia della rinnovazione, le linee guida relative alla selvicoltura, ai cicli di taglio e al target di dimensione devono essere adattate al tipo di foresta, al sito e alle condizioni del popolamento. Tuttavia, rispetto ai popolamenti di faggio, a causa della dinamica di crescita, l'età di produzione e i target di dimensione nei popolamenti di abete bianco sono generalmente superiori rispetto alle foreste di faggio (ZGS, 2021).

Nel progetto LIFE SySTEMiC sono stati studiati 4 principali sistemi di gestione forestale sostenibile, dai popolamenti non gestiti al taglio a scelta colturale, al sistema a tagli successivi uniformi e a gruppi, così come le foreste di abete bianco corrispondenti a 4 tipi di foresta europea.



Figura 2.2.1. I sistemi selvicolturali basati sul taglio a scelta e sui tagli successivi a gruppi sono i più adatti per la gestione dei popolamenti di abete bianco.

2.3. Caratteristiche selvicolturali dell'abete bianco

La presenza dell'abete bianco nei popolamenti forestali è limitata dalle gelate tardive, dalla siccità, dal calore estivo e dal freddo invernale. Il principale vantaggio dell'abete bianco rispetto ad altre specie arboree forestali risiede nella sua esigenza di luce. È una specie tollerante l'ombra e risulta molto più efficace in condizioni di luce sfavorevole rispetto ai suoi concorrenti. Le giovani piante di abete bianco possono sopravvivere a lungo nella profonda ombra di una foresta. Tuttavia, l'abete è molto sensibile al calore e all'umidità e appartiene alle specie con una scarsa valenza ecologica. Inoltre, l'abete bianco è molto suscettibile alle gelate tardive; i germogli laterali vengono solitamente danneggiati poiché vengono emessi precocemente in primavera (Prpić (ed.), 2001).

Le esigenze idriche dell'abete bianco sono piuttosto elevate e la specie è molto sensibile alla siccità, specialmente nelle fasi giovanili. D'altra parte, in alcuni casi è stata osservata una sorprendente tolleranza alla siccità da parte dell'abete bianco, in particolare nell'Europa centrale e meridionale (Carrer et al., 2010). I suoli su cui cresce l'abete bianco sono molto diversi in tutte le loro caratteristiche. Cresce sia su calcare che su substrato silicatico (Prpić (ed.), 2001).

2.4. Minacce

A causa delle conseguenze negative del cambiamento climatico, l'abete bianco sarà probabilmente una delle specie arboree più minacciate, specialmente a causa delle esigenze specifiche riguardanti il clima del popolamento e le difficoltà nella rinnovazione naturale e anche artificiale causate dalla brucatura degli ungulati selvatici. La percentuale di abete bianco nelle foreste, e quindi il numero di popolazioni e/o la densità degli alberi di abete, è in diminuzione da diversi decenni. Le piccole popolazioni o quelle con alberi piantati a bassa densità sono soggette a deriva genetica e autoimpollinazione, con conseguente diminuzione dell'idoneità delle popolazioni e della loro diversità genetica (Wolf et al., 2010). La riduzione della percentuale di abete è più rapida nei siti misti abete-faggio rispetto ai siti misti abete-abete rosso e ai siti puri di abete, dove la rinnovazione è spesso più riuscita, i danni da brucatura sono minori e la struttura delle classi di età promette una migliore conservazione dell'abete nelle future foreste. Preoccupano anche le previsioni sulla riduzione della percentuale di abete nelle comunità forestali in scenari futuri che prevedono un aumento delle temperature e una diminuzione delle precipitazioni, soprattutto in combinazione con le difficoltà di rinnovazione (Wolf et al., 2010).

Negli anni '70 e '80 è stato osservato un diffuso declino e persino una moria di abete bianco in Europa centrale, un fenomeno che è stato chiamato "fir dieback" (deperimento dell'abete). Vi erano diverse opinioni riguardo alle cause della mortalità dell'abete, ma l'idea prevalente era che la depressione della crescita dell'abete tra il 1970 e il 1990 fosse causata dall' SO_2 in una complessa interazione con fattori climatici e biotici (Abies, 2016).

Si ritiene che il cambiamento climatico abbia avuto un impatto negativo sulle prestazioni di crescita delle popolazioni autoctone di abete in Europa negli ultimi decenni. Le minacce dovute al cambiamento climatico consistono principalmente in un aumento della possibilità di impatti negativi di fattori abiotici e biotici (parassiti, malattie). Si prevede anche una diminuzione della proporzione di abete a causa del marciume bianco (*Sclerotinia sclerotiorum*), a seguito dell'apertura improvvisa di una vasta area (tagli su larga scala dovuti a disastri naturali) e quindi a un rapido cambiamento del microclima. Esiste anche il pericolo che le aperture nella rinnovazione vengano invase da specie vegetali non autoctone invasive, limitando così la possibilità di rinnovazione naturale delle specie autoctone. A causa dell'invasione di specie vegetali non autoctone invasive, le proprietà del suolo cambieranno e si deterioreranno, l'impovertimento degli habitat aumenterà, la biodiversità diminuirà e aumenterà la predazione dei giovani esemplari autoctoni da parte degli ungulati (ZGS, 2021).

2.5. Valutazione del potenziale di adattamento delle foreste di abete bianco ai cambiamenti climatici

Il potenziale di adattamento delle foreste di abete bianco dipende dal sito forestale, dalla struttura del popolamento e dalla composizione delle specie arboree. Grazie alla struttura appropriata delle foreste (derivante da tagli successivi a gruppi e tagli a scelta colturale), al margine forestale ben strutturato, alla presenza di diradamenti selettivi dei popolamenti, alla gestione intermedia dei popolamenti e a un elevato grado di conservazione della composizione arborea e della rinnovazione naturale abbastanza indisturbata, il potenziale di adattamento può essere molto alto. Il potenziale di adattamento è fortemente ridotto dal basso livello di attuazione delle misure di cura nelle fasi di sviluppo più giovani, dalla struttura uniforme dei popolamenti, dall'alterazione della composizione delle specie arboree e dalla brucatura eccessiva degli ungulati (ZGS, 2021).

2.6. Rinnovazione dell'abete bianco

A causa dei lunghi periodi di rinnovazione nei popolamenti di abete, è necessario avviare il processo di rinnovazione prima rispetto a specie arboree con periodi di rinnovazione più brevi. Le grandi differenze nella crescita degli alberi con dimensioni simili indicano la necessità di decidere i tagli a livello di singoli alberi (ZGS, 2021).

Il ripristino dei popolamenti dovrebbe avvenire su piccole aree di rinnovazione, poiché questo favorisce in particolare la rinnovazione delle specie arboree chiave. Anche le esigenze di cura delle giovani piante si riducono con un approccio su piccola scala. La dimensione delle aperture regola la composizione delle giovani piante: intensità più basse favoriscono una maggiore proporzione di abete, mentre l'abete rosso richiede più luce, e ancora di più le specie decidue, ad eccezione del faggio, che è una specie tollerante l'ombra. Nelle aree più secche, ha senso aprire aree più ampie per garantire il ripristino di specie più tolleranti alla siccità come il pino e il larice, che possono sostituire l'abete bianco e il faggio. Allo stesso tempo, quando si eseguono tagli di rinnovazione, è necessario rimuovere gli alberi non vitali nel sottobosco e gli arbusti.

Problemi con la rinnovazione possono verificarsi in seguito a grandi ripristini dopo disastri naturali. In questi casi, è necessario intensificare la preparazione del popolamento per la rinnovazione naturale e, in alcuni casi, intervenire anche con la rinnovazione artificiale attraverso piantagione.

La piantagione è utilizzata anche quando non è possibile garantire una proporzione adeguata di alberi decidui in modo naturale.

Su siti forestali non carbonatici, dove l'abete bianco è la specie dominante, non ci sono problemi con la rinnovazione. Qui, manteniamo semplicemente la sua percentuale naturale nella composizione arborea. Su siti carbonatici, ad esempio sull'altopiano carsico in Slovenia, nelle foreste di abete-faggio, il faggio sta nuovamente aumentando la sua percentuale nella struttura arborea modificata antropogenicamente in successione ciclica. Qui, tra tutte le specie arboree, l'abete bianco è il più minacciato dalla brucatura degli ungulati erbivori. Nelle condizioni di luce in cui l'abete compete con altre specie, cresce relativamente lentamente e quindi è esposto alla brucatura per un periodo più lungo.

In tali condizioni, senza un'attenzione particolare all'abete, non possiamo aspettarci un ulteriore aumento della sua quantità, che è costantemente diminuita negli ultimi decenni. Su tali siti, indirizziamo lo sviluppo della foresta attraverso la rinnovazione naturale, dove gli abeti si rinnovano con successo in aree recintate e/o mediante piantagioni di abeti (Figura 2.6.1). È importante anche la protezione individuale delle piantine dalla brucatura degli ungulati (ZGS, 2021).



Figure 2.6.1. In alcune aree la protezione contro la brucatura da ungulati è essenziale per la rinnovazione dell'abete bianco.

2.7. Cura e protezione dei popolamenti di abete bianco

Le misure di cura e protezione più adeguate sono riassunte nelle Linee guida per la gestione forestale sostenibile in Slovenia (ZGS, 2021) e nei risultati del progetto LIFE SySTEMiC. La misura di cura più comune nelle foreste giovani è la rimozione graduale di arbusti e vegetazione invasiva, regolando al contempo la composizione delle specie arboree target. Nelle foreste a taglio a scelta, le misure di cura sono focalizzate su piccoli gruppi di giovani piante. Con queste misure, si costruisce una struttura verticale e orizzontale diversificata dei popolamenti, migliorando così la stabilità delle foreste contro influenze abiotiche dannose (vento, gelo, sole, neve).

È importante ridurre il periodo di produzione nei popolamenti di abete (tagliando l'albero quando la sua crescita inizia a diminuire, cioè tra 80 e 100 anni). I siti produttivi di abete bianco richiedono diradamenti più intensivi, specialmente nelle fasi di sviluppo più giovani (tra il 20 e il 25%). Il diradamento deve essere precoce e mirato a regolare la composizione arborea e a rafforzare la stabilità dei popolamenti. Particolare attenzione va prestata durante i diradamenti per garantire la stabilità dei popolamenti e la conservazione degli alberi decidui nelle parti più secche del popolamento. Il diradamento dei popolamenti di età media dovrebbe variare tra il 15 e il 20%.

Nelle foreste a taglio a scelta, i tagli dovrebbero essere mirati a mantenere la struttura della foresta. Nei popolamenti adulti, l'intensità dei diradamenti dovrebbe essere inferiore (tra il 10 e il 15% del volume in piedi) e non dovrebbero creare ampie aperture nei popolamenti.

Una proporzione sufficiente di abete bianco nelle future foreste è garantita principalmente dal controllo delle condizioni di luce al suolo. La composizione delle principali specie arboree dovrebbe essere a gruppi, mentre l'aggiunta di alberi decidui nobili dovrebbe essere individuale o a gruppi. Oltre alle specie arboree principali, è importante anche lo strato di sottobosco.

Una misura importante è la trasformazione di popolamenti monostrutturati in popolamenti più strutturati tramite diradamento selettivo. La trasformazione viene effettuata in popolamenti costituiti da specie arboree non adatte al sito forestale in questione (ad esempio piantagioni di abete rosso), ossia quando la vitalità o lo stato di salute dei popolamenti si deteriora al punto da minacciare la normale gestione forestale.

Questi popolamenti indeboliti e non vitali devono essere diradati per primi, garantendo così un maggiore afflusso di luce, il che porterà alla formazione naturale di uno strato di sottobosco di specie arboree e arbustive migliorative, che miglioreranno le proprietà del suolo. Questo assicurerà che i popolamenti si sviluppino nella direzione della vegetazione potenziale in un processo di successione progressiva. Durante la trasformazione, viene prestata particolare attenzione alle specie arboree minoritarie, che hanno capacità di miglioramento, che indirettamente migliorano e aumentano la produzione forestale. Particolarmente importanti sono le specie arboree che combinano la funzione di miglioramento e allo stesso tempo hanno un valore economico (faggio, acero montano, olmo montano, frassino maggiore, tiglio, carpino nero, ciliegio selvatico, pero selvatico, larice, castagno, ontano nero, pioppo tremulo, ecc.).

Una struttura equilibrata dei popolamenti a taglio a scelta è molto più resistente ai fattori abiotici negativi rispetto a una struttura a tagli successivi uniformi. Per questo motivo, ha senso convertire i popolamenti uniformi in popolamenti a selezione tramite diradamenti selettivi. La trasformazione tramite diradamento dovrebbe essere avviata il prima possibile, liberando le chiome degli alberi selezionati e creando un network di alberi che supporti la stabilità dei popolamenti.

Le misure di protezione forestale nei popolamenti di abete bianco consistono principalmente nella protezione dalla brucatura con repellenti o individualmente. La protezione con recinzione è utilizzata principalmente in aree con una maggiore concentrazione di fauna selvatica e alberi attaccati da parassiti e malattie (ad esempio vischio bianco, danni da gelo e cancro dell'abete) dovrebbero

essere rimossi. Nei popolamenti a taglio a scelta è importante prendersi cura di una distribuzione equilibrata degli alberi per classi di diametro, prevenendo così l'essiccazione dell'abete bianco in popolamenti con una proporzione eccessiva di alberi con diametri di grandi dimensioni (classe di spessore superiore a 50 cm).

2.8. Adattamento dei popolamenti di abete bianco ai cambiamenti climatici

Tra le misure più importanti che possono contribuire alla conservazione degli abeti bianchi in un ambiente climaticamente instabile, ci sono:

- Diradamenti selettivi, che possono favorire l'emergere dell'abete bianco nei popolamenti coetanei.
- Misure di cura nei popolamenti più giovani, in cui è possibile aumentare il numero di abeti regolando la composizione di specie e successivamente effettuando una selezione positiva.
- Piantagione di abeti sotto la copertura arborea (ad esempio, in colture di abete rosso).
- Mantenimento di aperture all'interno delle foreste, mantenimento di un margine forestale strutturato e di una sufficiente proporzione di alberi da seme.

La variabilità genetica dell'abete bianco è uno dei fattori più importanti nella sua risposta ai cambiamenti climatici poiché le caratteristiche di adattabilità e crescita degli alberi possono variare a seconda della loro origine. La gestione forestale sostenibile dei popolamenti di abete bianco dovrebbe quindi supportare il loro processo di migrazione naturale e adattamento attraverso la migrazione assistita, piantando provenienze selezionate miste nei luoghi più favorevoli per il futuro.

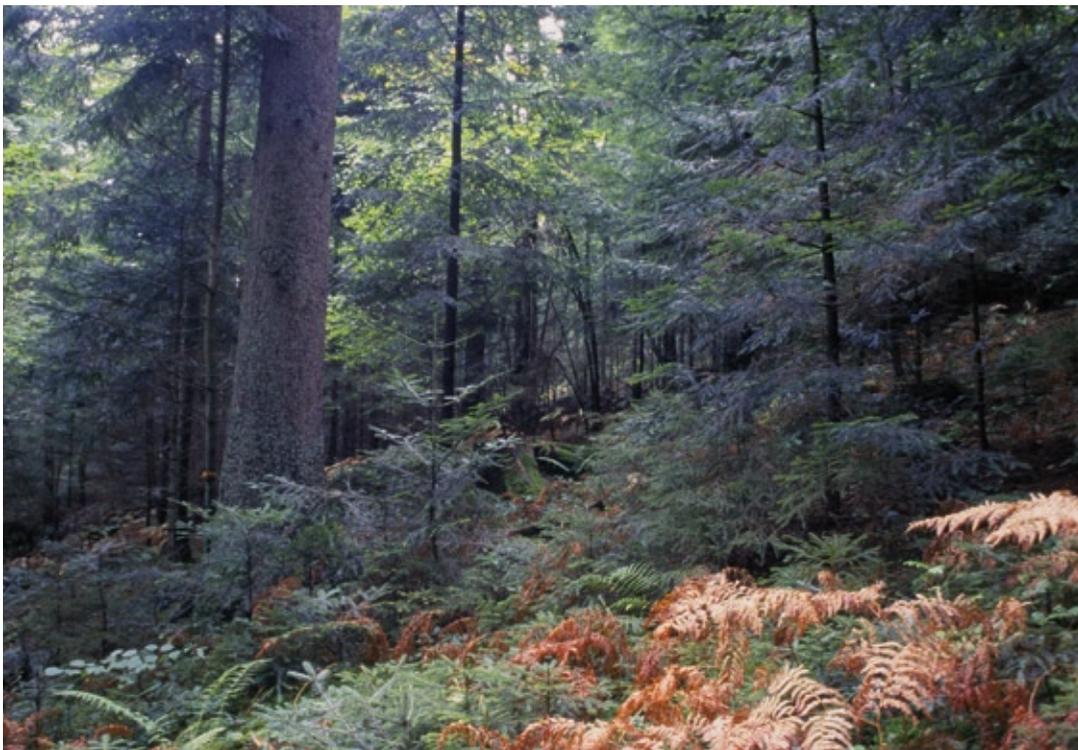


Figura 2.8.1. Rinnovazione di abete bianco nei popolamenti trattati con taglio a scelta (foto: SFS).

3. Landscape genomics

Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,2}, Marko Bajc³, Donatella Paffetti¹

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia² Institute of Bioscience and BioResources - CNR, Italy

³ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Abbiamo utilizzato approcci di *Landscape Genomics* per analizzare le componenti neutrali e adattative della diversità genetica al fine di evidenziare possibili profili di adattamento locale nelle popolazioni. Sono stati utilizzati marcatori molecolari neutrali e adattativi in combinazione con dati spaziali e indicatori bioclimatici. Come risultato del *target re-sequencing* di *A. alba* Mill., sono stati osservati circa 1500 SNP (in 24 regioni genomiche rilevanti per la risposta a uno o più stress abiotici (i risultati sono riportati nel *deliverable Action B1: SNP road-map of each study site*). Attraverso la distribuzione spaziale degli SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) i risultati sono riportati nel *deliverable Action B3: Handbook for sustainable forest management*, è stato possibile osservare un numero maggiore di SNP specifici per sito e regione nei siti italiani. Questo potrebbe essere interpretato come un "segno" di adattamento a un regime bioclimatico mediterraneo che caratterizza la penisola italiana, distinguendola dal clima più continentale presente in Slovenia e Croazia.

Per identificare un "segno" di adattamento locale, abbiamo condotto un'analisi GEA (*Genotype-Environment Association*). I risultati dell'analisi hanno mostrato la presenza di un'associazione tra 78 varianti alleliche e 12 indicatori bioclimatici considerati per queste analisi (come riportato nel *deliverable Action B3: Handbook for sustainable forest management*). Queste associazioni potrebbero essere interpretate come il genotipo di adattamento di base dell'abete bianco diffuso nell'area dell'Europa centrale. Inoltre, la presenza di varianti alleliche specifiche per sito potrebbe essere correlata a un modello di adattamento locale piuttosto che regionale. Nell'analisi di associazione ambientale (EAA- *Environmental Association Analysis*) è importante tenere conto della struttura genetica neutrale (Rellstab *et al.*, 2015), poiché questa può produrre profili simili a quelli attesi sotto processi non neutrali (Excoffier & Ray 2008; Excoffier *et al.*, 2009; Sillanpää 2011). Inoltre, la struttura genetica di popolazione è stata ottenuta utilizzando 2 approcci di *clustering bayesiano*: uno che fa uso del software STRUCTURE al fine di determinare il numero di sottopopolazioni presenti (Pritchard *et al.*, 2000) e l'altro che fa uso del software GENELAND (Guillot 2008) per la spazializzazione delle stesse. In generale, abbiamo riscontrato un numero da moderato a alto di varianti alleliche specifiche nei siti non gestiti (ad esempio, Sito 30 - La Verna). La presenza di un elevato numero di SNP associati all'adattamento a variabili ambientali in questi siti potrebbe essere correlata alla struttura genetica neutrale osservata (Aravanopoulos, 2018; Paffetti *et al.*, 2012; Stiers *et al.*, 2018). Una situazione simile è stata osservata in popolamenti gestiti con tipi di gestione a basso impatto: taglio a scelta colturale. Ancora una volta, il numero di varianti alleliche specifiche per sito era elevato. Analizzando il modello di distribuzione della diversità genetica basato su dati SSR (*Simple Sequence Repeats*), abbiamo osservato che i popolamenti di abete bianco gestiti secondo il taglio a scelta presentano una struttura genetica spaziale complessa ed eterogenea. Questo può essere attribuito all'accoppiamento non casuale tra individui strettamente imparentati. Un risultato interessante è il numero di varianti alleliche associate agli indicatori bioclimatici che caratterizzano l'ambiente locale trovate nel Sito 07 - Tre Termini (Figura 3.1).

Dai risultati ottenuti per ciascuno dei popolamenti studiati, è stato possibile osservare una struttura genetica spaziale semplificata nelle foreste di abete non gestite o vetuste rispetto ad altri siti. I siti gestiti secondo il taglio a scelta colturale hanno mostrato la struttura genetica spaziale più complessa tra i siti gestiti, nonché il maggior numero di SNP associati a variabili ambientali. La complessità riscontrata in questi siti implica un ecosistema dinamico e adattabile, capace di rispondere ai cambiamenti ambientali generando nuova variabilità genetica attraverso la ricombinazione e il flusso genico tra sottopopolazioni. Inoltre, abbiamo osservato un elevato numero di SNP correlati con le condizioni ambientali nei vari siti. La presenza di queste varianti alleliche associate agli indicatori

bioclimatici che meglio caratterizzano l'ambiente locale è importante. I risultati riportati in questo studio potrebbero svolgere un ruolo strumentale nella pianificazione della gestione selvicolturale, dove la conoscenza della variabilità genetica da una prospettiva adattativa potrebbe aiutare nei processi decisionali. Ciò è importante non solo per preservare le attuali Risorse Genetiche Forestali (FGR), ma anche per arricchire il popolamento esistente con genotipi potenzialmente favorevoli.

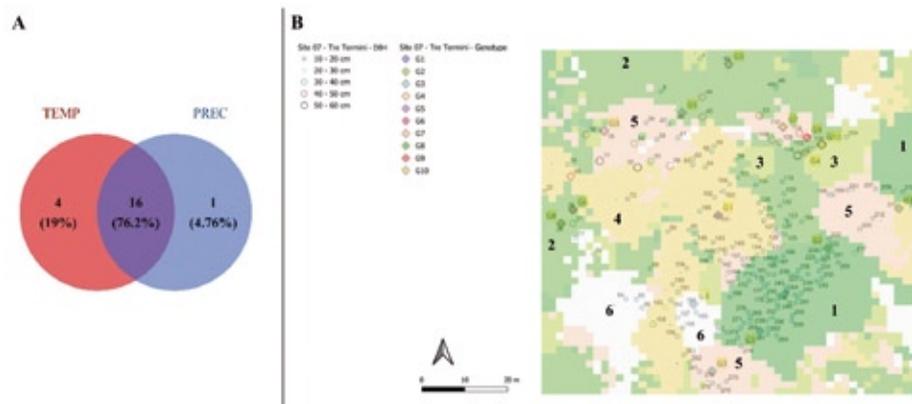


Figura 3.1. Risultati dell'analisi LFMM (*Latent Factor Mixed Models*) e mappa di distribuzione del genotipo dei dati del Sito 07 - Tre Termini. (A) Il diagramma di Venn mostra la sovrapposizione tra SNP associati agli indicatori bioclimatici legati alla temperatura e alla precipitazione, come risultato dell'analisi LFMM. (B) Distribuzione spaziale del genotipo e organizzazione spaziale in 6 cluster (risultati GENELAND). La mappa mostra gli individui presenti nel sito di studio (cerchio con bordo nero) e gli individui sequenziati. Questi ultimi sono contrassegnati da cerchi colorati in base al genotipo osservato. Colori identici indicano genotipi identici.

4. Impatto della brucatura

Natalija Dovč¹, Rok Damjanič¹, Marjana Westergren¹, Marko Bajc¹, Davide Travaglini², Andrej Breznikar³, Hojka Kraigher¹

¹ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

² Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia

³ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Nel corso dell'ultimo secolo, la densità e la distribuzione spaziale dei grandi erbivori, in particolare il capriolo (*Capreolus capreolus*, Linnaeus, 1758) e il cervo (*Cervus elaphus*, Linnaeus, 1758), sono aumentate significativamente nella maggior parte dei paesi europei (Hafner *et al.*, 2020). La brucatura da parte degli ungulati ha impatti significativi sugli ecosistemi forestali. Gli ungulati prediligono alcune specie arboree o individui specifici a vantaggio di altre specie meno appetite. Pertanto, la brucatura degli animali selvatici può influenzare fortemente la struttura, la composizione, la crescita e la successione delle foreste. A lungo termine, ciò può portare a una riduzione della diversità delle specie e minacciare la resilienza della foresta a future perturbazioni.

Nell'ambito dell'Azione B3 del progetto LIFE SySTEMiC, si è cercato di indagare se l'impatto della brucatura da parte degli ungulati in aree con alta densità di fauna selvatica, e quindi alta pressione di brucatura, possa essere rilevato anche nella diversità genetica della rinnovazione naturale.

Nei siti di abete bianco con alta densità di ungulati, l'impatto del pascolo sulla rinnovazione naturale è ben noto tra i gestori forestali. Nel nostro studio, ciò riguarda principalmente i siti sperimentali di Leskova dolina e Faltelli, dove abbiamo osservato vari effetti della brucatura:

- Scarsa abbondanza di rinnovazione di abete bianco nella classe di altezza più alta, in particolare nella classe di altezza superiore ai 150 cm, che a volte era completamente assente nei nostri siti di ricerca. Questa soglia di altezza è cruciale, poiché segna il punto in cui l'impatto della brucatura degli ungulati sulla composizione forestale diventa trascurabile. Questa classe di altezza fornisce quindi una base per la formazione dei futuri popolamenti forestali (Hafner *et al.*, 2020). L'assenza di piantine in questa classe suggerisce che la pressione della brucatura potrebbe ostacolare il successo dell'insediamento di alcune specie. Idealmente, la rinnovazione naturale dovrebbe essere rappresentata in tutte le classi di altezza. La presenza di piantine nella classe di altezza più bassa indica una produzione di semi sufficiente e un iniziale insediamento. Tuttavia, la presenza nelle classi di altezza superiore significa che le piantine sono in grado di resistere ai disturbi ambientali e di rimanere competitive.
- Proporzioni più basse di abete bianco nella rinnovazione rispetto alla popolazione adulta. Questa disparità è più evidente a Leskova dolina e può essere attribuita, almeno in parte, alla brucatura degli ungulati. Le specie preferite perdono competitività, principalmente a causa della brucatura delle gemme apicali. Una brucatura intensa comporta una diminuzione dell'altezza di queste specie nella stratificazione della rinnovazione, incidendo significativamente sulla loro capacità competitiva (Horsley *et al.*, 2003; Tremblay *et al.*, 2007). La pressione degli ungulati impatta fortemente le specie appetibili, portando alla dominanza di specie meno appetibili come l'abete rosso (*Picea abies* (L.) H. Karst.). Questo cambiamento può ridurre la biodiversità complessiva e influenzare i processi di rinnovazione forestale (D'Aprile *et al.*, 2020).
- Danno elevato alla rinnovazione. La maggior parte dei danni causati dalla brucatura è stata osservata sull'abete bianco, con i danni maggiori nelle classi di altezza 11-50 cm e 51-150 cm. Tra gli alberi decidui, l'acero montano (*Acer pseudoplatanus* L.), il sorbo degli uccellatori (*Sorbus aucuparia* L.) ed il leccio (*Quercus ilex* L.) sono risultate le specie più appetibili nelle aree di studio, mentre il faggio non è stato danneggiato dalla brucatura. Studi condotti in Europa centrale e sud-orientale (Shulze *et al.*, 2014) riportano come i cervi, preferendo alcune specie, contribuiscono all'omogeneizzazione del sottobosco, potenzialmente influenzando la struttura e la biodiversità forestale a lungo termine.

Nonostante i visibili effetti della brucatura degli ungulati sulla struttura e composizione della rinnovazione naturale, non sono stati rilevati effetti genetici significativi. La diversità genetica non differiva significativamente tra gli alberi adulti di abete bianco e la loro rinnovazione, sia nelle parcelle recintate che in quelle non recintate.

L'impatto della brucatura su diverse specie e stadi di crescita degli alberi forestali varia significativamente. Le foreste giovani, in particolare durante i primi stadi di crescita, affrontano spesso una maggiore pressione di brucatura, che influisce gravemente sui tassi di sopravvivenza e crescita della rinnovazione. Specie come la quercia e il faggio, più resistenti alla brucatura, potrebbero resistere meglio a questa pressione rispetto all'abete e al pino, che sono più suscettibili. Gli impatti differenziali della brucatura possono portare a cambiamenti nella composizione forestale nel tempo, favorendo le specie più resistenti e potenzialmente alterando l'ecosistema forestale (Hafner *et al.*, 2020).

5. Il modello GenBioSilvi

Roberta Ferrante^{1,2}, Cesare Garosi¹, Cristina Vettori^{1,3}, Davide Travaglini¹, Donatella Paffetti¹

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia

² NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

³ Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Italia

Per valutare la biodiversità negli ecosistemi forestali, abbiamo analizzato indicatori come la diversità genetica, la struttura forestale, il legno morto, la diversità del suolo e le condizioni dei microhabitat, utilizzando dati raccolti da altre attività del progetto (*deliverable Action B2 GenBioSilvi model*). Nei soprassuoli di *A. alba* Mill., abbiamo osservato che le foreste non gestite o vetuste conservano e

incrementano la biodiversità. Dall'analisi dei dati SSR (*Simple Sequence Repeats*), abbiamo riscontrato che i Siti 07 - Tre Termini e 26 - Smolarjevo, entrambi gestiti con il taglio a scelta colturale, presentano una struttura genetica spaziale complessa ed eterogenea. Sono stati identificati numerosi SNP (*Single Nucleotide Polymorphism*) correlati alle condizioni ambientali, in particolare nel Sito 16 - Skrad (non gestito), mentre il Sito 07 - Tre Termini ha mostrato un numero maggiore di SNP correlati agli indicatori bioclimatici. I dati dendrometrici hanno indicato che la struttura migliore è quella di una foresta disetanea multi-stratificata, riscontrata in tutti i siti gestiti. Il Sito 16-Skrad aveva una struttura mono-stratificata, mentre il Sito 30 - La Verna aveva una struttura bi-stratificata. I siti non gestiti presentavano il volume di legno morto più elevato e numerosi microhabitat saproxilici, soprattutto attorno agli alberi più vecchi. Tutti i siti analizzati erano boschi misti di abete. Abbiamo ipotizzato che il taglio a scelta colturale migliori la biodiversità mantenendo le condizioni di bosco vetusto e favorendo la rinnovazione naturale, aumentando così la diversità genetica e l'adattamento ai cambiamenti climatici. Il nostro modello si concentra su indicatori chiave come il legno morto, i microhabitat e la diversità delle specie, guidando le pratiche di gestione sostenibile senza la necessità di raccolta di dati su diversità genetica e del suolo (Tabella 5.1).

Tabella 5.1. Descrizione degli indicatori selezionati per valutare lo stato dei popolamenti.

Categorie	Indicatori	Descrizione
Struttura forestale	Deviazione standard (SD) dei diametri a petto d'uomo (DBH)	Variazione dei diametri degli alberi presenti nello stand analizzato
	% di piante nello strato di rinnovazione (con DBH compreso tra 2,5 e 10 cm)	Presenza di rinnovazione naturale da seme della specie target
	Curva di distribuzione in classi di diametro	Complessità di struttura verticale ed orizzontale
	Struttura verticale (distribuzione in altezza degli alberi)	
Legno morto	Presenza di legno morto in piedi	Descrizione della presenza di legno morto in piedi e a terra
	Detriti legnosi grossolani	
Diversità di specie	Ricchezza di specie	Presenza di altre specie arboree nel sito
	Percentuale di rinnovazione della specie non-target	
Microhabitat arborei	Percentuali di cavità presenti	Presenza di microhabitat

Di seguito l'esempio della scheda che mostra il modulo compilato sulla base dei dati effettivi ottenuti dal Sito 07 - Tre Termini (Figura 5.1).

 SCHEDA DI VALUTAZIONE GenBioSilvi		
Riferimenti del sito (località, posizione, ecc.)	Sistema selvicolturale attualmente applicato	Indicazioni per una Gestione Forestale Sostenibile sotto Cambiamenti Climatici
L'Alpe di Catenaiola è un distretto forestale pubblico di proprietà della Regione Toscana, gestito dall'Unione dei Comuni Montani del Casentino. Il comprensorio forestale si estende su 2341 ha a quota compresa tra i 620 e i 1600 m s.l.m.; il suolo è classificato come Ultic Hapludalfs, argilloso fine, misto, mesico. Secondo la classificazione europea dei tipi forestali, il sito è classificato come "Apennine-Corsican mountainous beech forest" (EFT 7.3).	La foresta nel sito dimostrativo è un soprassuolo transitorio di faggio coetaneo gestito con il trattamento a tagli successivi uniformi, con alcuni nuclei di <i>Abies alba</i> Mill. (40 anni) di origine naturale. Il numero di alberi (DBH>2,5 cm) è di 900-1200 alberi/ha, la provvigione è di 300-400 m³/ha, il diametro medio è di 24 cm, l'altezza media è di 18 m e l'altezza dominante è di 25 m. Il taglio operato per l'abete bianco è il taglio a scelta colturale.	Punteggio finale 10: il bosco analizzato è in eccellente stato sia in termini di biodiversità che di complessità della struttura forestale Nessun intervento richiesto
Indicatori di struttura forestale	Punteggio indicatore-specifico	Implicazioni sulla struttura forestale orizzontale e verticale
Deviazione standard (SD) dei diametri a petto d'uomo (DBH)	Score 1 (DBH SD < 5) X Score 2 (5 ≥ DBH SD ≤ 15) Score 3 (DBH SD > 15)	Score 1 (Struttura forestale semplificata senza rinnovazione) - da 4 a 6 Score 2 (Struttura forestale semplificata con rinnovazione o struttura forestale complessa senza rinnovazione) - da 7 a 8 X Score 3 (Struttura forestale complessa con rinnovazione) - da 9 a 11 Score 4 (Struttura complessa con rinnovazione in tutta l'area) - da 12 a 13
% di piante nello strato di rinnovazione (con DBH compreso tra 2,5 e 10 cm)	Score 1 (% Rinn < 15) Score 2 (15 ≥ % Rinn < 30) X Score 3 (30 ≥ % Rinn < 50) Score 4 (% Rinn ≥ 50)	
Curva di distribuzione in classi di diametro	Score 1 (Uni-modale) Score 2 (Bi modale) X Score 3 (J rovesciata)	
Struttura verticale (distribuzione in altezza degli alberi)	Score 1 (Mono-stratificato) Score 2 (Bi-stratificato) X Score 3 (Multi-stratificato)	
9. Punteggio indicatori di struttura forestale		
Indicatori di biodiversità	Punteggio indicatore-specifico	Implicazioni sulla struttura forestale
Indicatori legno morto		
Presenza di legno morto in piedi	Score 1 (assenza di legno morto in piedi) X Score 2 (presenza di legno morto in piedi)	X Score 1 (Assenza di legno morto) - 1 Score 2 (Presenza di legno morto in piedi e assenza di detriti) - 3 Score 3 (Presenza di legno morto in piedi e presenza di detriti) - 4
Detriti legnosi grossolani	X Score 1 (assenza di detriti legnosi) Score 2 (presenza di detriti legnosi)	
Indicatori di diversità di specie		
Presenza/assenza di altre specie	Score 1 (assenza di altre specie) X Score 2 (presenza di altre specie)	Score 1 (Sito monospecifico) - 2 Score 2 (Specie sporadiche con poca o assente rinnovazione) - 3 X Score 3 (Specie sporadiche con presenza di rinnovazione) - da 4 a 6
% di rinnovazione di altre specie oltre la specie target (diametro da 2,5 a 10 cm)	Score 1 (% Rinn < 15) Score 2 (15 ≥ % Rinn < 30) Score 3 (30 ≥ % Rinn < 50) X Score 4 (% Rinn ≥ 50)	
Indicatori di microhabitat arborei		
% di alberi con cavità	X Score 1 (% piante < 15) Score 2 (15 ≥ % Rinn < 50) Score 3 (% Rinn ≥ 50)	X Score 1 (Assenza o basso numero di microhabitat) - 1 Score 2 (Presenza di microhabitat) - 2 Score 3 (Alto numero di microhabitat presenti) - 3
10. Punteggio indicatori di struttura forestale		
10. Punteggio complessivo		

Figura 5.1. Scheda di valutazione del Sito 07 - Tre Termini.

6. Raccomandazioni per una gestione forestale sostenibile per abete bianco (*Abies alba* Mill.)

Andrej Breznikar¹, Hojka Kraigher², Davide Travaglini³, Cesare Garosi³, Cristina Vettori^{3,4}, Donatella Paffetti³, Roberta Ferrante^{3,5}, Natalija Dovč¹, Rok Damjanič¹, Marjana Westergren¹, Marko Bajc¹, Kristina Sever¹

¹ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

² Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

³ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali (DAGRI), Università degli Studi di Firenze (UNIFI), Italia

⁴ Institute of Bioscience and Bioresources (IBBR), National Research Council (CNR), Italy

⁵ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

Raccomandazioni per una gestione forestale sostenibile:

- A causa delle significative differenze nella crescita degli abeti, così come nell'ecologia della rinnovazione, le linee guida riguardanti la selvicoltura, i cicli di taglio e le dimensioni target devono essere adattate al tipo di foresta, al sito e alle condizioni del popolamento.
- I sistemi selvicolturali di taglio a scelta e di tagli successivi a gruppi sono i più adatti per la gestione dei popolamenti di abete bianco.
- Nel sistema selvicolturale di taglio a scelta con tagli continui a intervalli di 5-15 anni, si mantiene uno stock legnoso ottimale e condizioni del popolamento favorevoli alla rinnovazione degli abeti.
- In un sistema di tagli successivi a gruppi è necessario un periodo più lungo (>30 anni) per la rinnovazione e per la sua crescita e affermazione. Questo significa che nei luoghi dove si desidera promuovere gli abeti, si rinnova e si regolano gradualmente le condizioni di luce nel lungo periodo, rimuovendo gradualmente gli alberi del soprassuolo adulto. Nelle aree dove gli obiettivi di rinnovazione sono diversi, la rinnovazione è possibile in un periodo più breve e anche su una superficie più ampia. Un tale metodo richiede una pianificazione della gestione forestale attenta e differenziata. I tagli continui e la rinnovazione permanente, ma limitata spazialmente, sono importanti anche in un sistema di tagli successivi a gruppi.
- Il contributo alla rinnovazione dell'abete nelle aree con rinnovazione di faggio è importante per la conservazione di un soprassuolo vitale (più giovane) di abete (Wolf *et al.*, 2010).
- A causa dei lunghi periodi di rinnovazione nei popolamenti di abete, è necessario avviare il processo di rinnovazione prima rispetto a specie arboree con periodi di rinnovazione brevi.
- Le grandi differenze nella crescita degli alberi di dimensioni simili indicano la necessità di decidere per il taglio a scelta colturale (ZGS, 2021).
- Il ripristino dei popolamenti dovrebbe avvenire su piccole aree di rinnovazione, poiché ciò consente, in particolare, la rinnovazione delle specie arboree chiave.
- Problemi di rinnovazione possono verificarsi con ripristini su larga scala dopo disastri naturali. In questi casi, è necessario intensificare la preparazione del popolamento per la rinnovazione naturale e intervenire con la rinnovazione artificiale tramite piantagione.
- Nelle aree dove c'è un'alta pressione da parte degli ungulati, la protezione è essenziale per la rinnovazione dell'abete bianco (ad es. protezione individuale o di gruppo con recinzioni, repellenti).
- I tagli fitosanitari dovrebbero essere regolari e rapidi - tutti gli alberi fortemente attaccati da parassiti e malattie (ad esempio vischio bianco, gelate e cancro dell'abete) dovrebbero essere rimossi.
- La misura di cura più comune nei giovani popolamenti è la rimozione graduale di arbusti e vegetazione invasiva, regolando contemporaneamente la composizione delle specie arboree target nei popolamenti forestali.
- I siti produttivi di abete bianco richiedono diradamenti più intensivi, specialmente nelle fasi di sviluppo più giovani (tra il 20% e il 25%). Il diradamento deve essere precoce e mirato a regolare la composizione arborea e a rafforzare la stabilità dei popolamenti. Particolare attenzione deve essere prestata durante i diradamenti per garantire la stabilità dei popolamenti e la conserva-

zione degli alberi decidui nelle parti più aride del popolamento forestale. Il diradamento dei popolamenti di età media dovrebbe variare tra il 15% e il 20%.

- Nelle foreste a struttura disetanea, i tagli dovrebbero mirare a mantenere la struttura della foresta.
- Nei popolamenti adulti, l'intensità del diradamento dovrebbe essere inferiore (tra il 10% e il 15% del volume di accrescimento) e non dovrebbe produrre ampie aperture nei popolamenti forestali.
- È importante ridurre il periodo produttivo nei popolamenti di abete (tagliando un abete quando la sua crescita inizia a diminuire, cioè tra 80 e 100 anni).
- Una struttura bilanciata nei popolamenti a taglio a scelta è molto più resiliente ai fattori abiotici negativi rispetto a una struttura uniforme. Per questo motivo, ha senso convertire i popolamenti uniformi in popolamenti a scelta mediante diradamenti selettivi. La trasformazione tramite diradamento dovrebbe iniziare il prima possibile, liberando le chiome degli alberi selezionati e creando un network di alberi che supporti la stabilità dei popolamenti.
- Durante la trasformazione, si presta particolare attenzione alle specie arboree minoritarie, che hanno una capacità migliorativa, che indirettamente migliora e aumenta la produzione forestale. Particolarmente importanti sono le specie arboree che combinano la funzione migliorativa e allo stesso tempo hanno un valore economico (faggio, acero montano, olmo montano, frassino maggiore, tiglio, carpino bianco, ciliegio selvatico, pero selvatico, larice, castagno, ontano nero, pioppo tremulo, ecc.).
- La *Landscape Genomics* è essenziale per valutare la diversità genetica neutrale e adattativa per comprendere il "segno" dell'adattamento locale nelle popolazioni.
- La conoscenza della variabilità genetica adattativa può migliorare le decisioni di gestione forestale sostenibile e anticipare gli sforzi di migrazione assistita. Questo è cruciale per conservare le risorse genetiche forestali e arricchire i popolamenti con genotipi adattati, garantendo la resilienza delle foreste e la diversità genetica.
- Per i popolamenti di *Abies alba* Mill., raccomandiamo pratiche di gestione a basso impatto, come il taglio a scelta colturale o i tagli successivi a gruppi, che sono associate a popolazioni con un alto numero di varianti alleliche in risposta alle variabili ambientali.
- Il monitoraggio e lo studio della biodiversità in tutte le sue componenti sono cruciali per comprendere la resilienza degli ecosistemi forestali. Per questo motivo, è importante raccogliere informazioni riguardanti la diversità genetica, la struttura forestale, il legno morto, la diversità del suolo e le condizioni dei microhabitat.
- Per i popolamenti di *Abies alba* Mill. suggeriamo di utilizzare un tipo di gestione che aumenti la complessità del popolamento forestale con una struttura verticale pluristratificata che faciliti la dispersione del polline, promuova la diversità genetica e aumenti nuove varianti alleliche cruciali per l'adattamento ai cambiamenti climatici.
- L'uso del modello GenBioSilvi può supportare gli utenti forestali nel verificare lo stato della biodiversità e il potenziale adattativo del popolamento e fornire linee guida per una gestione forestale sostenibile.

Tra le misure con cui possiamo contribuire alla conservazione degli abeti in un ambiente climaticamente instabile vi sono:

- Il taglio a scelta, per favorire la trasformazione dei boschi coetanei in boschi con strutture diversificate e più complesse
- Misure di cura nei giovani popolamenti, in cui possiamo aumentare il numero di abeti regolando la composizione e successivamente tramite selezione positiva e piantagione di abeti sotto copertura (ad es. in piantagioni di abete rosso)
- Mantenimento delle aperture all'interno delle foreste, mantenimento di un margine forestale strutturato e di una sufficiente proporzione di alberi da seme
- La variabilità genetica dell'abete bianco è uno dei fattori più importanti nella sua risposta ai cambiamenti climatici poiché le caratteristiche di adattabilità e crescita degli alberi possono variare a seconda della loro origine. La gestione forestale sostenibile dei popolamenti di abete bianco dovrebbe quindi supportare il loro processo di migrazione naturale e adattamento.

7. Bibliografia

- Abies (2016). The 15th international conference on ecology and silviculture of fir. Bringing knowledge on Fir species together. Conference proceedings, 56 p. -http://www.iufro.org/download/file/26518/1404/10109-abies2016-sap-poro-abstracts_pdf/.
- Aravanopoulos, F.A. (2018). Do Silviculture and Forest Management Affect the Genetic Diversity and Structure of Long-Impacted Forest Tree Populations? *Forests*. 9(6):355. <https://doi.org/10.3390/f9060355>
- Bajc M., Aravanopoulos F., Westergren M., Fussi B., Kavaliauskas D., Alizoti P., Kiourtsis F., Kraigher H. (eds.) (2020). Manual for Forest Genetic Monitoring. Slovenian Forestry Institute: Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana.
- Carrer, M., Nola, P., Motta, R., & Urbinati, C. (2010). Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos*, 119(9), 1515-1525. <http://www.jstor.org/stable/20779075>
- Čačar M., Diaci J. (2020). Forest management - silvicultural systems. In: *Forests and forestry in Slovenia*. Ed: Čačar M., Zeleznik P., Slovenian Forestry Institute, The Silva Slovenica Publishing Centre, 120 p.
- D'Aprile D., Vacchiano G., Meloni F., Garbarino M., Motta R., Ducolim V., Partel P. (2020). Effects of Twenty Years of Ungulate Browsing on Forest Regeneration at Paneveggio Reserve, Italy. *Forests*, 11: 612. doi:10.3390/f11060612
- Excoffier L., Ray N. (2008). Surfing during population expansions promotes genetic revolutions and structuration. *Trends Ecol Evol*. Jul;23(7):347-51. doi: 10.1016/j.tree.2008.04.004. PMID: 18502536.
- Excoffier, L., Hofer, T. & Foll, M. (2009). Detecting loci under selection in a hierarchically structured population. *Hereditas* 103, 285-298. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.74>
- Forest management by mimicking nature, How to conserve forests by using them. 2014. Slovenia Forest Service: 27 p.
- Forgenius (2023). Deliverable D4.3: Synthetic index of genome-wide diversity and other adaptive potential estimators for a subset of the selected GCUs/species.
- GenTree (2020). Deliverable D1.5: Report characterizing the genetic diversity of the European Conservation Network and monitoring strategies.
- Guillot G., Mortier F., Estoup A. (2008). Analysing georeferenced population genetics data with Geneland: a new algorithm to deal with null alleles and a friendly graphical user interface. *Bioinformatics* 24:1406-1407. <http://dx.doi.org/10.1093/bioinformatics/btn136>.
- Hafner B., Černe B., Stergar M., Poljanec A. (2020). Analiza stanja poškodovanosti gozdnega mladja od rastlinojede parkljaste divjadi v letih 2010, 2014, 2017 in 2020/Analysis of the state of damage to forest natural regeneration by ungulate herbivores in years 2010, 2014, 2017 and 2020. *Zavod za gozdove Slovenije*, 104 p.
- Horsley S.B., Stout S.L., DeCalstea D.S. (2003). White-tailed deer impact on the vegetation dynamics of a northern hardwood forest. *Ecological Applications* 13: 98-118. doi: 10.1890/1051-0761.
- Kavaliauskas et al. (2020). Guidelines for genetic monitoring of Silver fir (*Abies alba* Mill.) and King Boris fir (*Abies borisii-regis* Mattf.). In: Bajc et al. (eds) Manual for Forest Genetic Monitoring. Slovenian Forestry Institute: Silva Slovenica Publishing Centre, Ljubljana.
- Kraigher H., Bajc M., Božič G., Brus R., Jarni K., Westergren M. (2019). Forests, forestry and the Slovenian forest genetic resources programme. In: *Forests of Southeast Europe under a changing climate* (Šijačić-Nikolić M., Milovanović J., Nonić M. eds.). Springer International Publishing. pp. 29-47. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95267-3_3.
- Kraigher H. (2024). Ohranjanje gozdnih genskih virov s semenarskim praktikumom. Založba Univerze v Mariboru (v tisku).
- Oggioni S.D., Rossi L.M.W., Avanzi C., Marchetti M., Piotti A., Vacchiano G. (2024). Drought responses of Italian silver fir provenances in a climate change perspective. *Dendrochronologia*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126184>.
- Paffetti, D., Travaglini, D., Buonamici, A., Nocentini, S., Vendramin, G., Giannini, R., Vettori, C. (2012). The influence of forest management on beech (*Fagus sylvatica* L.) stand structure and genetic diversity. *Forest Ecology and Management*, Volume 284, Pages 34-44, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.07.026>.
- Piotti A., Leonarduzzi C., Postolache D., Bagnoli F., Spanu I., Brousseau L., Urbinati C., Leonardi S., Vendramin G.G. (2017). Unexpected scenarios from Mediterranean refugial areas: disentangling complex demographic dynamics along the Apennine distribution of silver fir. *Journal of Biogeography*, 44: 1547-1558.
- Pritchard JK, Stephens M, Donnelly P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*. Jun;155(2):945-59. doi: 10.1093/genetics/155.2.945. PMID: 10835412; PMCID: PMC1461096.
- Prpic B. (ed.) (2001). Silver fir in Croatia. Hrvatske šume p.o, Zagreb: Akademija šumarskih znanosti. Zagreb, Croatia, 895 p.
- Regent B. (1980). Šumsko sjemenarstvo. Jugoslovenski poljoprivredno-šumarski centar, Beograd.
- Reilstab, C., Gugerli, F., Eckert, A.J., Hancock, A.M. and Holderegger, R. (2015). A practical guide to environmental association analysis in landscape genomics. *Mol Ecol*, 24: 4348-4370. <https://doi.org/10.1111/mec.13322>
- Schulze E.D., Bouriaud O., Wäldchen J., Eisenhauer N., Walentowski H., Seele C., Heinze E., Pruschitzki U., Danila G., Marin G., Hessenmöller D., Bouriaud L., Teodosiu M. (2014). Ungulate browsing causes species loss in deciduous forests independent of community dynamics and silvicultural management in Central and Southeastern Europe. *Annals of Forest Research* 57(2): 267-288. doi: 10.15287/afr.2014.273.
- Scotti-Saintagne C., Boivin T., Suez M., Musch B., Scotti I., Fady B. (2021). Signature of mid-Pleistocene lineages in the European silver fir (*Abies alba* Mill.) at its geographic distribution margin. *Ecol Evol.*, 11(16): 10984-10999. doi: 10.1002/ece3.7886.
- Sillanpää, M.J. (2011). On statistical methods for estimating heritability in wild populations. *Molecular Ecology*, 20: 1324-1332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2011.05021.x>
- Stiers, M., Willim, K., Seidel, D., Ehbrecht, M., Kabal, M., Ammer, C., Annighöfer, P. (2018). A quantitative comparison of the structural complexity of managed, lately unmanaged and primary European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests. *Forest Ecology and Management*, Volume 430, Pages 357-365, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.039>.
- Teodosiu M., Mihai G., Fussi B., Ciocîrlan E. (2019). Genetic diversity and structure of Silver fir (*Abies alba* Mill.) at the southeastern limit of its distribution range. *Ann. For. Res.*, 62: 139-156.
- Tremblay J.P., Hout J., Potvin F. (2007). Density-related effects of deer browsing on the regeneration dynamics of boreal forests. *Journal of Applied Ecology* 44: 552-562. doi: 10.1111/j.1365-2664.2007.01290.x.
- USDA (2008). The Woody Plant Seed Manual. United States Department of Agriculture, Forest Service, Agriculture Handbook 727. Washington D. C., USA.
- Wolf H., Westergren M., Poljanec A., Kraigher H. (2010). Tehnične smernice za ohranjanje in rabo genskih virov: bela jelka: *Abies alba*. *Gozd vestn.*, 68(10): p. 485-490.
- ZGS (2021). Usmeritve za gospodarjenje z gozdovi po skupinah gozdnih rastiščnih tipov. Internal publication. Slovenia Forest Service, Ljubljana, Slovenija, 236 p.



Beneficiary's name

Department of Agriculture, Food, Environment and Forestry (DAGRI), University of Florence (UNIFI), Italy (Coordinator)

Croatian Forest Research Institute (CFRI), Croatia

D.R.E.A.M., Italy

Ente Parco Regionale Migliarino San Rossore Massaciuccoli (MSRM), Italy

Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

Unione dei Comuni Montani del Casentino (UCCAS), Italy

Contributors

DAGRI-UNIFI: Cristina Vettori (IBBR-CNR), Roberta Ferrante, Cesare Garosi, Francesco Parisi, Davide Travaglini, Donatella Paffetti

CFRI: Sanja Bogunović, Mladen Ivanković, Anđelina Gavranović Markić, Barbara Škiljan, Zvonimir Vujnović, Miran Lanščak

MSRM: Francesca Logli

SFI: Marko Bajc, Rok Damjanić, Natalija Dovč, Tijana Martinović, Tanja Mrak, Tina Unuk Nahberger, Nataša Šibanc, Marjana Westergren, Hojka Kraigher

SFS: Andrej Breznikar, Kristina Sever

Project duration

01/09/2019 - 31/08/2024

Total cost and EU contribution

Total project budget: 2,976,245 €

LIFE Funding: 1,635,709 € (55% of total eligible budget)

Project's contact details

Coordinator and scientific responsible of the project

Donatella Paffetti - DAGRI-UNIFI

Via Maragliano, 77

50144 Firenze

Italy

donatella.paffetti@unifi.it

Project Manager

Cristina Vettori - IBBR-CNR

Via Madonna del Piano, 10

50019 Sesto Fiorentino (FI)

Italy

cristina.vettori@cnr.it

Communication Manager

Davide Travaglini - DAGRI-UNIFI

Via San Bonaventura, 13

50145 Firenze

Italy

davide.travaglini@unifi.it

Website

<https://www.lifesystemic.eu>



The LIFE SySTEMiC project has received funding from the LIFE program of the European Union.

Details on how to cite the content

The contents of book is under the Licensed Rights bound by the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International Public License ("Public License") (for details see <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode>).

Text, photos, images, illustrations

You are allowed to use the text, photos, images, and illustration reported within the Guidelines for Sustainable Forest Management of Silver fir (*Abies alba* Mill.), but acknowledgements to LIFE SySTEMiC project must be provided reporting the link to website of the project in the case of presentations/publications, and cited as Guidelines for Sustainable Forest Management of Silver fir (*Abies alba* Mill.), pages 22, (www.lifesystemic.eu). ISBN: 978889578858.



Graphics Arts & altro Grafica



See details

LIFEsystemic © 2020 | All Rights Reserved

