



Linee Guida per una Gestione Forestale Sostenibile di Quercus

*(Quercus robur L.,
Quercus pubescens Willd., Quercus ilex L.)*



Linee Guida per una Gestione Forestale Sostenibile di *Quercus* (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.)

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 DIFESA AMBIENTALE FORESTALE



UNIVERSITA' DEL SALENTO
CASA S. ANGELO
CASA S. ANGELO
CASA S. ANGELO



Zavod za gozdove Slovenije
Slovenia Forest Service



DESCRIZIONE DEL PROGETTO LIFE SySTEMiC

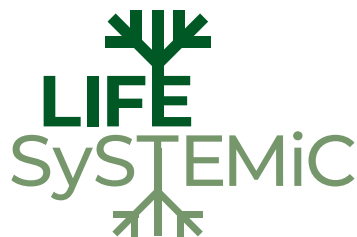
Il programma LIFE è uno strumento dell'Unione Europea che finanzia progetti aventi come scopo la conservazione degli ecosistemi, della biodiversità e la lotta al cambiamento climatico.

Il progetto LIFE SySTEMiC Project (*Close-to-nature forest Sustainable Management practices under Climate Changes*) ha come obiettivo lo sviluppo e l'utilizzo di un 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

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

Croatian Forest Research Institute (CFRI), Croatia

Quercus spp.

Le querce sono un genere di alberi e arbusti della famiglia delle Fagaceae. Ecologicamente, sono specie chiave presenti in aree che vanno dalle zone continentali dell'emisfero settentrionale ai semideserti mediterranei e alle foreste pluviali subtropicali. Con oltre 600 specie diverse, le querce sono monoiche e possono essere decidue o sempreverdi. Simbolo di robustezza, forza e resilienza, vengono spesso definite il "re della foresta". Caratterizzate da grandi dimensioni e crescita lenta, le querce producono ghiande che maturano nello stesso anno e contengono acidi tannici che le proteggono da funghi e insetti.

Quercus robur L. - Biologia e area di distribuzione

La farnia (*Quercus robur* L.) è una delle specie arboree più diffuse e pregiate d'Europa, che storicamente ha svolto un importante ruolo economico, sociale ed ecologico (Morić *et al.*, 2018). Secondo Klepac (1996), l'impatto ecologico dei boschi di farnie è stimato essere diverse volte superiore al loro impatto economico, con particolare attenzione alle loro funzioni antierosione e di regolazione dell'equilibrio idrico.



Figura 1.1. Areale di distribuzione della farnia (EFORGEN 2009, www.euforgen.org).

La farnia cresce in quasi tutta Europa, dalla Norvegia e dalla Svezia a nord fino alle penisole iberica, italiana e balcanica, e alla Turchia (Pasta *et al.*, 2016), raggiungendo anche la Scozia settentrionale. Si estende anche al Caucaso e all'Asia Minore, coprendo aree a nord e a est dell'areale della rovere (Figura 1.1). I terreni su cui prospera la farnia sono prevalentemente terreni fertili, argillosi o sabbiosi, tipicamente umidi e con alti livelli di acque sotterranee. La farnia cresce spesso in comunità con il carpino e l'orniello (Franjić e Škvorc, 2010). La farnia tollera bene l'inverno, anche se le gelate della tarda primavera possono causare danni significativi alle foglie giovani, compromettendo la crescita. Inoltre, poiché le sostanze nutritive provenienti dall'apparato radicale sono utilizzate per lo sviluppo delle nuove foglie, un anno di gelate dovrebbe comportare una produzione di ghiande significativamente inferiore.

Inoltre, nel suo habitat, la farnia previene il ristagno idrico del terreno e migliora il sistema idrico del suolo mantenendo l'equilibrio idrico attraverso la traspirazione.

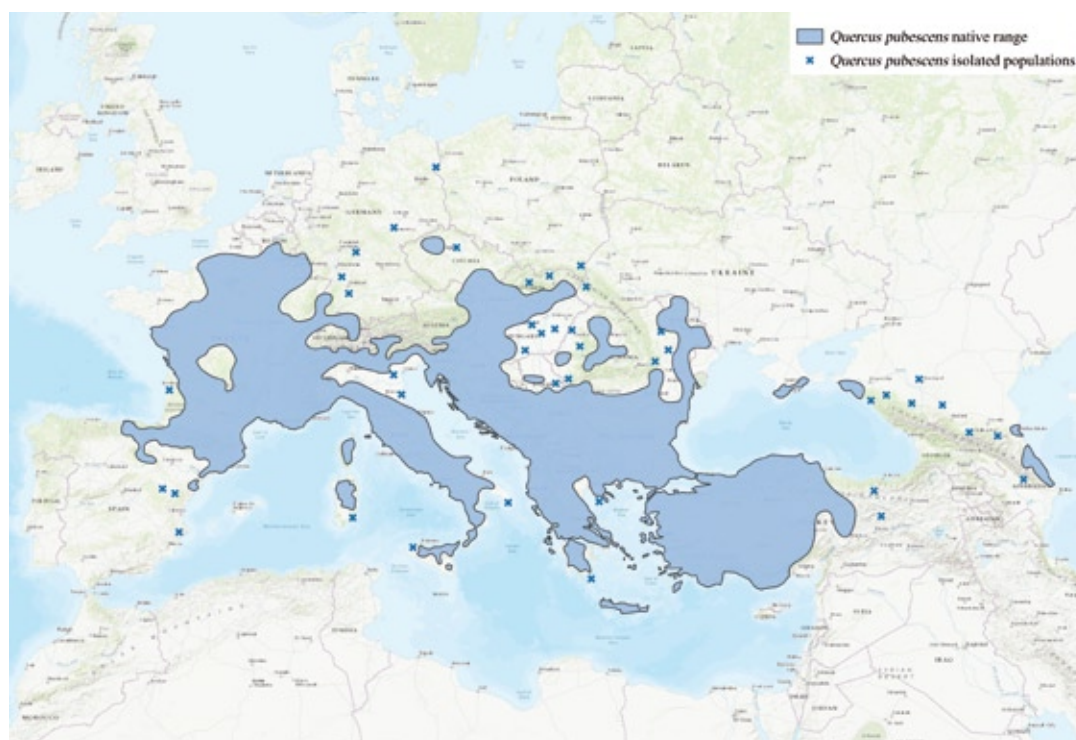


Figura 1.2. Areale di distribuzione della roverella (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Quercus pubescens Willd. - Biologia e area di distribuzione

La roverella (*Quercus pubescens* Willd.) è una delle specie arboree più diffuse in Europa a sud del Danubio, dalla costa atlantica della Francia al Mar Nero e alla Crimea, fino al Caucaso e all'Asia minore (Tutin *et al.*, 1993) (Figura 1.2). È una specie altamente polimorfa con numerosi taxa che si differenziano principalmente per alcune caratteristiche morfologiche (Franjić e Škvorc, 2010). Risiede prevalentemente in aree più calde con climi mediterranei e submediterranei. La roverella presenta un'ampia gamma di altitudini ed è la specie arborea dominante nelle foreste termofile e submediterranee dell'Europa sudorientale (Horváth *et al.*, 1974). Cresce su suoli asciutti e scheltrici e nelle regioni interne su esposizioni più calde. Si trova singolarmente o in gruppi sparsi, boschetti e altri gruppi termofili (Franjić e Škvorc, 2010).

Quercus ilex L. - Biologia e area di distribuzione

Quercus ilex L., il leccio o quercia sempreverde, è un albero o arbusto sempreverde a foglia larga originario del bacino del Mediterraneo, dove rappresenta la specie dominante nei boschi e nella vegetazione della macchia.

La distribuzione naturale del leccio si trova nel bacino del Mediterraneo (Figura 1.3). In tutta la sua distribuzione, due sottospecie sono identificate principalmente da variazioni nella morfologia delle foglie: *Q. ilex* subsp. *rotundifolia* (talvolta indicata come *Quercus ilex* subsp. *ballota* o come specie separata *Q. rotundifolia*) ha foglie più lanceolate con 6-8 venature e si trova in Portogallo, Spagna meridionale e sudorientale e Marocco; mentre *Q. ilex* subsp. *ilex* ha foglie più ovate con 8-9 venature e si trova nelle restanti aree (Schwarz, 1993; Praciak *et al.*, 2013). Nelle regioni occidentali (penisola iberica, coste atlantiche e mediterranee della Francia, penisola italiana, principali isole del Mediterraneo), il leccio forma grandi popolamenti puri, mentre nelle regioni orientali (coste balcaniche, Grecia, Creta, Mar Nero e Libano settentrionale) si trova più comunemente in popolamenti misti (Schirone *et al.*, 2019). Si trova a diverse altitudini, da 100-140 m s.l.m. nell'area del Mar Nero, fino a 400-600 m nel Mediterraneo, mentre in Marocco cresce fino ad altitudini di 2000-2600 m (Schirone *et al.*, 2019).

Il leccio è un albero in grado di crescere su vari tipi di suoli e in diversi climi mediterranei, che vanno da condizioni semi-aride a condizioni molto umide per quanto riguarda le precipitazioni, e da temperature calde a temperature molto fredde ad altitudini elevate, purché le precipitazioni rimangano basse (Barbero *et al.*, 1992). Tuttavia, nonostante la sua capacità di prosperare in ambienti diversi, i popolamenti puri di boschi di leccio stanno diventando sempre più rari a causa di attività antropiche come la deforestazione, l'urbanizzazione e l'espansione agricola nel corso dei secoli. La Tabella 1.1. riporta l'elenco dei siti per *Quercus* spp. del progetto LIFE SySTEMiC.



Figura 1.3. Areale di distribuzione della leccio (EUFORGEN 2009, www.euforgen.org).

Tra le 13 specie europee di quercia bianca, le farnie (*Quercus robur* L.) e i roveri (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) sono le specie arboree decidue più importanti, dal punto di vista economico ed ecologico, in Europa (Diaci, 2006), mentre altre specie di quercia come la roverella (*Quercus pubescens* Willd.) e il leccio (*Quercus ilex* L.), anch'esse studiate nell'ambito del progetto LIFE SySTEMiC, stanno acquisendo importanza grazie alla loro resistenza ai cambiamenti climatici (Tabella 1.1).

Tabella 1.1. Elenco dei siti dimostrativi del progetto per *Quercus* spp.

Id	Nome sito	Paese	Specie	EFT*	Struttura	Sistema selvicolturale
10	Culatta	Italia	<i>Q. robur</i>	5.1	Disetanea	Non gestito
13	Nova Gradiška	Croazia	<i>Q. robur</i>	5.1	Coetanea	Tagli successivi uniformi
20	Pula	Croazia	<i>Q. ilex</i>	9.1	Coetanea	Tagli successivi uniformi
21	Črni kal	Slovenia	<i>Q. pubescens</i>	8.1	Coetanea	Tagli successivi uniformi
28A	Krakovo (Managed)	Slovenia	<i>Q. robur</i>	5.1	Coetanea	Tagli successivi uniformi
28B	Krakovo (Reserve)	Slovenia	<i>Q. robur</i>	5.1	Disetanea	Non gestito

* EFT = European Forest Type: 5.1 Pedunculate oak-hornbeam forest; 8.1 Downy oak forest; 9.1 Mediterranean evergreen oak forest.

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

Andrej Breznikar¹, Cesare Garosi², Davide Travaglini²

¹ Slovenia Forest Service, Slovenia

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

Le querce sono ampiamente distribuite in Europa. Inoltre, essendo strettamente imparentate, possono incrociarsi, competere e ibridarsi naturalmente tra loro. Le querce sono quindi tra le specie arboree più diversificate. Gli alti livelli di diversità sono probabilmente dovuti al mantenimento di popolazioni di grandi dimensioni, alla sovrapposizione di nicchie ecologiche, al flusso genico su lunga distanza e alla loro interfertilità (Ducouso e Bordacs, 2004). I soprassuoli di quercia studiati all'interno del LIFE SySTEMiC sono stati perlopiù gestiti secondo i tagli successivi uniformi e successivi a gruppi e alcuni non stati più gestiti alcuni decenni. Il sistema selvicolturale più adatto ai boschi di farnia è quello a tagli successivi a gruppi, con aperture tra 0,5 e 2 ha, o i tagli successivi uniformi, che soddisfano le esigenze di luce della specie. I sistemi selvicolturali raramente utilizzati sono la gestione intensiva dei boschi coetanei, mentre il governo a ceduo è comune in Italia, soprattutto nei boschi di cerro, roverella e leccio (Ciancio e Nocentini, 2004). Inoltre, in alcuni casi si può verificare l'abbandono della gestione forestale nei boschi di quercia mediterranei in zone ad elevata pendenza e con accessibilità limitata.

Le caratteristiche stazionali nei soprassuoli di quercia possono cambiare a breve distanza. Se vogliamo preservare queste caratteristiche e trarre il massimo beneficio dalle loro specificità, è necessario utilizzare strutture di popolamento forestali misti. Lo sviluppo di popolamenti di querce idonei alle condizioni stazionali richiede una grande flessibilità nella scelta di un sistema di gestione forestale corretto e un'attenta pianificazione degli interventi. Le specie di quercia differiscono morfologicamente e in termini di condizioni del sito (Diaci, 2006).

Tutte le querce sono specie esigenti in termini di luce, e in giovane età crescono rapidamente in altezza. Nei siti migliori raggiungono il culmine dell'incremento già tra i 30 e i 45 anni di età. In seguito, l'incremento di volume diminuisce lentamente, e anche a 200 anni, i popolamenti mostrano ancora un incremento medio tra i più alti (Diaci, 2006). Soprattutto nelle fasi giovanili le querce

rispondono perfettamente alle pratiche selvicolturali che hanno un effetto importante sulla forma degli alberi e sulla struttura del popolamento.

Con l'aumento delle temperature medie annue, i siti di quercia diventeranno gradualmente più secchi, riducendo le aree idonee alla specie (ZGS, 2021). A causa di fattori biotici (malattie, parassiti) e abiotici (siccità), anche le piante in fase di sviluppo avanzato sono a rischio. Con l'aumento dell'aridità, aumenterà il rischio di incendi. La consociazione con conifere con un'alta percentuale di piante in cattivo stato vegetativo (per esempio, pino marittimo e nero) altera la vulnerabilità di queste foreste. I popolamenti di *Q. robur*, a causa del degrado, dei cambiamenti nella composizione delle specie arboree e delle variazioni della temperatura e del regime idrico, affrontano la mancanza di popolamenti adatti alla semina (ZGS, 2021). Una grande minaccia alla diversità genetica delle querce è l'introduzione di genotipi esotici attraverso le piantagioni. Le querce, che talvolta occupano habitat estremi (pendii rocciosi, dune, terreni salini, torbiere, garighe), sono ad alto rischio di scomparsa a causa del basso numero di individui, di habitat instabili e di un elevato impatto antropico (Bajc et al., 2020). Parassiti e agenti patogeni rappresentano una seria minaccia, come l'oidio della quercia (*Microsphaera alphitoides*), uno dei patogeni più comuni. Le querce mediterranee sono minacciate dall'eccessivo sfruttamento e dalla pressione esercitata dagli ungulati, dai cambiamenti climatici, dal taglio indiscriminato, dalla gestione forestale impropria.

Anche la rinnovazione naturale può essere difficile da ottenere. A causa del rapporto sbilanciato tra le fasi di sviluppo, dell'eccesso di selvaggina o dei cambiamenti nel regime delle acque, l'insediamento e l'affermazione della rinnovazione naturale è limitata (ZGS, 2021).

La rinnovazione dei popolamenti di farnia deve avvenire dopo l'annata di pasciona. I popolamenti vengono rinnovati principalmente per via naturale e, se necessario, anche con la semina e la piantagione. Quando si rinnova un popolamento di quercia (Figura 2.1), lo strato arboreo dominato non deve essere completamente rimosso, per l'effetto favorevole che svolge sul microclima, la protezione del novellame e la prevenzione della crescita eccessiva di erbe infestanti e arbusti (ZGS, 2021). La rinnovazione viene effettuata con una serie di due o tre tagli: taglio di preparazione con una intensità del 30%, taglio di sementazione con intensità del 50% e taglio finale di sgombero. I tagli devono essere eseguiti abbastanza rapidamente, con un intervallo di tempo compreso tra 3 e 5 anni. Lo strato arboreo sottostante deve essere rimosso entro due o tre anni dalla disseminazione.



Figura 2.1. L'introduzione dei popolamenti di quercia nella rinnovazione avviene dopo l'anno di semina.

Il ripristino con la piantagione o la semina è necessaria quando gli alberi da seme sono scarsi o di bassa qualità, quando la vegetazione concorrente tende a svilupparsi molto, nei popolamenti forestali danneggiati da calamità naturali, nei boschi alterati da trasformare e quando, per struttura e altre proprietà (microclima), la rinnovazione naturale non ha successo. La densità di piantagione deve essere compresa tra 3.000 e 5.000 piantine/ha. Oltre alla piantagione si può ricorrere anche alla semina. Il numero ottimale di ghiande per la semina dovrebbe essere compreso tra 400 e 800 kg/ha a seconda del metodo di semina (spargimento di semi, messa a dimora dei semi). La cura più appropriata, definita sulla base delle linee guida per la gestione forestale in Slovenia (ZGS, 2021) e dei risultati di LIFE SySTEMiC, comprende soprattutto la cura intensiva dei giovani alberi, necessaria per garantire la corretta struttura del popolamento della futura foresta. Nella crescita dei giovani alberi è necessario dare priorità al bilanciamento della consociazione di specie arboree. Nella fase iniziale, il problema maggiore è rappresentato dalla concorrenza esercitata dallo strato del sottobosco, che deve essere rimosso annualmente (Figura 2.2) finché la quercia non si è affermata. Nel caso di popolamenti rinnovati artificialmente, è necessaria una cura regolare e tempestiva, due volte l'anno, a seconda delle condizioni del terreno. Se la perdita è superiore al 30%, si procede a un ulteriore impianto con querce e latifoglie nobili (acero di monte, ciliegio selvatico) (ZGS, 2021). Nella fase di crescita giovanile è necessario controllare l'effetto negativo dell'oidio della quercia, che rappresenta uno dei fattori limitanti della rinnovazione naturale.

Le risorse genetiche delle querce sono minacciate non solo dalla perdita degli ecosistemi naturali e dalla limitazione delle fonti di semi, ma anche dall'impatto dell'inquinamento atmosferico e dai cambiamenti climatici a lungo termine (Bajc *et al.*, 2020). Il sistema di ripristino delle foreste di querce deve essere adattato alle sempre più frequenti calamità naturali e determinare le priorità di intervento dopo i disastri naturali e i metodi di ripristino delle foreste danneggiate. Le dimensioni delle aree da ripristinare devono essere ridotte, in quanto ciò garantisce la struttura a mosaico dei futuri popolamenti e ne aumenta la resilienza. Tuttavia, non dobbiamo ignorare le esigenze di luce/crescita delle singole specie arboree e non dobbiamo restringere la diversità di specie della futura rinnovazione affermata.

Il rapporto tra la rinnovazione naturale e la rinnovazione per impianto deve seguire altre strategie,



Figura 2.2. È necessario curare regolarmente le piante giovani a causa della concorrenza della vegetazione erbacea e arbustiva.

soprattutto per garantire la copertura costante delle aree forestali e assicurare la diversità genetica della giovane foresta. Ove possibile, si ricorre alla rinnovazione naturale, perché in questo modo il processo evolutivo viene meno disturbato. Il problema sorge quando l'ambiente cambia più velocemente di quanto gli alberi possano adattarsi. Questo può portare a una riduzione della vitalità e persino a un punto critico in cui la popolazione non è più in grado di rigenerarsi. L'orientamento principale rimane il ringiovanimento sotto copertura e la cura indiretta con l'aiuto del popolamento maturo. I periodi di rinnovazione devono essere rivalutati criticamente e accorciati laddove possibile, o prolungati in alcuni popolamenti forestali.

Con una cura adeguata, sufficientemente frequente e sufficientemente intensiva dei boschi di querce, possiamo influenzare il miglioramento della struttura dei boschi e quindi ridurre la suscettibilità ai disturbi naturali e anche ridurre l'impatto dei fattori biotici e abiotici negativi. È inoltre necessario adeguare (principalmente ridurre) la densità dei boschi per garantire una maggiore eterogeneità della struttura dei boschi (più strati verticali) e mantenere una diversa struttura verticale, orizzontale ed età dei boschi (Breznikar 2021). Il classico diradamento selettivo in condizioni adeguate del popolamento viene sostituito dal diradamento situazionale, che è un modo molto meno rischioso di prendersi cura dei popolamenti in crescita. Con l'aumento della frequenza e della gravità degli infortuni aumenta anche il rischio di danni agli stand e quindi la svalutazione dell'elevato investimento in misure di cura (ZGS, 2021).

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), Italia

² Istituto di Bioscienze e Biorisorse (IBBR), Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Italia

³ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

Abbiamo utilizzato approcci di *Landscape Genomics* per analizzare le componenti neutrale e adattative della diversità genetica, evidenziando possibili profili di adattamento locale nelle popolazioni. Abbiamo utilizzato marcatori molecolari neutri e adattativi insieme a dati spaziali e indicatori bioclimatici. I marcatori microsatelliti nucleari (nSSR *nuclear Simple Sequence Repeat*) sono stati analizzati come misura della variazione genetica neutrale e della struttura delle popolazioni studiate. I polimorfismi a singolo nucleotide (SNP *Single Nucleotide Polymorphism*) sono stati genotipizzati tramite un approccio di target *re-sequencing* delle regioni genomiche candidate e sono stati analizzati come misura della variazione genetica adattativa della popolazione studiata. Come risultato del target *re-sequencing* mirato di *Quercus robur* L., sono stati osservati circa 1600 SNP in 27 regioni genomiche rilevanti per la risposta a uno o più stress abiotici (risultati riportati nel *deliverable Action B1: SNP road-map of each study site*). Analizzando la distribuzione spaziale degli SNP (risultati riportati nel *deliverable Action B3: Handbook for sustainable forest management*), è stato possibile osservare un elevato numero di SNP specifici del sito in tutti i siti di quercia analizzati. Questo potrebbe essere percepito come una prova dell'adattamento all'ambiente locale. È interessante anche la presenza di una serie specifica di SNP nazionali nei siti situati in Slovenia. Questa abbondanza di SNP potrebbe essere interpretata come un "segno" di adattamento al regime bioclimatico dell'Europa centrale/continentale che caratterizza la regione slovena e la distingue dal clima più mediterraneo dell'Italia. Per identificare le caratteristiche di adattamento locali nei popolamenti di quercia, abbiamo condotto analisi GEA (*Genotype-Environment Association*). I risultati hanno mostrato l'esistenza di quattro genotipi presenti in Italia, Croazia e Slovenia. Inoltre, è interessante la presenza di un'associazione tra 42 varianti alleliche e i valori medi delle 12 variabili ambientali considerate per queste analisi. La presenza di queste associazioni potrebbe indicare un genotipo di adattamento basale della quercia nell'Europa centrale. Particolarmente rilevante è stata la presenza di varianti alleliche sito-specifiche associate a un particolare Paese (Italia o Slovenia/Croazia) e a singoli siti. La presenza di varianti alleliche associate a singoli siti potrebbe essere correlata al modello di adattamento locale piuttosto

che regionale. Nell'analisi di associazione ambientale (EAA- *Environmental Association Analysis*) è importante considerare la struttura genetica neutrale (Rellstab *et al.*, 2015), poiché la struttura genetica neutrale può produrre modelli simili a quelli attesi da processi non neutrali (Excoffier & Ray 2008; Excoffier *et al.*, 2009; Sillanpää 2011). Inoltre, la struttura genetica delle popolazioni è stata analizzata utilizzando due 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. Osservando ogni sito separatamente, abbiamo trovato il maggior numero di varianti alleliche (21 SNP) nei siti non gestiti (Sito 10 - Culatta; Figura 3.1). La presenza di un numero elevato di SNP associati all'adattamento alle variabili ambientali in questi siti potrebbe essere correlata alla struttura genetica neutra osservata per questi siti (Aravanopoulos, 2018; Paffetti *et al.*, 2012; Stiers *et al.*, 2018).

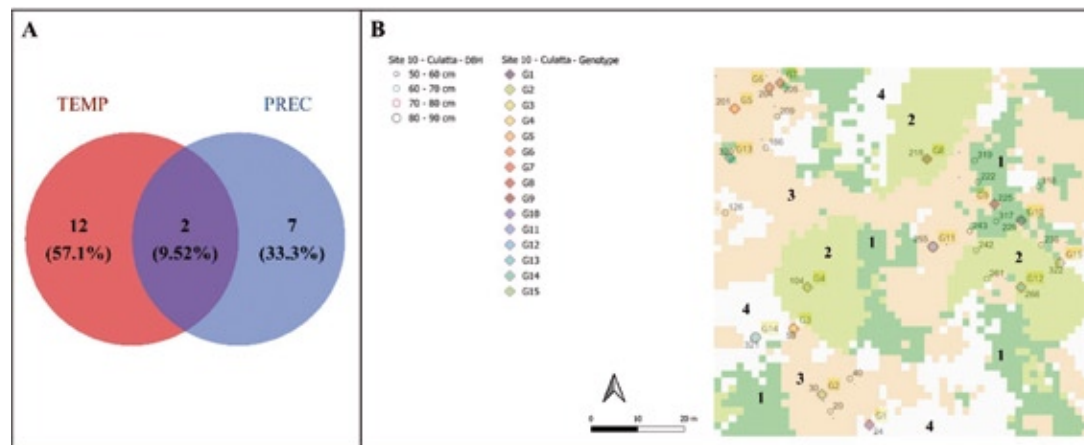


Figura 3.1. Risultati dell'analisi LFMM (*Latent Factor Mixed Models*) e mappa di distribuzione dei genotipi del Sito 10 - Culatta. (A) Il diagramma di Venn mostra la sovrapposizione tra SNP associati a indicatori bioclimatici legati alla temperatura e alle precipitazioni, come risultato dell'analisi LFMM. (B) Distribuzione spaziale del genotipo e organizzazione spaziale in 4 cluster (risultati GENELAND). La mappa mostra gli individui presenti nel sito di studio (cerchio con bordo nero) e gli individui sequenziati. Questi ultimi sono caratterizzati da cerchi colorati in base al genotipo osservato. Colori identici significano genotipi identici.

Una situazione simile è stata osservata nel Sito 13 - Nova Gradiska, caratterizzato da una struttura genetica spaziale complessa e dal minor numero di SNP associati. Al contrario, il Sito 28 - Krakovo, gestito con tagli successivi irregolari, ha mostrato una struttura genetica spaziale semplificata con uno dei numeri più alti di SNP associati. La gestione applicata ai popolamenti di quercia sembra semplificare la struttura genetica spaziale rispetto ai siti non gestiti e alle foreste vetuste. I risultati di questo studio potrebbero essere strumentali nella pianificazione della gestione forestale, dove la conoscenza della variabilità genetica da una prospettiva adattativa potrebbe supportare i processi decisionali. Queste conoscenze potrebbero essere utilizzate anche per la migrazione assistita, preservando le attuali risorse genetiche forestali e arricchendo il popolamento esistente con genotipi potenzialmente favorevoli.

4 Oidio della quercia

Natalija Dovč, Rok Damjanić, Hojka Kraigher

Slovenian Forestry Institute, Večna pot 2, 1000 Ljubljana, Slovenia

La farnia (*Q. robur* L.), una specie arborea fondamentale in Europa, si trova ad affrontare un futuro incerto nelle foreste (quasi) naturali a causa delle difficoltà di rinnovazione naturale. Uno dei fattori principali che contribuiscono a questa incertezza è una malattia fungina nota come oidio della quercia (complesso *Erysiphe alphitoides*) (Figura 4.1). Il fungo influisce in modo significativo sulla tolleranza all'ombra e sulla crescita verticale di piantine e novellame, portando a una marcata riduzione della loro vitalità e competitività. Di conseguenza, la rinnovazione naturale sotto la chioma delle querce è spesso ostacolata dalle infezioni da oidio (Demeter *et al.*, 2021).

Quando l'oidio della quercia infetta le foglie giovani, la patina polverosa si diffonde su tutta la superficie fogliare, causando uno sviluppo irregolare o un potenziale disseccamento. Questa proliferazione è particolarmente dannosa per il novellame, limitandone la crescita e causando una mortalità significativa. Al contrario, la patina polverosa sulle foglie adulte rimane localizzata, causando danni moderati agli alberi maturi (Thomas *et al.*, 2002; Marçais e Breda, 2006). I funghi producono spore (conidi) che vengono facilmente disperse dal vento, dagli insetti e dagli spruzzi d'acqua. Queste

spore germinano e infettano nuovi tessuti vegetali, soprattutto in condizioni di elevata umidità e temperature moderate.

Nell'ambito del progetto LIFE SySTEMiC sono stati testati diversi metodi di controllo dell'oidio della quercia in uno dei siti sperimentali nella foresta di Krakovo. La foresta di Krakovo è la più grande foresta alluvionale di pianura della Slovenia, dominata da farnie. La presenza dell'oidio della quercia è talmente estesa da rappresentare uno dei fattori limitanti della rinnovazione naturale. L'obiettivo dello studio è stato quello di valutare l'impatto della densità di impianto e delle diverse concentrazioni di bio-pesticida AQ-10 sull'infezione da oidio nelle piantine. L'esperimento prevedeva la piantagione in un'area recintata, seguendo il "Protocollo per l'esperimento di piantagione: protocollo di controllo dell'oidio delle querce" (vedi *Technical Manual*).

I nostri risultati non hanno mostrato differenze tra i vari trattamenti, né per quanto riguarda la crescita in altezza né per quanto riguarda la mortalità, che è stata in media compresa tra il 29,2% e il 31,9% in tutti i trattamenti dopo due anni. L'intensità dell'infezione si è rivelata una misura



Figura 4.1. Piantina di farnia con infezione da oidio della quercia.

inadeguata nel nostro caso perché, all'inizio della stagione vegetativa durante l'irrorazione di bio-controllo, gran parte della superficie fogliare era già danneggiata o mancante a causa dei defogliatori (Figura 4.2, a destra), il che ha impedito una valutazione affidabile. Più tardi, durante la stagione di crescita, le crescite di "lammas" (seconda e terza ondata a metà estate) hanno sostituito la maggior parte dell'area fogliare che si era sviluppata in primavera, lasciando l'area fogliare di nuova formazione non trattata. In base ai nostri risultati, il biofungicida AQ-10 non ha mostrato gli effetti desiderati contro l'oidio della quercia e la densità di impianto non ha avuto alcun impatto.



Figura 4.2. Parcella sperimentale nella foresta di Krakovo (a sinistra) e larva di limantria (*Lymantria dispar* L.) (a destra).

Nonostante i nostri risultati deludenti, rimane fondamentale esplorare vari metodi di protezione contro l'oidio della quercia, che sono principalmente implementati nei vivai forestali. Un controllo efficace dell'oidio sulle piantine di farnia e sulle giovani piante di quercia è fondamentale per le aree di rinnovazione durante le fasi di taglio. Le piante di quercia di uno o due anni ben consolidate tollerano bene l'oidio e il fungo non ostacola più la loro crescita (Pap *et al.*, 2012).

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 studiare la biodiversità negli ecosistemi forestali, abbiamo analizzato indicatori quali la diversità genetica, la struttura forestale, il legno morto, la diversità del suolo e i microhabitat, utilizzando i dati raccolti in altre attività del progetto. Nei soprassuoli di farnia (*Quercus robur* L.) abbiamo osservato che le foreste non gestite o vetuste hanno conservato e aumentato la biodiversità. Sulla base della nostra analisi dei dati nSSR (*nuclear Simple Sequence Repeat*), abbiamo osservato che il Sito 10 - Culatta e il Sito 13 - Nova Gradiška, entrambi soprassuoli di quercia non gestiti, avevano una struttura genetica spaziale complessa ed eterogenea. Sono stati identificati numerosi SNP correlati con le condizioni ambientali, in particolare nel Sito 10 - Culatta (non gestito) è stato presentato un numero maggiore di SNP correlati con indicatori bioclimatici. I dati dendrometrici hanno indicato che la struttura migliore è una foresta multi-stratificata disetanea, considerando tutte le specie presenti. Infatti, tutti i siti analizzati sono popolamenti misti di quercia inglese e queste specie dovrebbero essere preservate. Il Sito 28B - Karakovo (sito non gestito) presentava il più alto volume di legno morto e molti microhabitat saproxilici, soprattutto intorno ai vecchi alberi. Tutti i siti analizzati erano popolamenti misti di querce. Sulla base dei risultati ottenuti, i tipi di gestione che consentono di creare strutture forestali complesse, caratteristiche di popolamenti disetanei e multistrato, aumentano la probabilità di osservare diverse forme di microhabitat.

Il nostro modello si concentra su indicatori chiave come il legno morto, il microhabitat e la diversità delle specie, guidando le pratiche di gestione sostenibile senza la necessità di raccogliere dati sulla 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 10 - Culatta (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
Il sito si trova nel Parco Regionale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli, una proprietà pubblica della Regione Toscana e gestita dal Parco stesso. L'area di studio ricade all'interno di una ZSC ed una ZPS della Rete Natura 2000, entrambe denominate "Selva Pisana" (codice IT5170002). Il sito dimostrativo ricade all'interno della particella forestale n. 386, ad una quota di 2 m s.l.m.; la superficie della particella forestale è di 29,2 ha. La foresta vegeta su terreni alluvionali. Il sito è un bosco misto di latifoglie decidue mesofile dominato da <i>Quercus robur</i> L., <i>Fraxinus angustifolia</i> Vahl e <i>Populus alba</i> L.; altre specie arboree forestali presenti sono <i>Acer campestre</i> L., <i>Ulmus minor</i> Mill. e <i>Crataegus monogyna</i> Jacq.; secondo la classificazione europea dei tipi forestali, il sito è classificato come "Pedunculate oak-hornbeam forest" (EFT 5.1).	La foresta è un popolamento di età disforme lasciato a libera evoluzione. La struttura verticale è tipica di un popolamento disetaneo con tre o più strati arborei; il numero di alberi (dbh>2,5 cm) è di 608 alberi/ha, l'area basimetrica è di 27,9 m ² /ha, la provvigione è di 367,5 m ³ /ha.	Punteggio finale 10: il bosco analizzato è in eccellente stato sia in termini di biodiversità che di complessità della struttura forestale Sono richiesti interventi per favorire la rinnovazione di farnia, minacciata dalla forte pressione della brucatura da parte degli ungulati
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)	X 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 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)	X Score 1 (% Rinn < 15) Score 2 (15 ≥ % Rinn < 30) Score 3 (30 ≥ % Rinn < 50) Score 4 (% Rinn ≥ 50)	
Curva di distribuzione in classi di diametro	X Score 1 (Uni-modale) Score 2 (Bi modale) Score 3 (J rovesciata) Score 1 (Mono-stratificato)	
Struttura verticale (distribuzione in altezza degli alberi)	X Score 2 (Bi-stratificato) Score 3 (Multi-stratificato)	

6. 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)	Score 1 (Assenza di legno morto) - 1 Score 2 (Presenza di legno morto in piedi e assenza di detriti) - 3
	X Score 2 (presenza di legno morto in piedi)	
Detriti legnosi grossolani	Score 1 (assenza di detriti legnosi)	X piedi Score 3 (Presenza di legno morto in piedi e presenza di detriti) - 4
	X Score 2 (presenza di detriti legnosi)	
Indicatori di diversità di specie		
Presenza/assenza di altre specie	Score 1 (assenza di altre specie)	Score 1 (Sito monospecifico) - 2 Score 2 (Specie sporadiche con poca o assente rinnovazione) - 3 Score 3 (Specie sporadiche con presenza di rinnovazione) - da 4 a 6
	X Score 2 (presenza di altre specie)	
% 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)	
	X Score 3 (30 ≥ % Rinn < 50)	
	Score 4 (% Rinn ≥ 50)	
Indicatori di microhabitat arborei		
% di alberi con cavità	Score 1 (% piante < 15)	X Score 1 (Assenza o basso numero di microhabitat) - 1 Score 2 (Presenza di microhabitat) - 2 Score 3 (Alto numero di microhabitat presenti) - 3
	X Score 2 (15 ≥ % Rinn < 50)	
	Score 3 (% Rinn ≥ 50)	
13. Punteggio indicatori di struttura forestale		
10. Punteggio complessivo		

Figura 5.1. Scheda di valutazione del Sito 10 - Culatta.

6 Raccomandazioni per una gestione forestale sostenibile

Andrej Breznikar¹, Kristina Sever¹, Cesare Garosi², Cristina Vettori^{2,3}, Donatella Paffetti², Roberta Ferrante^{2,4}, Hojka Kraigher⁴, Natalija Dovč², Rok Damjanič², Davide Travaglini²

¹ Slovenia Forest Service (SFS), Slovenia

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

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

⁴ NBFC, National Biodiversity Future Center, Italy

⁵ Slovenian Forestry Institute (SFI), Slovenia

- Le querce sono tra le specie di alberi forestali più diversificate, sono strettamente imparentate e possono ibridarsi, competere e naturalmente ibridarsi tra loro.
- Il sistema selvicolturale più adatto per i boschi di farnia sono i tagli successivi a gruppi con aperture ampie tra 0,5 e 2 ha o il sistema dei tagli successivi uniformi, che soddisfano le esigenze di luce delle querce.
- I sistemi selvicolturali raramente usati sono la gestione intensiva delle foreste coetanee, mentre il sistema a ceduo è comune in Italia, soprattutto nei boschi di cerro, roverella e di leccio.
- Le caratteristiche dei siti di quercia possono variare anche a brevi distanze. Per preservare queste caratteristiche e sfruttarne al massimo le specificità, dovrebbero essere utilizzate strutture miste di alberi e di bosco.
- Tutte le querce sono specie esigenti di luce e da giovani crescono rapidamente in altezza.
- Con l'aumento delle temperature medie annue, i siti di quercia diventeranno gradualmente più secchi, il che porterà alla riduzione delle superfici a loro idonee, soprattutto per la farnia.
- La grande minaccia alla diversità genetica delle querce è l'introduzione di genotipi esotici tramite le piantagioni. Le querce bianche hanno nicchie ecologiche molto ampie e talvolta occupano habitat estremi (pendii rocciosi in montagna, dune, terreni salini, torbiere, garighe). Queste popolazioni sono ad alto rischio di scomparsa perché il numero di individui è basso, gli habitat sono instabili e l'impatto umano è spesso alto.

- Parassiti e patogeni come l'oidio della quercia (*Microsphaera alphitoides*) rappresentano una seria minaccia. Le querce mediterranee affrontano ulteriori minacce come l'eccessivo sfruttamento e il pascolo eccessivo, i cambiamenti climatici, il taglio indiscriminato, la gestione forestale impropria (cedui o tagli rasi su vaste aree) e la brucatura da parte degli ungulati.
- Poiché la rinnovazione naturale può essere problematica per le querce, la rinnovazione dei popolamenti di farnia da conservazione dovrebbe avvenire dopo l'anno di semina abbondante, con serie di diradamenti e cura intensiva del novellame.
- I popolamenti di quercia vengono ripristinati dove necessario anche tramite piantagione e semina, quando si verificano problemi con la rinnovazione naturale (mancanza di alberi riproduttori, vegetazione competitiva abbondante, danni dovuti a calamità naturali, ecc.).
- È necessaria una cura intensiva dei giovani alberi per garantire una struttura adeguata del popolamento e una miscela di specie arboree per il futuro bosco, riducendo al contempo la competizione del sottobosco.
- Le risorse genetiche delle querce sono minacciate dalla perdita di ecosistemi naturali, dalla limitazione delle fonti di semi e dai cambiamenti climatici a lungo termine.
- La *Landscape Genomics* è importante per valutare la diversità genetica neutrale e adattativa per comprendere la capacità di adattamento delle popolazioni e guidare la gestione forestale.
- La conoscenza della variabilità genetica da una prospettiva adattativa può migliorare le decisioni di gestione forestale e anticipare gli sforzi di migrazione assistita. Questo è importante per preservare le risorse genetiche forestali e arricchire i popolamenti con genotipi favorevoli, assicurando la resilienza e la diversità genetica del bosco.
- Per i soprassuoli di *Quercus robur* L., abbiamo osservato che la gestione applicata ai popolamenti di quercia sembra determinare una struttura genetica spaziale semplificata rispetto a quella osservata nei siti non gestiti e nelle foreste vetuste.
- 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 sulla diversità genetica, sulla struttura forestale, sul legno morto, sulla diversità del suolo e sui microhabitat.
- Per i popolamenti di *Quercus* spp. che hanno caratteristiche simili a quelle incluse nel nostro studio, si suggerisce di utilizzare un tipo di gestione che aumenti la complessità del bosco con una struttura verticale pluristratificata che faciliti la dispersione del polline, promuova la diversità genetica e aumenti le nuove varianti alleliche cruciali per l'adattamento ai cambiamenti climatici.
- L'utilizzo del modello GenBioSilvi potrebbe supportare i gestori e i tecnici forestali nel valutare lo stato attuale della biodiversità del popolamento e fornire indicazioni per una gestione sostenibile.
- Il sistema di rinnovazione forestale nei popolamenti di quercia deve essere adattato alle calamità naturali sempre più frequenti, principalmente con la diversificazione delle dimensioni delle aree in rinnovazione, poiché questo garantisce la costituzione di una struttura a mosaico nei futuri popolamenti e aumenta la loro resilienza.
- Dove possibile, viene utilizzata la rinnovazione naturale, poiché in questo modo il processo evolutivo viene meno disturbato e l'orientamento principale resta il ricorso a forme di trattamento che prevedono la rinnovazione sotto copertura del soprassuolo adulto.
- Con una rinnovazione appropriata e una cura sufficientemente frequente e intensiva dei popolamenti di quercia, possiamo facilitare il miglioramento e la diversificazione della struttura dei popolamenti, ridurre la suscettibilità ai disturbi naturali e agli impatti negativi dei fattori biotici e abiotici, nonché conservare e migliorare la diversità genetica dei popolamenti di quercia, riducendo significativamente i rischi di gestione delle querce in ambienti climaticamente instabili.

BIBLIOGRAFIA

- Aitken, S.N., Yeaman, S., Holliday, J.A., Wang, T. and Curtis-McLane, S. (2008), Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications*, 1: 95-111. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2007.00013.x>.
- Alberto FJ, Derory J, Boury C. (2013), Imprints of natural selection along environmental gradients in phenology-related genes of *Quercus petraea*. *Genetics*, Volume 195, Issue 2, Pages 495-512, <https://doi.org/10.1534/genetics.113.153783>.
- Aravanopoulos, FA. (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>.
- Babst, F., Bouriaud, O., Poulter, B., Trouet, V., Girardin, MP., Frank, DC. (2019), Twentieth century redistribution in climatic drivers of global tree growth. *Science Advances*. doi:10.1126/sciadv.aat4313.
- Blanquart, F., Kaltz, O., Nuismer, S.L., Gandon, S., (2013), A practical guide to measuring local adaptation. *Ecol. Lett.* 16, 1195-1205. <https://doi.org/10.1111/ele.12150>.
- 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.
- Balkenhol, et al., 2016. *Landscape Genetics: Concepts, Methods, Applications*. ISBN 978-1-118-52528-9 2.
- Barbero M., Loisel R., Quézel P. (1992). *Quercus ilex* L. ecosystems: function, dynamics and management. In: Romane F., Terradas J. (eds.), Springer Netherlands, *Advances in vegetation science*, 13: 19-34.
- Barrett LW, Fletcher S, Wilton SD. (2012), Regulation of eukaryotic gene expression by the untranslated gene regions and other non-coding elements. *Cell Mol Life Sci.* 69(21):3613-34. doi: 10.1007/s00018-012-0990-9.
- Bouriaud, O., Popa, I. (2009), Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains. *Trees* 23, 95-106. <https://doi.org/10.1007/s00468-008-0258-z>
- Breznikar A. (2019). Podnebne spremembe postajajo glavni izziv javne gozdarske službe na področju gojenja in varstva gozdov. *Gozdarski vestnik, letnik 77, No. 9, Ljubljana*, p. 332-337.
- Chambel, M. R., Climent, J., Alia, R., & Valladares, F. (2005), Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. *Forest Systems*, 14(3), 334-344. <https://doi.org/10.5424/srf/2005143-00924>.
- Ciancio O., Nocentini S. (2004). The coppice forest. *Silviculture, regulation, management*. In: "Il bosco ceduo. Selvicoltura, assestamento, gestione". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 679-701.
- Ciancio O., Nocentini S. (2004). The coppice forest. *Silviculture, regulation, management*. In: "Il bosco ceduo. Selvicoltura, assestamento, gestione". Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 679-701.
- Carrasquinho, I., Gonçalves, E. (2013), Genetic variability among *Pinus pinea* L. provenances for survival and growth traits in Portugal. *Tree Genetics & Genomes* 9, 855-866. <https://doi.org/10.1007/s11295-013-0603-2>.
- Carrer, M., Nola, P., Motta, R. and Urbinati, C. (2010), Contrasting tree-ring growth to climate responses of *Abies alba* toward the southern limit of its distribution area. *Oikos*, 119: 1515-1525. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2010.18293.x>.
- Degen, B., Blanc-Jolivet, C., Bakhtina, S. (2021), Applying targeted genotyping by sequencing with a new set of nuclear and plastid SNP and indel loci for *Quercus robur* and *Quercus petraea*. *Conservation Genet Resour* 13, 345-347. <https://doi.org/10.1007/s12686-021-01207-6>.
- Demeter L., Molnár A. P., Öllerer P., Csóka G., Kiš A., Vadász C., Horváth F., Molnár Z. (2021). Rethinking the natural regeneration failure of pedunculate oak: The pathogen mildew hypothesis. *Biological Conservation*, 253. doi: 10.1016/j.biocon.2020.108928.
- Diaci J. (2006). Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana poglavja. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, 348 p.
- Ducouso A., Bordacs S. (2004). EUFORGEN - Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italia, 6 p.
- Ducouso A., Bordacs S. (2004). EUFORGEN - Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy, 6 p.
- Ducouso A., Bordacs, S. (2004). EUFORGEN [European Forest Genetic Resources Programme] technical guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (*Quercus robur* and *Q. petraea*). EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use.
- Elling, W., Dittmar, C., Pfaffelmoser, K., Rötzer, T. (2009), Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany, *Forest Ecology and Management*, Volume 257, Issue 4, Pages 1175-1187, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.014>.
- Eckert AJ., Hall BD. (2006), Phylogeny, historical biogeography, and patterns of diversification for *Pinus* (Pinaceae): phylogenetic tests of fossil-based hypotheses. *Mol Phylogenet Evol* 40:166-182. doi.org/10.1016/j.ympev.2006.03.009.
- 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. *Heredity* 103, 285-298. <https://doi.org/10.1038/hdy.2009.74>.
- Fady, B. and Conord, C. (2010), Macroecological patterns of species and genetic diversity in vascular plants of the Mediterranean basin. *Diversity and Distributions*, 16: 53-64. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2009.00621.x>.
- Flint, L.E., Flint, A.L., Thorne, J.H. (2013), Fine-scale hydrologic modeling for regional landscape applications: the California Basin Characterization Model development and performance. *Ecol Process* 2. 1030 <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-25>.
- Franjić, J.; Škvorc, Ž.; Šumsko drveće i grmlje Hrvatske. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu - Šumarski fakultet, 2010. 432.
- Gausson H., Heywood VH., CHATER A.O., (1964), *Pinus* L. In: Tutin, T. G., Burges, N. A., Chater, A. O., Edmondson, J. R., Heywood, V. H., Moore, D. M., Valentine, D. H., Walters, S. M., Webb, D. A. (Eds.), "Flora Europaea" 1: 32-35. Cambridge.
- González de Andrés, E., Camarero, J., Martínez, I., Coll, L. (2014), Uncoupled spatiotemporal patterns of seed dispersal and regeneration in Pyrenean silver fir populations, *Forest Ecology and Management*, Volume 319, Pages 18-28, ISSN 0378-1127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.01.050>.
- González de Andrés, E., Gazol, A., Querejeta, J. I., Igual, J. M., Colangelo, M., Sánchez-Salguero, R., Linares, J. C., & Camarero, J. J. (2022), The role of nutritional impairment in carbon-water balance of silver fir drought-induced dieback. *Global Change Biology*, 28, 4439-4458. <https://doi.org/10.1111/gcb.16170>.
- Gugger, P.F., Fitz-Gibbon, S., PellEgrini, M. and Sork, V.L. (2016), Species-wide patterns of DNA methylation variation in *Quercus lobata* and their association with climate gradients. *Mol Ecol*, 25: 1665-1680. <https://doi.org/10.1111/mec.13563>.
- 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>.
- Hoegh-Guldberg O, Hughes L, McIntyre S, Lindenmayer DB, Parmesan C, Possingham HP, Thomas CD. (2008), Assisted colonization and rapid climate change. *Science*. Jul 18;321(5887):345-6. doi: 10.1126/science.1157897. PMID: 18635780.
- Kesić, L., Cseke, K., Orlović, S., Stojanović, D. B., Kostić, S., Benke, A., Avramidou, E. V. (2021), Genetic diversity and differentiation of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) populations at the southern margin of its distribution range—implications for conservation. *Diversity*, 13(8), 371. doi.org/10.3390/d13080371.
- Klepac D. (1996). Uvod. U: D. Klepac (ur.), *Hrast lužnjak u Hrvatskoj*, HAZU i »Hrvatske šume« p.o., Vinkovci - Zagreb: 9-12.
- Kramer, K., Vreugdenhil, SJ., Van der Werf, DC. (2008), Effects of flooding on the recruitment, damage and mortality of riparian tree species: A field and simulation study on the Rhine floodplain, *Forest Ecology and Management*, Volume 255, Issue 11, Pages 3893-3903, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.03.044>.
- Kramer A, Ronce O, Robledo-Arnuncio JJ, Guillaume F, Bohrer G, Nathan R, Bridle JR, Gomulkiewicz R, Klein EK, Ritland K, Kuparinen A, Gerber S, Schueler S. (2012), Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecol Lett.* 15(4):378-92. doi: 10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x
- Lefèvre, F., Boivin, T., Bontemps, A. (2014), Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science* 71, 723-739. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>.
- Marçais B. and Bréda N. (2006). Role of an opportunistic pathogen in the decline of stressed oak

- trees. *Journal of Ecology*, 94, 1214-1223. doi:10.1111/j.1365-2745.2006.01173.x.
- Mosca, E., Eckert, A.J., Di Pierro, E.A., Rocchini, D., La Porta, N., Belletti, P. and Neale, D.B. (2012), The geographical and environmental determinants of genetic diversity for four alpine conifers of the European Alps. *Mol Ecol*, 21: 5530-5545. <https://doi.org/10.1111/mec.12043>.
- 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>.
- Pap P., Ranković B. and Mačirević S. (2012). Significance and need of powdery mildew control (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) in the process of regeneration of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in the Ravni Srem area. *Periodicum Biologorum*, 114: 1, 91-102.
- Pasta S., De Rigo D., Caudullo G. (2016). *Quercus pubescens* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. *European Atlas of forest tree species*: 156-157.
- Pinzauti, F., Vendramin, G.G., Buonamici, A., Maggini, F., Sebastiani, F., & Vettori, C. (2012), Low genetic diversity but high phenotypic plasticity in *Pinus pinea* L. (Stone pine). *Plant Biology*, 14(6), 944-955.
- Pluess, A.R., Frank, A., Heiri, C., Lalagüe, H., Vendramin, G.G., Oddou-Muratorio, S. (2016), Genome-environment association study suggests local adaptation to climate at the regional scale in *Fagus sylvatica*. *New Phytol.* 210, 589-601. doi.org/10.1111/nph.13809.
- Praciak A., Pasiecznik N., Sheil D., Van Heist M., Sassen M., Correia C.S., Teeling C. (2013). The CABI encyclopedia of forest trees (CABI, Oxfordshire, UK). ISBN: 978178064236.
- 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.
- Rellstab, 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>.
- Schirone B., Vessella F., Varela M.C. (2019). EUFORGEN Technical Guidelines for genetic conservation and use for Holm oak (*Quercus ilex*). *European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN)*, European Forest Institute, 6 p.
- 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. *Ecology and Evolution*, 11, 10984-10999. <https://doi.org/10.1002/ece3.7886>.
- Schwarz O. (1993). *Flora Europaea: Psilotaceae to Platanaceae* (Vol. 1). In: Tutin T. G. *et al.* (eds.), Cambridge University Press, second edn: 72-76.
- Sillanpaa, 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>.
- Thomas F. M., Blank R. and Hartmann G. (2002). Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in central Europe. *Forest Pathology*, 32, 277-307. doi:10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x.
- Tinner, W., Colombaroli, D., Heiri, O., Henne, P.D., Steinacher, M., Untenecker, J., Vescovi, E., Allen, J.R.M., Carraro, G., Conedera, M., Joos, F., Lotter, A.F., Luterbacher, J., Samartin, S. and Valsecchi, V. (2013), The past ecology of *Abies alba* provides new perspectives on future responses of silver fir forests to global warming. *Ecological Monographs*, 83: 419-439. <https://doi.org/10.1890/12-2231.1>.
- Tutin T.G., Burges N.A., Chater A.O., Edmondson J.R. Heywood V.H., Moore D.M., Valentine D.H., Walters S.M., Webb D.A. (eds.) (1993). *Flora Europaea*, ed. 2, 1. Cambridge.
- ZGS (2021). *Usmeritve za gospodarjenje z gozdovi po skupinah gozdnih rastiščnih tipov*. Internal publication. Slovenia Forest Service, Ljubljana, Slovenija, 236 p.
- Vitali V, Büntgen U, Bauhus J. (2017), Silver fir and Douglas fir are more tolerant to extreme droughts than Norway spruce in south-western Germany. *Glob Change Biol.* 2017; 23: 5108-5119. <https://doi.org/10.1111/gcb.13774>.
- Vitasse, Y., Bottero, A., Rebetez, M., Conedera, M., Augustin, S., Brang, P., Tinner, W. (2019), What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *Eur. J. Forest Res.* 138 (4), 547-560.



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

Project Manager

Cristina Vettori - IBBR-CNR
Via Madonna del Piano, 10
50019 Sesto Fiorentino (FI)
Italy
cristina.vettori@cnr.it

Total cost and EU contribution

Total project budget: 2,976,245 €
LIFE Funding: 1,635,709 € (55% of total eligible budget)

Communication Manager

Davide Travaglini - DAGRI-UNIFI
Via San Bonaventura, 13
50145 Firenze
Italy
davide.travaglini@unifi.it

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

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 Oaks (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.), but acknowledgements to LIFE SySTEMiC project must be provided reporting the link to website of the project in the case of presentation s/publications, and cited as Guidelines for Sustainable Forest Management of Oaks (*Q. robur* L., *Q. pubescens* Willd., *Q. ilex* L.), pages 22 (www.lifesystemic.eu). ISBN: 9788889578858



Graphics Arts & altro Grafica



LIFEsystemic © 2020 | All Rights Reserved

