

ALBERTO MALTONI¹, GIUSEPPE PIGNATTI², ANDREA PIOTTI³

Controllo delle qualità estrinseche e intrinseche del materiale vivaistico

¹ Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agrarie, Alimentari, Ambientali e Forestali, Università degli Studi Firenze

² Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca Foreste e Legno

³ Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Bioscienze e Biorisorse

INTRODUZIONE

Secondo le previsioni la velocità di cambiamento del clima supera la capacità delle piante di adattarsi alle variazioni o di migrare. Al contrario di specie con cicli vitali brevi, le specie forestali subiranno gli effetti del cambiamento, aumentando da un lato la produttività per l'allungamento del periodo vegetativo, ma anche crescendo in condizioni di maggiore secchezza dell'aria, aridità dei suoli e alterazioni fenologiche. Agenti biotici e abiotici di disturbo potranno accentuare gli effetti di cambiamento delle condizioni di crescita per le piante forestali, determinando morie, deperimenti o degrado delle formazioni forestali su ampie superfici, analogamente a quanto possiamo osservare già oggi per eventi "estremi" e imprevedibili, come ad esempio la tempesta Vaia che ha colpito i boschi dell'Italia nord-orientale (Motta et al., 2018).

Il divario tra la velocità del cambiamento climatico e la capacità di adattamento delle specie forestali ha delle importanti conseguenze per la tecnica di rimboschimento e la pratica vivaistica: le piante messe a dimora oggi dovranno confrontarsi con i cambiamenti del clima nel prossimo secolo, i rimboschimenti dovranno favorire lo spostamento di specie e popolazioni per garantire l'adattamento, il sistema vivaistico dovrà garantire la diversità nei materiali di propagazione, alla base dell'adattamento (Williams e Dumroese, 2014).

I costi crescenti hanno notevolmente ridotto l'estensione dei rimboschimenti effettuati recentemente, rispetto ad alcune fasi del passato in cui l'opera di rimboschimento aveva accompagnato lo sviluppo di alcune aree del nostro Paese. Proprio per questo motivo sembra opportuno rivolgere particolare attenzione alla scelta del materiale utilizzato, al fine di non vanificare gli sforzi e gli impegni finanziari dedicati agli interventi. Questo contributo evidenzia gli

aspetti legati alla qualità estrinseche e intrinseche del materiale vivaistico lungo la filiera produttiva, dalla raccolta del seme, fino all'impiego dei semenzali nei rimboschimenti.

CENNI ALL'EVOLUZIONE DELLA VIVAISTICA FORESTALE

Nel corso dell'ultimo secolo la vivaistica forestale ha visto un'evoluzione importante determinata dal valore attribuito alla qualità del semenzale (Grossnickle e MacDonald, 2018). Fin dagli inizi del secolo scorso è emerso il problema di quali caratteristiche dovesse avere il materiale vivaistico per garantire un maggiore successo nella piantagione, ovvero del rapporto tra attributi del materiale e prestazioni dello stesso in campo. Diversi studi furono orientati a individuare i possibili caratteri delle piante coinvolti nel processo, da quelli morfologici, legati allo sviluppo della parte aerea e dell'apparato radicale, a quelli fisiologici (Rudolf, 1939).

Negli anni '70, grazie anche all'avvio della vivaistica in contenitore, si ipotizzò che pratiche colturali intensive e controllate in vivaio favorissero l'acclimatazione dei semenzali, garantendo quindi migliori prestazioni in campo (Lavender e Cleary, 1974). Parallelamente si affermò il principio della necessità di fonti di approvvigionamento dei materiali di moltiplicazione adattate alle condizioni locali, recepito nella normativa dei diversi Paesi. È di questi anni l'idea che la piantina adatta per il rimboschimento non fosse da intendere come prodotto finale ma l'obiettivo, ovvero che la qualità fosse da intendere come "idoneità" per un determinato impiego (*quality is fitness for purpose*, Sutton, 1988), una definizione che è valida tutt'oggi.

Successivamente questo concetto fu ripreso come *target seedling* (Rose et al., 1990): la qualità dei semenzali è determinata dai caratteri, sia morfologici che fisiologici, ma anche di conservazione della diversità genetica, che possono essere messi quantitativamente in relazione con il successo della piantagione. In questa evoluzione si riconosce da un lato sempre più una partnership tra vivaista e utilizzatore del materiale forestale, con un dialogo aperto come base per il successo nei risultati della riforestazione. Dall'altro, si evidenzia l'importanza crescente assegnata alla biodiversità, con vivai che producono specie autoctone legnose e non-legnose (erbacee, anche dei pascoli) per diversi progetti di *forest restoration*, partendo da materiale diverso (semi, talee), ma soprattutto in grado di predisporre la produzione di diversi genotipi (provenienze), in una visione più completa e integrata del vivaio forestale che riflette il concetto di *target plant* (Dumroese et al., 2016), ovvero di produzione vivaistica rivolta ad esaltare nelle piantine le caratteristiche più idonee al sito ed alle

condizioni operative di impiego (es., stoccaggio, concorrenza da vegetazione erbacea spontanea, ecc.).

QUALITÀ DEL SEME

L'attenzione posta al mantenimento dell'ampiezza dell'informazione genetica contenuta nel materiale forestale di propagazione è di estrema importanza nel ciclo produttivo della vivaistica, a partire dalle modalità di raccolta, fino alle tecniche di conservazione dei semi e dei frutti (Ducci, 2003; Gömöry et al., 2021). Come avviene in natura, anche durante le diverse fasi del processo produttivo vivaistico il materiale di moltiplicazione subisce l'influenza di diversi fattori ambientali che, interagendo con il genotipo, ne determinano la sopravvivenza. D'altra parte, le condizioni controllate e relativamente uniformi del vivaio favoriscono una pressione selettiva su porzioni più o meno rilevanti del lotto di seme, riducendone, ad esempio, la germinazione solo a una parte di esso. Per questo, tecniche di raccolta inadeguata del seme (ad es., su numeri di individui troppo bassi), si sommano alle caratteristiche peculiari della produzione vivaistica, favorendo la riduzione della diversità genetica.

Per la qualità del seme i riferimenti commerciali previsti dall'art. 8 del D. Lgs. 386/2003 (purezza, germinabilità, peso) aiutano solo in parte ad affrontare la necessità di mantenere la qualità genetica del materiale di propagazione lungo la filiera, mentre sarebbero necessarie linee guida aggiornate al fine di ottimizzare il processo di raccolta, conservazione e trattamento, ma anche quello di produzione. Alcune pratiche tradizionali del vivaio, infatti, possono avere un effetto negativo sul mantenimento della diversità genetica: ad esempio, da un'operazione di vagliatura dimensionale del seme è possibile avere un impatto quantitativo significativo sulla crescita e sulla sopravvivenza del seme (Novikov e Ivetić, 2018), ma viene inevitabilmente ridotta la diversità.

QUALITÀ DEL SEMENZALE

La qualità delle piantine trova un riferimento nelle Linee guida per la programmazione della produzione e l'impiego di specie autoctone di interesse forestale (approvate con D.M. 17/05/2022), che elencano una serie di attributi morfologici del materiale vivaistico. Vengono considerati requisiti minimi per tutte le specie una parte epigea equilibrata (es. foglie verdi nella stagione vegetativa, presenza di gemme durante il riposo vegetativo, assenza di necrosi sul fusto), apparato radicale correttamente sviluppato, integro e ricco di ca-

pillizio, adeguata proporzione tra parte ipogea ed epigea, assenza di danni meccanici, buona tenuta del pane di terra (ove presente). Per le specie arboree, invece, tra i requisiti da considerare vi sono l'assenza di malformazioni indotte da errori di coltivazione, fusto e ultima cacciata ben lignificati, gemme apicali sane, piante ben equilibrate con buon rapporto altezza/diametro al colletto e altezza minima 30 cm, e, per le latifoglie, l'età indicativamente non superiore a 3 anni per ridurre le difficoltà di attecchimento.

D'altra parte, da un punto di vista sperimentale e operativo, interessano più gli attributi che hanno una relazione con lo sviluppo della pianta nel sito di impiego (tab. 1), di tipo morfologico e fisiologico, sui quali la produzione vivaistica da vari decenni pone l'attenzione (Burdett, 1983).

	CARATTERISTICA	EFFETTO
M	Ampio sviluppo radicale	Minimizza mortalità per stress idrico e deficit nutritivo
M	Basso rapporto apparato fogliare/radicale	Minimizza mortalità per stress idrico poco dopo il trapianto
M	Sistema radicale lungo	
M	Apparato radicale fibroso	
F	Resistenza a gelate	Minimizza mortalità per gelate dopo trapianto
F	Fogliame adattato al sole	Facilita crescita in spazi aperti
F	Fogliame adattato all'ombra	Facilita crescita e sopravvivenza in spazi ombrosi
F	Gemme dormienti	Evita prematura vegetazione in primavera
F	Radici tolleranti all'esposizione	Riduzione problemi di stoccaggio all'impianto
F	Tolleranza deposito alle alte temperature	
M	Grandi dimensioni	Riduzione mortalità da pascolamento, insetti ecc.
M	Gemme grosse	Crescita da più getti
F	Alte riserve carboidrati	Crescita getti vigorosi
F	Alto contenuto nutrienti minerali	Migliore sviluppo in siti poveri di nutrienti
M	Basso rapporto altezza/diametro	Crescita iniziale più rapida
M	Apparato radicale allevato in contenitore	Apparato radicale più compatto, sviluppo maggiore radici in superficie, aumento resistenza meccanica

Tab. 1 *Caratteristiche morfologiche (M) e fisiologiche (F) del materiale vivaistico che influenzano il primo sviluppo della piantina messa a dimora (Burdett, 1983)*

La relazione tra le azioni necessarie per sviluppare uno standard qualitativo appropriato comporta un processo ciclico continuo di controllo a feedback che ridefinisce continuamente gli standard di qualità del materiale in maniera

da incrementare le prestazioni del materiale prodotto e include la valutazione delle prestazioni in campo del prodotto (Landis et al., 2010).

QUALITÀ GENETICA DEL MATERIALE VIVAISTICO: LA NORMATIVA

Numerose esperienze classiche del passato hanno dimostrato l'importanza di utilizzare materiale di valore genetico e di provenienza noti per i rimboschimenti. Alla base vi è l'individuazione di popolamenti di buone caratteristiche che per le specie con areale ampio deve considerare le diverse provenienze con probabili adattamenti ecologici differenziati. In termini normativi, i riferimenti sono assicurati dal D. Lgs. 386/2003, con i relativi decreti attuativi, che definiscono il quadro di unione nazionale delle regioni di provenienza e istituiscono il Registro nazionale dei materiali di base come raccolta dei registri istituiti dalle regioni e province autonome nella loro qualità di organismi ufficiali. Ad oggi sono individuati 2230 materiali di base, sui quali si poggia la produzione vivaistica forestale nazionale.

Un esame più dettagliato del Registro evidenzia la preminenza assoluta di materiale della categoria "Identificati alla fonte" (1960 materiali di base), ovvero quello privo di una qualsiasi valutazione di qualità, rispetto alle categorie dove è prevista una valutazione fenotipica del popolamento ("Selezionati", 170 materiali di base, in gran parte derivati dalla normativa sui boschi da seme precedente), dell'individuo ("Qualificati", 14 materiali di base, riferibili in prevalenza a specie dell'arboricoltura da legno come noce e ciliegio) e sulla base di caratteri ereditari specifici ("Controllati", 86 materiali di base prevalentemente riferibili al pioppo).

Ovviamente, questa situazione è tutt'altro che soddisfacente, considerando anche il fatto che in alcuni Paesi europei il materiale della categoria "Identificati alla fonte" non è più ammissibile per l'impiego a fini forestali (ad es., in Germania è stato soppresso nel 2012), mentre in altri è ammesso solo per casi assolutamente minoritari ed eccezionali (ad es., in Francia). D'altra parte, è presumibile che molti dei materiali del registro nazionale oggi afferenti alla categoria di livello minimo, previa valutazione dei requisiti minimi, possa essere ammessa alla categoria superiore ("Selezionati"). La verifica dei requisiti minimi con relativa valutazione è prevista in termini di legge, periodicamente, in carico agli organismi ufficiali: nel caso italiano, avrebbe un'urgente e fondamentale funzione di valutare i requisiti del materiale iscritto, sia per la categoria minima, che per i materiali "Selezionati" individuati in molti casi per legge come tali sulla base della precedente iscrizione al libro nazionale dei

boschi da seme senza essere oggetto di una recente aggiornata valutazione. In tutti i casi, una delle priorità è la gestione e cura di questi materiali di base.

Un secondo aspetto da sottolineare rispetto al registro nazionale riguarda il ridotto numero di materiali iscritti come “Qualificati” (solo 14). Si tratta in prevalenza di arboreti da seme ottenuti dalla selezione di fenotipi e di loro discendenze, particolarmente rilevanti per la disponibilità di materiale di specie a distribuzione frammentaria e sporadica sul territorio o di particolare interesse produttivo (ad es., arboricoltura da legno). D'altra parte, il patrimonio esistente di prove comparative delle provenienze di una specie in ambienti differenti permette di valutare il livello di interazione genotipo-ambiente, accertando l'esistenza di ecotipi particolari (Magini, 1979) e di valutare le caratteristiche migliori degli individui, a partire dai quali è possibile ipotizzare la produzione di materiale “Controllato”. Risulta quindi importante valorizzare i diversi esempi esistenti in Italia di impianti comparativi di provenienze, in alcuni casi realizzati anche da numerosi anni e in contesti di collaborazione internazionale a cura di vari istituti scientifici, che riguardano specie diverse tra cui larice, douglasia, pini mediterranei, cipresso, ontano napoletano, olmo, pioppo, ciliegio e noce (Maltoni e Tani, 2000; Calvo, 2003).

I diversi soggetti che operano lungo la filiera vivaistica forestale necessitano di un coordinamento per garantire le azioni di tutela della biodiversità forestale autoctona. La scala regionale, infatti, non riesce a garantire da sola un adeguato sistema di approvvigionamento dei materiali forestali di propagazione, la formazione omogenea di personale specializzato, così come gli studi necessari a migliorare la qualità del materiale di propagazione (Mezzalana, 2003). La normativa più recente ha previsto per questo la nascita di nuovi Centri dedicati allo studio e alla conservazione della biodiversità forestale, accanto a quelli già esistenti dei Carabinieri Forestali, la cui attività dovrebbe essere improntata a un principio di sussidiarietà.

I Centri, a supporto dell'attività degli organismi ufficiali, dovrebbero garantire l'individuazione e la gestione dei materiali di base, la raccolta e conservazione dei materiali forestali di propagazione, ma anche la ricerca applicata sulle attività vivaistiche forestali, con particolare riguardo ai temi inerenti alla difesa della biodiversità nelle attività vivaistiche e nell'impiego dei materiali di propagazione. Nella centralità che assume la conservazione della biodiversità rispetto agli aspetti produttivi nel comparto vivaistico attuale, è necessario che la fase “in vivaio” del ciclo vitale di una pianta forestale non diventi un fattore limitante per la ricchezza genetica della flora forestale nazionale e che sia garantita, quindi, la necessaria qualità in tutte le operazioni di utilizzo dei materiali forestali di base.

CARATTERISTICHE GENETICHE DEI MATERIALI DI MOLTIPLICAZIONE PER FRONTEGGIARE IL CAMBIAMENTO CLIMATICO

Le foreste che oggi ci circondano sono la risultante di ciò che è successo nell'ultimo milione di anni, un periodo caratterizzato dal susseguirsi di fasi fredde e intervalli più miti, i cosiddetti cicli glaciali. Durante le glaciazioni, le specie forestali si sono spesso rifugiate a sud, verso condizioni ambientali favorevoli alla loro sopravvivenza. Le aree geografiche in cui sono sopravvissute vengono chiamate, proprio per questo motivo, "rifugi glaciali". terminate le fasi fredde, quando le condizioni ambientali nelle zone di ritirata dei ghiacciai e del permafrost miglioravano, le specie forestali tornavano a espandersi verso nord e a rarefarsi, o addirittura estinguersi localmente, nelle aree rifugio (Petit et al., 2008). È quello che si prevede accadrà, e in parte già sta accadendo, con il cambiamento climatico in corso. L'Italia ha ospitato, per molte specie, rifugi glaciali multipli: da alcuni di essi sono partite lunghissime rotte di ricolonizzazione post-glaciale che hanno raggiunto il nord Europa, altri invece hanno mantenuto dinamiche più locali senza generare ulteriori espansioni. La diversità genetica delle foreste italiane è stata determinata da questi processi e, più recentemente, dall'azione antropica, che ha spesso concorso a magnificare i fenomeni di frammentazione tipici del limite inferiore degli areali di distribuzione delle specie europee.

La pluralità e l'interazione di questi processi hanno generato un quadro complesso, ma potenzialmente di grande rilevanza a scala europea, per quanto riguarda la distribuzione della diversità genetica forestale nella nostra penisola. Un quadro complesso in quanto il nostro patrimonio forestale ha un'elevata strutturazione regionale, con la presenza di numerosi gruppi genetici differenziati, anche di modesta estensione spaziale, che possono però aver evoluto adattamenti peculiari a condizioni ambientali molto eterogenee anche su distanze geografiche relativamente brevi. Questa relazione tra la complessità delle pressioni selettive e la conseguente diversificazione delle risposte evolutive nei serbatoi di biodiversità rappresentati dalle aree rifugio sta alla base del grande interesse dei silvicoltori di tutta Europa per la diversità genetica del patrimonio forestale mediterraneo. Infatti, le caratteristiche genetiche peculiari mantenute e sviluppate al margine inferiore degli areali di distribuzione potrebbero rivelarsi cruciali per l'adattamento al cambiamento climatico della specie a latitudini superiori. Ciò dipende dal fatto che, in generale, ci si attende uno spostamento verso nord delle condizioni climatiche, con un progressivo aumento di annate siccitose e temperature estreme nelle regioni più settentrionali. Come raccontato recentemente in un interessante e ben documentato reportage sul deperimento delle foreste tedesche pubblicato sulla

rivista «Science», i gestori del patrimonio boschivo dell'Europa centro-settentrionale stanno valutando sempre con maggior interesse l'utilizzo di genotipi provenienti da latitudini mediterranee, proprio perché potrebbero aver già evoluto la resistenza alle condizioni previste per la Germania e altre nazioni più settentrionali in futuro (Popkin, 2021). Ovviamente, tali aspettative sono valide anche lungo il marcato gradiente di condizioni climatiche che caratterizzano il nostro Paese. Molte specie potrebbero proprio avere nelle loro popolazioni più marginali una combinazione di elevata diversità genetica e importanti pre-adattamenti a condizioni stressanti sempre più frequenti nel resto del loro areale di distribuzione.

I processi appena descritti, e la conseguente complessità generalmente riscontrata nella distribuzione spaziale della diversità genetica forestale in Italia, stanno alla base delle conoscenze necessarie per comprendere la localizzazione ottimale dei materiali di base e come e dove utilizzare i materiali di moltiplicazione per la vivaistica forestale e, soprattutto, per valutarne la tracciabilità. Essere in grado di tracciare la provenienza del materiale vivaistico forestale, analizzarne quantitativamente la rilevanza e prevederne le prestazioni qualora utilizzato in una determinata area geografica, richiedono un'approfondita conoscenza della storia evolutiva e dei livelli di adattamento locale di una specie all'interno della sua nicchia ecologica italiana. Questo significa, sinteticamente, avere a disposizione una grande mole di dati genomici ed ecofisiologici per un numero considerevole di popolazioni, selezionate in modo da investigare adeguatamente tutto il range di condizioni ecologiche in cui la specie vegeta in ciascuno dei gruppi genetici presenti in Italia. Purtroppo, a tal riguardo, un quadro chiaro e coerente, cioè confermato da ricerche indipendenti, è disponibile solo per un numero limitato di specie, e non è mai stato generato da una linea di ricerca multidisciplinare indirizzata appositamente alla valutazione delle risposte adattative di diverse provenienze forestali al cambiamento climatico. Esempi virtuosi di ricerche indirizzate in tal senso, con marcate finalità applicative, sono ad esempio i progetti AdapTree (<https://adaptree.forestry.ubc.ca>) e CoAdapTree (<https://coadaptree.forestry.ubc.ca>), focalizzati sull'ottimizzazione dei materiali di moltiplicazione da utilizzare per favorire la migrazione del patrimonio forestale nordamericano indotta dal cambiamento climatico, oltre alle iniziative europee GenTree (<https://www.gentree-h2020.eu>; Martinez-Sancho et al., 2020; Benavides et al., 2021; Opgenoorth et al., 2021), Forgenius (<https://www.forgenius.eu>), OptForests (<https://www.optforests.eu/>) e MyGardenofTrees (<https://www.mygardenoftrees.eu>), complessivamente indirizzate a comprendere i geni coinvolti negli adattamenti locali nelle principali specie forestali europee, per poi valutarne l'effetto in esperimenti di traslocazione del materiale e, infine, comprendere come conservarli

in situ nella rete europea delle *Genetic Conservation Units* (GCU) coordinata da EUFORGEN (<http://portal.eufgis.org/maps>).

Il rilancio della ricerca sui materiali di base e la tracciabilità dei materiali di moltiplicazione, finalizzata a ottimizzare la produzione vivaistica italiana nell'ottica delle future, ingenti esigenze per attività di riforestazione, passa necessariamente dalla comprensione delle basi genetiche dell'adattamento alle condizioni ecologiche che caratterizzano il loro ambiente (Mariotti et al., 2022). E, soprattutto, dalla nostra capacità di prevedere se e come queste caratteristiche genetiche saranno in grado di mantenere il passo della "migrazione" delle condizioni ambientali nei decenni a venire. Come specificato nel documento "Genetic aspects linked to production and use of forest reproductive material" (Gömöry et al., 2021), edito da EUFORGEN, le caratteristiche genetiche della produzione forestale vivaistica sono la diretta conseguenza della catena di decisioni eseguite da numerosi attori lungo la filiera produttiva, e ignorare l'informazione genetica lungo questa sequenza di scelte strategiche potrà avere un impatto enorme sulla sopravvivenza delle nostre foreste.

La ricerca sull'ottimizzazione dei materiali di base deve essere necessariamente indirizzata alla caratterizzazione genetica delle risorse forestali italiane con i più avanzati strumenti molecolari (Mariotti et al., 2022). Una mappa geografica densa e dettagliata delle caratteristiche genetiche di una specie forestale, che cerchi di intercettarne nel miglior modo possibile l'eterogeneità della nicchia ecologica, è la base sia per studiare quanto tale specie è adattata localmente e proiettare le interazioni tra genotipo e ambiente negli scenari climatici futuri, sia per avere elevate probabilità di tracciare correttamente l'origine geografica del materiale di base. Oltre a essere cruciali per studiare adattamenti e possibilità di tracciabilità, queste informazioni ci aiuteranno a capire quali provenienze di una specie si possono piantare in un'area geografica precisa con ragionevoli possibilità di contribuire a generare una foresta in salute. Senza le garanzie di successo legate a tali conoscenze, piantare milioni di alberi potrà rivelarsi rischioso da un punto di vista sia ambientale che economico (Di Sacco et al., 2021; Fady et al., 2021; Gömöry et al., 2021; Hermoso et al., 2021).

Per cercare simultaneamente di avere strumenti potenti per la tracciabilità del materiale di moltiplicazione e capire quali siano le provenienze con maggiore diversità genetica e con le caratteristiche migliori per essere utilizzare in una determinata area, si devono produrre dati genetici adeguati. Gli avanzamenti tecnologici nelle tecniche di sequenziamento e genotipizzazione premettono oggi di studiare dettagliatamente il genoma delle specie forestali con costi relativamente contenuti. Oltre alla quantità di dati, la grande convenienza dei dati genomici risiede nel fatto che siano sovrapponibili tra studi

differenti, al contrario di altri marcatori che dipendevano fortemente dalle condizioni di ciascun laboratorio. Infatti, se fino a pochi anni fa il tracciamento della provenienza del materiale veniva eseguito, con precisione spesso approssimativa, mediante pochi marcatori molecolari che rendevano impossibile unire le informazioni di studi diversi, attualmente, con costi paragonabili, è possibile produrre anche centinaia di migliaia di dati genetici per ogni singola pianta unendoli poi a informazioni simili prodotte in altre aree geografiche. Nell'ambito di queste caratterizzazioni genomiche, approcci sperimentali come quelli di *landscape genomics* che, campionando pochi individui in molte popolazioni che coprono capillarmente la nicchia ecologica della specie, sono finalizzati a studiare la relazione tra diversità genetica in migliaia di marcatori molecolari e le caratteristiche del paesaggio, dal clima alle caratteristiche topografiche (Holderregger et al., 2010; Vajana et al., 2023), sono promettenti perché potenzialmente informativi sia sul fronte dei livelli di adattamento locale, da cui dipende ogni considerazione su quali provenienze piantare in un determinato luogo, che per quanto riguarda la tracciabilità dei materiali di moltiplicazione.

CONCLUSIONI

Per un rilancio della ricerca finalizzata a garantire la massima qualità dei materiali di moltiplicazione, il settore forestale italiano, dalla ricerca alla vivaistica, deve sapere cogliere le opportunità sopra descritte e avvalersi degli strumenti più evoluti per poter rapidamente fornire delle linee guida per le già numerose e sempre crescenti iniziative incentrate sulla messa a dimora di alberi. Tali iniziative sono di grande rilevanza per le sfide poste dalla crisi climatica, ed è della massima urgenza porre l'informazione genetica al centro delle valutazioni sul potenziale adattativo dei materiali di base e sulla corretta propagazione della diversità genetica lungo tutta la filiera vivaistica. Solo così si potrà massimizzare la probabilità di investire risorse verso la pianificazione e conservazione di foreste più resilienti.

D'altra parte, la qualità di una pianta per i progetti di riforestazione dovrebbe essere frutto di una collaborazione tra forestali e vivaisti per produrre il materiale specifico per un determinato progetto forestale, ovvero la "pianta obiettivo" (*target plant*). Non si tratta di una definizione fissa, ma dinamica, aggiornata in continuazione dall'informazione che deriva dai risultati osservati nella piantagione, necessari ad aggiustare la nuova produzione vivaistica, laddove le nuove piantagioni possono essere interpretate come campi sperimentali per migliorare il processo. Questo approccio sperimentale innovativo

alla produzione vivaistica è supportato dalla recente normativa che prevede i nuovi Centri nazionali per lo studio e la conservazione della biodiversità forestale, affiancati a quelli già esistenti dei Carabinieri Forestali, come vera novità necessaria per il raccordo del settore vivaistico forestale, tra le attività di competenza regionale e le esigenze di tutela della biodiversità.

RIASSUNTO

Il rilancio delle filiere collegate alla vivaistica forestale passa necessariamente attraverso la possibilità per il settore di controllare le qualità estrinseche e intrinseche del materiale vivaistico. Tra le qualità intrinseche dei materiali di moltiplicazione assumono, in un contesto di rapido cambiamento climatico, un significato di particolare rilevanza la diversità genetica e, in ultima analisi, il potenziale adattativo delle nuove piante che verranno messe a dimora. Queste caratteristiche possono oggi venire accuratamente studiate grazie alla disponibilità crescente di informazioni genomiche sempre più esaustive, permettendo una pianificazione ottimale di tutte le operazioni che vanno dalla raccolta del seme alla progettazione degli interventi di riforestazione. Le qualità estrinseche dei materiali di riproduzione forestale trovano un riferimento nella normativa (D. Lgs. 386/2003 e decreti collegati) per i requisiti del materiale “commerciale”, mentre da un punto di vista sperimentale e operativo sono importanti le caratteristiche morfologiche e fisiologiche della pianta che hanno una relazione con il suo sviluppo nel sito di impiego. Il riferimento per la qualità genetica del materiale vivaistico sono i 2230 materiali di base individuati nel registro nazionale, di cui la gestione e cura rappresenta oggi una priorità. La qualità di una pianta per i progetti forestali riflette idealmente una collaborazione tra selvicoltori e vivaisti per produrre il materiale richiesto secondo un approccio dinamico, nel quale i risultati della piantagione sono funzionali al miglioramento della produzione vivaistica. Questo approccio sperimentale innovativo alla produzione vivaistica è contemplato dalla recente normativa che prevede i nuovi Centri nazionali per lo studio e la conservazione della biodiversità forestale come supporto al processo di certificazione della qualità dei semi forestali, alle Regioni per l'individuazione dei materiali di base, nonché a specifiche attività di ricerca riguardanti il materiale vivaistico.

ABSTRACT

Control of the extrinsic and intrinsic qualities of nursery material. Improvement of the supply chains connected to the forest nursery sector depends on the possibility to control extrinsic and intrinsic qualities of the reproductive material. In a context of rapid climate change, genetic diversity and, ultimately, the adaptive potential of the new plants take on a key significance among the intrinsic qualities of the reproductive material. These characteristics can now be accurately studied, thanks to the growing availability of increasingly comprehensive genomic information, allowing optimal planning of all operations ranging from seed collection to the design of reforestation projects. Extrinsic qualities of forest

reproduction materials are determined by law (Legislative Decree 386/2003 and related decrees) as far as “commercial” requirements are concerned, whereas from an experimental and operational point of view the focus is more on morphological and physiological characteristics of the plant with a relationship with its development on the planting site. The reference for the genetic quality is the list of 2230 basic materials identified in the national register, the management and care of which are considered as a priority. The quality of a plant for forestry projects ideally reflects the results of collaboration between foresters and nurseries to produce specific material for each reforestation site according to a dynamic approach, in which the results of the plantation are functional to the improvement of nursery production. This innovative experimental approach is required by a recent legislation indicating new national centers for the study and conservation of forest biodiversity to support the process of certification of forest seed quality, the regions for the identification of basic materials, as well as specific research activities concerning forest nursery material.

BIBLIOGRAFIA

- BENAVIDES R., CARVALHO B., BASTIAS C.C., LOPEZ-QUIROGA D., MAS A., CAVERS S. ET AL. (2021): *The GenTree Leaf Collection: inter- and intraspecific leaf variation in seven forest tree species in Europe*, «Global Ecology and Biogeography», 30, pp. 590-597.
- BURDETT A.N. (1983): *Quality control in the production of forest planting stock*, «The Forestry Chronicle», 59 (3), pp. 132-138.
- CALVO E. (2003): *Attività di controllo: realizzazione di una rete di impianti comparativi di provenienza*, in MEZZALIRA G., PIOTTO B. (eds.), *Biodiversità e vivaistica forestale*, APAT, Manuali e linee guida 18/2003, pp. 66-69.
- DI SACCO A., HARDWICK K.A., BLAKESLEY D., BRANCALION P.H.S., BREMAN E., CECILIO REBOLA L., ... ANTONELLI A. (2021): *Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits*, «Global Change Biology», 27 (7), pp. 1328-1348. doi: 10.1111/gcb.15498.
- DUCCI F. (2003): *Criteri ed indirizzi per la raccolta del materiale forestale di propagazione*, in MEZZALIRA G., PIOTTO B. (eds.), *Biodiversità e vivaistica forestale*, APAT, Manuali e linee guida 18/2003, pp. 38-47.
- DUMROESE K.R., LANDIS T.D., PINTO J.R., HAASE D.L., WILKINSON K.W., DAVIS A.S. (2016): *Meeting forest restoration challenges: using the target plant concept*, «Reforesta», 1 (1), pp. 37-52.
- FADY B., DAVI H., MARTIN-STPAUL N., RUFFAULT J. (2021): *Caution needed with the EU forest plantation strategy for offsetting carbon emissions*, «New Forests», 52 (5), pp. 733-735. doi: 10.1007/s11056-020-09830-1.
- GÖMÖRY D., HIMANEN K., TOLLEFSRUD M.M., UGGLA C., KRAIGHER H., BORDÁCS S., ... BOZZANO M. (2021): *Genetic aspects in production and use of forest reproductive material: Collecting scientific evidence to support the development of guidelines and decision support tools*, European Forest Genetic Resources Programme (EUFORGEN), European Forest Institute, 216 p.
- GROSSNICKLE S.C., MACDONALD J.E. (2018): *Seedling quality: history, application, and plant attributes*, «Forests», 9 (5), 283.

- HERMOSO V., REGOS A., MORÁN-ORDÓÑEZ A., DUANE A., BROTONS L. (2021): *Tree planting: A double-edged sword to fight climate change in an era of megafires*, «Global Change Biology», 27(13), pp. 3001-3003. doi: 10.1111/gcb.15625.
- HOLDEREGGER R., BUEHLER D., GUGERLI F., MANEL S. (2010): *Landscape genetics of plants*, «Trends in Plant Science», 15, pp. 675-683.
- LANDIS T.D., DUMROESE R.K., HAASE D. (2010): *The Container Tree Nursery Manual: Volume 7, Seedling processing, storage, and outplanting*, Agric. Handbook No. 674, Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 199 p.
- LAVENDER D.P., CLEARY B.D. (1974): *Coniferous seedling production techniques to improve seedling establishment*, in TINUS R.W., STEIN W.I., BALMER W.E. (eds), Proceedings of the North American Containerized Forest Tree Seedling Symposium, Denver, CO, USA, 26-29 August 1974, Great Plains Agricultural Council Publication No. 68: Lincoln, NE, USA, pp. 177-180.
- MAGINI E. (1979): *Metodi di miglioramento delle piante forestali*, «Clusf», pp. 1-55.
- MALTONI A., TANI A. (2000): *Considerazioni sugli studi di provenienze e indicazioni per l'impostazione e la conduzione di prove comparative in campo*, «Sherwood», 61, pp. 5-9.
- MARIOTTI B., MEZZALIRA G., ALLASIA E., FAZIO F., FIORENTIN R., MALTONI A., MARCHETTI M., MATTEUCCI G., MORI P., MOTTA R., PIOTTI A., ROSITI A., SABATTI M., TOGNETTI R., SALBITANO F. (2022): *La vivaistica forestale in Italia al bivio: sfide e strategie*, «Forest@», 19, pp. 85-94, doi: 10.3832/efor4193-019.
- MARTÍNEZ-SANCHO E., SLAMOVA L., MORGANTI S., GREFFEN C., CARVALHO B., DAUPHIN B. ET AL. (2020): *The GenTree Dendroecological Collection: tree-ring and wood density data from seven tree species across Europe*, «Scientific Data», 7, 1, doi: <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0340-y>
- MEZZALIRA G. (2003): *Iniziative integrative e complementari*, in MEZZALIRA G., PIOTTO B. (eds.), *Biodiversità e vivaistica forestale*, APAT, Manuali e linee guida 18/2003, pp. 74-78.
- MOTTA R., ASCOLI D., CORONA P., MARCHETTI M., VACCHIANO G. (2018): *Selvicoltura e schianti da vento: il caso della "tempesta Vaia"*, «Forest@», 15 (1), pp. 94-98.
- NOVIKOV A.I., IVETIĆ V. (2018): *The effect of seed size grading on seed use efficiency and height of one-year-old container-grown Scots pine (Pinus sylvestris L.) seedlings*, «Reforesta», 6, pp. 100-109.
- OPGENOORTH L., DAUPHIN B., BENAVIDES R., HEER K., ALIZOTI P., MARTÍNEZ-SANCHO E. ET AL. (2021): *The GenTree Platform: growth traits and tree-level environmental data in twelve European forest tree species*, «GigaScience», 10, giab010
- PETIT R.J., HU F.S., DICK C.W. (2008): *Forests of the past: a window to future changes*, «Science», 320, pp. 1450-1452. doi: 10.1126/science.1155457.
- POPKIN G. (2021): *Forests fight*, «Science», 364, pp. 1184-1189. doi: 10.1126/science.acx9733.
- ROSE R., CARLSON W.C., MORGAN P. (1990): *The target seedling concept*, in ROSE R., CAMPBELL S.J., LANDIS T.D. (eds), Target Seedling Symposium, Proceedings of the Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations, Roseburg, OR, USA, 13-17 August 1990; RM-GTR-200; U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Fort Collins, CO, USA, pp. 1-8.
- RUDOLF P.O. (1939): *Why forest plantations fail*, «J. For.», 37, pp. 377-383.
- SUTTON R.F. (1988): *Planting stock quality is fitness for purpose*, in SMITH C.R., REFFLE R.J. (eds.), *Taking Stock: The Role of Nursery Practice in Forest Renewal*, Proceedings of a Symposium under the Auspices of the Ontario Forestry Research Committee, Kirkland Lake, ON, Canada, 14-17 September 1987; OFRC Proceedings O-P-16;

Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre: Sault Ste. Marie, ON, Canada, pp. 39-43.

VAJANA E., BOZZANO M., MARCHI M., PIOTTI A. (2023): *On the Inclusion of Adaptive Potential in Species Distribution Models: Towards a Genomic-Informed Approach to Forest Management and Conservation*, «Environments», 10 (1), 3, <https://doi.org/10.3390/environments10010003>.

WILLIAMS M.I., DUMROESE R.K. (2014): *Role of climate change in reforestation and nursery practices*, «Western Forester», 59 (1), pp. 11-13.