

Aspetti ecologici, vegetazionali e tutela delle risorse genetiche del pino cembro in Italia



Introduzione

Gli ecosistemi forestali sono soggetti a numerosi fattori di stress, la maggior parte dei quali è dovuta ad attività antropiche (disboscamento, alterazione e frammentazione degli habitat, introduzione di specie alloctone, utilizzazioni non sostenibili, pascolamento intensivo, incendi, ecc.). A questi va aggiunto il cambiamento climatico, ormai non più in discussione, il quale, nel prossimo futuro, accentuerà i problemi di sopravvivenza degli alberi forestali e ne modificherà più o meno profondamente la struttura delle popolazioni e i livelli di biodiversità (HAMRICK, 2004). È ormai universalmente accettato che la migliore strategia di cui le foreste dispongono per superare tali problematiche risiede nella loro capacità di adattamento e, quindi, in ultima analisi nella diversità genetica in esse contenuta (KRAMER, HAVENS, 2009). Tale biodiversità va intesa sia a livello ecosistemico (ricchezza di specie) che nell'ambito di individui appartenenti alla medesima specie (LOO *et al.*, 2015).

Il pino cembro (*Pinus cembra* L.), albero della famiglia delle Pinaceae, appartiene al sottogenere *Strobis*, sottogruppo caratterizzato da pini con aghi riuniti in fascetti di 5 e che in Europa, oltre alla specie in oggetto, comprende il *Pinus peuce* Griseb., specie relictta dei Balcani. Il pino cembro fa parte della Sottosezione *Cembrae*, assieme al vicariante siberiano *P. sibirica* Ledeb., che all'estremo oriente si differenzia in *Pinus pumilia* Regel (DEBAZAC, 1977).

Cenni sulle caratteristiche biologiche e sulle esigenze pedo-climatiche

Il pino cembro è un albero di terza grandezza, ossia può raggiungere altezze di 20-25 m, (CONTINI, LAVARELO, 1982; BERNETTI, 1994; IPLA, 2002), molto longevo (sono stati trovati individui di circa 700 anni), ma di accrescimento piuttosto lento. Il tronco è robusto e i rami, irregolari, risultano curvati verso l'alto a formare una chioma densa e grossolanamente ovale. La corteccia è liscia e bruna quando l'albero è giovane, tende poi a screpolarsi e ad assumere una colorazione grigiastra. Le foglie, riunite in fascetti di cinque, sono lunghe fino a 10 cm e sono tenere e sottili, di colore verde glauco. I fiori maschili sono sessili e riuniti alla base dei nuovi getti in piccoli amenti di colore rosso, mentre quelli femminili sono violacei e presentano un piccolo peduncolo. La fioritura avviene in fine primavera-inizio estate. Gli strobili sono solitari o riuniti in gruppetti di 2-3, ovoidali, di dimensioni anche considerevoli (fino a 6 x 10 cm); le squame sono dapprima violacee e poi brune, leggermente mucronate. I semi sono molto grossi (fino a 1 x 2 cm) e privi di ala; maturano in piena estate, dopo due anni dalla fioritura e non fuoriescono spontaneamente dallo strobilo. Sono commestibili e molto ricercati da animali selvatici, quali scoiattoli e, soprattutto, nocciaiaie. Si deve anzi a questo uccello, e in particolare alla sua abitudine di raccogliere i semi e poi interrarli in rifugi di cui a volte si dimentica, gran parte della rinnovazione della specie. Il legno, con alborno

biancastro e durame rosso-bruno, omogeneo e tenero, emana un gradevole odore ed è molto resistente all'attacco dei tarli. E' pertanto molto adatto per lavori di artigianato, costruzione di mobili e serramenti, rivestimenti di interni e può anche essere utilizzato per la produzione di pasta di cellulosa.

Risorse genetiche a livello europeo ed italiano

Attualmente nel Registro Europeo dei Materiali di Base (http://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/eu_marketing_requirements/forest_material_en.htm) sono state registrate 208 provenienze di pino cembro (Austria 119, Repubblica Ceca 2, Francia 1, Italia 7, Lettonia 1, Romania 1, Slovacchia 72, Slovenia 1, Regno Unito 4), di cui molte sono limitate a singoli soggetti o gruppi di qualche decina di individui con fenotipo plus; fra queste i materiali selezionati e qualificati rappresentano la netta maggioranza. Appare tuttavia lecito avanzare qualche dubbio sull'attendibilità di questi dati, a causa delle modalità di acquisizione, presumibilmente variabili da Paese a Paese; né si possono escludere meri errori di trascrizione.

Regione	Comune	Popolamento o località geografica	Codice	Riferimento legislativo
Piemonte	Moscignaga (VB)	Alpe Vittini	IT-Pce-IF-A210-PI-0099	DGR 38-8195/2008 - DD 2237/2011
	Fornazza (VB)	Stavello	IT-Pce-IF-A210-PI-0088	
	Chiuso Pesio (CN)	Passo del Duca	IT-Pce-IF-A210-PI-0084	
	Pragelato (TO)	Soucheres basses	IT-Pce-IF-A210-PI-0048	
	Posteichansitz (CN)	Bosco dell'Alvea	IT-Pce-SE-A100-PE-0050	
	Salbertrand (TO)	Piccolo Bosco di Salbertrand	IT-Pce-SE-A100-PE-0052	
Valle d'Aosta	Gressoney Saint-Jean	Weismatten	-	Popolamenti proposti e non ufficializzati
	Gressan - Pila	Pins Beau	-	
	Ayas	Rif Ferrao	-	
	Ayas	Mascognaz	-	
Veneto	Corona d'Ampezzo	Passo Falzarego-Pas des Minis	VEN88	DGR 3263/2004
		Forcella Lenova-Serie de Ra Seta	VEN91	
Provincia Autonoma di Trento	Varana	Scartini, Passo Lavare	74	Ex Legge 269/1973
	Varana	Scotellari	25	
Provincia Autonoma di Bolzano	Funes	selva nera	37	
	Solda	Solda	127	
	Anterrioria	Passo delle Erbe	133	
	Funes	Pennec, Pischberg-Kirchberg	143	
	Sarnonico	Valdaria, Moschivida	144	
	Venosta	Vallelunga di Dorno	156	

Tabella 1: Elenco dei popolamenti forestali italiani di pino cembro ritenuti idonei per la raccolta di materiale di propagazione, in verde la categoria di certificazione degli "Identificati alla Fonte" ed in giallo quella dei "Selezionati".

In Italia sono stati catalogati 16 popolamenti forestali idonei alla raccolta di seme di pino cembro, cui ne vanno aggiunti 4 della Valle d'Aosta proposti ma non ancora ufficializzati (Tab. 1); di questi, solo i Materiali di Base del Piemonte e in parte del Veneto sono stati comunicati e inseriti nel Registro europeo dei materiali di base di cui sopra.

All'interno del progetto europeo EUFGIS (<http://portal.eufgis.org>), inoltre, in Europa sono monitorate e oggetto di studio 65 provenienze di pino cembro, in parte coincidenti con i materiali di base iscritti nei Registri nazionali ed europei, di cui 8 in Italia.

Areale di diffusione, con particolare riferimento al settore alpino

L'areale del pino cembro comprende le Alpi e aree disgiunte nei Carpazi; ugualmente al larice e al pino montano, manca nella Fennoscandinavia, ove è vicariato dai sopracitati *P. sibirica* e *P. pumilia*.

L'areale alpino, frammentario a causa della drastica riduzione operata nei secoli dall'uomo a favore del larice e per ricavare pascoli, è concentrato nei settori più interni e di maggiore altitudine, con importanti superfici in Svizzera (Engadina e Vallese) e Austria (Oetzal e Massiccio di Koralpe in Carinzia). Sull'arco alpino occidentale il limite è situato lungo una linea immaginaria che approssimativamente collega il Monviso-Queyras con il nord Ubaye. Più a sud, sia in territorio italiano che francese, la specie diviene sporadica, anche se piccole popolazioni sono presenti nell'alta Valle Pesio (CN), nelle Alpes Nicoises e in Haute-Tinée in territorio francese, relitti di un areale molto più vasto, come testimoniano numerosi toponimi locali riferiti alla specie. La linea immaginaria che collega la conca del Lago di Misurina e la Val Pusteria può essere considerata il limite ecologico orientale del

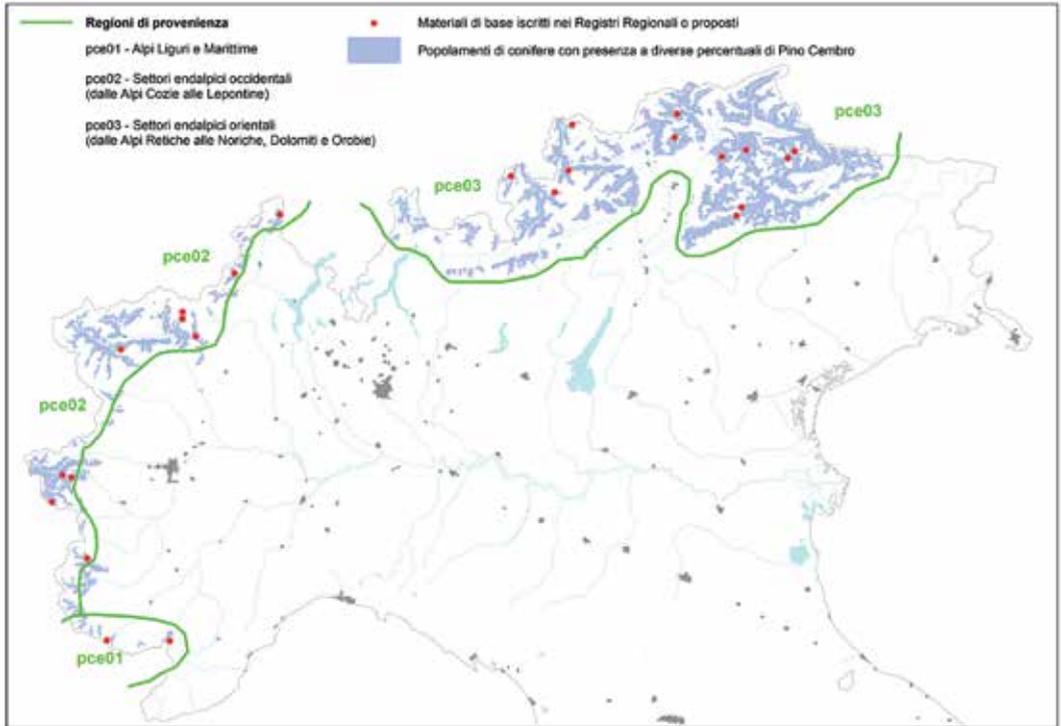


Fig. 1 - Aree italiane del pino cembro, con evidenziati i Materiali di Base e le Regioni di Provenienza.

versante sud delle Alpi del pino cembro; più a est vi sono solo frammenti sul versante Carinziano delle Alpi Carniche (TURNOWSKY, 1955).

In Piemonte e Valle d'Aosta la specie concentra la sua presenza nelle Alpi Cozie, fra le Valli di Susa e Varaita (CAMERANO *et al.*, 2008a), dove si localizzano i popolamenti più estesi, fra cui il Bosco dell'Alevè (Pontechianale). A nord della Valle di Susa la specie diviene più rara; i nuclei più importanti si trovano presso le Valli del Monte Bianco (La Thuile e Morgex) e del Monte Rosa (Gressoney e Ayas). Più a nord, piccoli nuclei si trovano nelle Valli Formazza, Anzasca e Antrona e sullo spartiacque fra le alte Valli Elvo e Cervo. Anche sud della Valle di Susa la specie diviene sporadica, anche se in misura meno accentuata rispetto alle Alpi Graie e Pennine: diversi nuclei si trovano nelle Valli Maira, Stura, Gesso fino all'alta Valle Pesio e Ellero. In Lombardia (DEL FAVERO, 2000; 2002; 2004) la specie è presente quasi unicamente nel distretto

Bormiese-Livignasco ed in Val Chievenna; cembrete mesalpiche sono diffuse nel versante sud del massiccio dell'Adamello e sulle Orobie (Passo del Mortirolo, Val Tartano, Val Madre e Val Cervia) e in Val Bremabana (Lago Colombo). Nelle province autonome di Trento e Bolzano il pino cembro è presente come specie accessoria in numerose abetine, peccete e lariceti. Per la Provincia di Trento i nuclei più importanti si trovano presso Passo Maghen, Valle de la Mare, Alpe di Pampeago e, Alpe Lusia. Per quanto riguarda l'Alto Adige i popolamenti più significativi sono localizzati nelle Valli Gardena e Venosta (AA.VV., 2010; ODASSO, 2002). Infine, in Veneto la specie è diffusa soprattutto nel bellunese (Monte Campoduro, Cadini di Misurina). L'areale italiano del pino cembro è riportato in Fig. 1.

XX					
x					
m					
f					
h					
hh					
H					
	AA	A	a	n	b

Fig. 2 - Ecogramma edafico del pino cembro (XX - xerofilo, x - mesoxerofilo, m - mesofilo, f - mesoigroclino, h - igroclino, hh - mesoigrofilo, H - higrofilo; AA - fortemente acido, A - acidofilo, a - debolmente acido, n - neutrofilo, b - basico) (da RAMEAU et al., 1989).

Aspetti ecologici e vegetazionali

Il pino cembro è definito una specie continentale e microterma, tendenzialmente mesoxerofila, che evita le valli troppo a lungo innevate o nebbiose e le stazioni con eccessiva umidità del terreno. Le condizioni ideali si trovano soprattutto nelle valli più interne delle Alpi, negli orizzonti altimontano e subalpino; tuttavia, le cessate utilizzazioni e l'abbandono del pascolo stanno favorendo il ritorno della specie anche in settori a debole continentalità (per esempio nelle parti più esterne della Valle di Gressoney e in Valle Varaita, dove il pino cembro viene in contatto con il faggio). Secondo alcuni autori, infatti, il pino cembro vegeta in stazioni con coefficiente di continentalità igrica di Gams¹ variabile da 65 (Engadina, Otzal in Tirolo e zona di Briançon) a 45 (Alpi di Friburgo e porzioni medie del ver-

sante sud delle Alpi). In Fig. 2 è riportato l'ecogramma edafico della specie (RAMEAU et al., 1993).

I limiti altitudinali variano fra 1.500-2.200 m (in Valle Varaita esemplari isolati si ritrovano fino a 2.600). Per quanto riguarda la temperatura il cembro è una specie che presenta un'ottima capacità di sopravvivere alle gelate invernali (la resistenza alle temperature minime invernali è di poco inferiore a -45 °C). Le gelate primaverili possono colpire soprattutto la fioritura, che anticipa l'emissione delle foglie; le gelate estive (con fogliazione piena) sono tollerate fino a -2 °C. Nell'ottimo, le precipitazioni medie annuali variano fra 650 e 1.000 mm, ma in talune stazioni intralpine vegeta con precipitazioni inferiori a 600 mm all'anno; di contro, nel versante sud delle Alpi la specie si trova in stazioni con oltre 1.300 mm/anno. La specie forma popolamenti puri o misti con larice o altre conifere prevalentemente nei poli intralpini, specificatamente in quelli più avari di pioggia (Valle Maira e Valle di Susa in Piemonte, Livigno e Santa Caterina Valfurva in Lombardia, Vallelunga in Alto Adige), secondariamente in quelle più umide (Valle Anzasca in Piemonte, Orobio in Lombardia, ecc.). I popolamenti attualmente presenti o i boschi con rinnovazione più o meno affermata si sviluppano in stazioni con precipitazioni comprese fra 900 e 1.000 mm/anno, soleggiate, con un numero di giorni di pioggia inferiore a 85 e scarsa nebulosità, con temperature comprese fra 2 e 7 °C (specie microterma) ma forti escursioni stagionali. Per esempio, in alta Valle di Susa l'escursione termica annuale varia fra 20 e 25 °C. In tutti i casi non si osservano periodi aridi e nelle stazioni prevalgono i mesi freddi e più o meno umidi.

Questi dati confermano il carattere di specie amante di climi continentali, come evidenziato attraverso il calcolo dell'indice di continentalità igrica di Gams (GAMS, 1932), che per quasi tutte le stazioni supera il valore di 60; solo nelle Alpi Marittime e Liguri la specie si trova in stazioni mesalpine (indice inferiore a 50); in tutte le altre stazioni il valore di Gams indica ambienti continentali. All'interno dei settori continentali è

¹ Angolo che ha per cotangente il rapporto tra le precipitazioni in mm (P) e l'altitudine in m (A): $\cot g x = P/A$. Quando l'indice è su valori di 10-15° si tratta di zone supramediterranee, fino a valori di 20-25° di settori montani mesalpici (fascia del faggio) e con valori oltre i 50° di settori endalpici.

possibile distinguere stazioni a debole continentalità o intermedie e quelle tipicamente e fortemente continentali. La presenza della specie in stazioni di transizione fra settori mesalpici e endalpici è possibile in quanto, per la legge della compensazione dei fattori ecologici, il cembro va a localizzarsi in stazioni rupicole ove la copertura nevosa è ridotta e le altre conifere non possono competere, ovvero in stazioni assolate; tuttavia occorre precisare che esiste un aumento di continentalità relativa dovuta alla quota: effetto che non si evince dagli indici di Gams riportati, in quanto calcolati per le stazioni meteorologiche di riferimento, sempre poste a quote inferiori. È quindi evidente una differenza fra popolamenti di settori di transizione (ambienti mesalpici e a debole continentalità) e quelli tipicamente continentali (WILLIS, 2000).

Nell'ambito del suo areale, il cembro partecipa alla costituzione di diversi Tipi forestali, sia come specie prevalente (cembrete) sia come specie associata al larice e più localmente all'abete rosso, all'abete bianco, al pino uncinato o al mugo (DEL FAVERO, 2006; CAMERANO et al., 2007; 2008b).

Popolamenti in purezza caratterizzano specificatamente il tipo Cembreta xeroacidofila e le varianti in purezza di cembro del Larici-cembrete su rodoro-vaccinieto (Cembreta tipica), rispettivamente per le *facies* più xeriche e quelle più mesofile. Il primo Tipo è presente in zone da mesoxerofila a xerofila, su substrati cristallini, e si caratterizza per la presenza di specie amanti di ambienti aridi e caldi, fra cui il ginepro nano (Associazione *junipereto-Arctostaphyletum*; sub Ass. *Juniperetosum nanae*); queste condizioni stazionali sono abbastanza diffuse in tutte le Alpi Cozie centro-meridionali, più limitatamente nelle Alpi Retiche occidentali. Il secondo Tipo è caratteristico di zone da debolmente mesoxerofila a mesofila e rappresenta la fase climacica dei lariceti oltre i 1.800 metri di quota, in zone ove l'abete rosso non è più competitivo; il sottobosco si caratterizza per il denso strato arbustivo di rododendro e mirtillo, assieme all'onnipresente *Calamagrostis villosae* (Ass. *Larici-pinetum cembrae*; sub Ass. *Rhodo-*

reto-Vaccinetum Calamagrostidetosum). La cembreta tipica è presente su tutto l'arco alpino, con maggiore frequenza a partire dalle Alpi Pennine verso est.

Nella maggior parte dei casi, tuttavia, il pino cembro edifica popolamenti preferibilmente misti con larice, dove è attualmente in espansione sia nell'orizzonte subalpino che montano; a tal proposito, di particolare interesse dal punto di vista evolutivo, sono i consorzi misti con larice nell'orizzonte montano endalpico (per esempio nelle Valli Chisone e Venosta) e in aree di transizione con settori mesalpici in contatto con il faggio (Alpi Cozie e Orobie); in quest'ultimo caso il pino cembro sembrerebbe assumere il ruolo di pioniera secondaria in stazioni tendenzialmente mesoxerofila, potenziali per la rovere.

Fra i popolamenti misti con le altre conifere, i più frequenti sono i boschi misti con l'abete rosso, che si incontrano praticamente su tutto l'arco alpino nell'orizzonte altimontano, ma di particolare interesse sono anche i boschi misti con l'abete bianco. Nelle Alpi Cozie, per esempio, dopo l'abbandono di diverse aree un tempo pascolate o per la riduzione della pressione dei tagli boschivi, il pino cembro sta riconquistando spazio in molte abetine, sia subalpine che montane. Consorzi misti fra abete bianco e pino cembro, anche con sporadica presenza di faggio, sono localmente presenti nelle Alpi Marittime e Cozie; in tali situazioni, tuttavia, il cembro occupa spesso le stazioni semi-rupicole, dove la superficialità dei suoli compensa il regime pluviometrico poco favorevole. Molto più localizzati, ma in espansione, sono i boschi misti fra cembro e pino uncinato o mugo.

Anche da un punto di vista vegetazionale, quindi, la differenza fra cembrete coinvolge i popolamenti di ambiti tipicamente endalpici e quelli di transizione con i settori mesalpici. Per le Alpi occidentali, inoltre, si individua un gradiente di piovosità in direzione sud-nord, che permette di suddividere le cembrete delle Alpi Cozie centro-meridionali (dalla Valle Varaita alla Valle Stura di Demonte, secondariamente dalle Alpi Marittime alle Liguri) da quelle a nord della Valle di Susa.

Per quanto riguarda gli aspetti pedologici, il pino cembro è relativamente indifferente alle caratteristiche dei suoli, anche se predilige suoli più evoluti rispetto al larice. La specie, infatti, rifugge solo da situazioni idromorfe, mentre è presente sia su suoli a litologia calcarea che silicatica. Tenuto conto che molti lariceti sarebbero boschi misti con cembro, anche l'areale pedologico del cembro è molto ampio e variegato, similmente a quanto si osserva per il larice. I popolamenti dei settori continentali si sviluppano soprattutto su Entisuoli più o meno decarbonatati in superficie a seconda dell'entità delle precipitazioni. I substrati basici sono in genere rappresentati da suoli bruni, più o meno profondi, con scheletro non alterato presente in discreta quantità. In altri casi i suoli sono poco evoluti, costantemente ringiovaniti dall'erosione, con una leggera decarbonatazione in superficie. Su substrati acidi si trovano suoli poco evoluti, afferibili agli Entisuoli e Inceptisuoli; in entrambi i casi si tratta di suoli relativamente recenti, a profondità variabile, con una percentuale di scheletro variabile fra 20 e 50. Per i popolamenti che occupano gli altri settori le associazioni di suoli più frequenti sono quella degli Inceptisuoli tipici (talora già in associazione con quelli Humici) e gli Entisuoli di colluvio non calcarei. Molto più localmente possono essere presenti suoli con fenomeni di podzolizzazione.

Aspetti genetici

Lo studio delle caratteristiche genetiche delle popolazioni forestali assume una grande importanza ai fini della pianificazione di strategie finalizzate alla salvaguardia delle risorse genetiche in esse presenti. Per valutare il grado di variabilità genetica e definire gruppi di popolamenti omogenei, si può far ricorso a vari metodi, basati sull'esistenza di differenze rilevabili tra diversi individui, popolazioni e gruppi di popolazioni. I caratteri morfologici (ad es. la forma delle foglie, il portamento, ecc.), presentano una relativa facilità di rilievo e di analisi. Tuttavia, essi presentano un grado di variabilità sottopo-

sto all'effetto delle condizioni ambientali in cui si sviluppano le piante e posseggono una base genetica di controllo spesso complessa e/o ignota. I parametri fenologici (es. periodo di ripresa vegetativa, fioritura, maturazione dei frutti) rappresentano caratteri adattativi, la cui conoscenza può rivelarsi fondamentale nella corretta gestione dei materiali di propagazione e presentano un elevato grado di polimorfismo. Il loro utilizzo pratico è però ostacolato da forti influenze ambientali e dall'interazione esistente tra genotipo e ambiente. Ne consegue la necessità di impostare prove comparative multisito, indispensabili per valutare i materiali e monitorarne il comportamento nel tempo e nello spazio. Tali prove richiedono tempi lunghi e costi elevati. È altresì possibile raccogliere informazioni a livello del genoma attraverso l'uso di marcatori genetici di più recente introduzione, quali quelli biochimici o molecolari. Questi permettono, rispettivamente, di analizzare il risultato dei processi di trascrizione e traduzione del DNA (di solito proteine enzimatiche) oppure di evidenziare differenze a livello di sequenza degli acidi nucleici in tratti omologhi di DNA. In particolare, l'analisi mediante marcatori molecolari si basa sull'individuazione di particolari sequenze di DNA, identificabili in modo univoco.

L'analisi genetica delle popolazioni forestali riveste anche un interesse di tipo applicativo nell'immediato. L'entrata in vigore del Decreto Legislativo 386/03, che recepisce la Direttiva CEE 105/1999 impone, infatti, la certificazione del materiale forestale di propagazione. In particolare, la norma prevede l'istituzione delle Regioni di Provenienza, definite come *"il territorio o l'insieme di territori soggetti a condizioni ecologiche sufficientemente uniformi e sui quali si trovano soprassuoli o fonti di semi sufficientemente omogenei dal punto di vista fenotipico e, ove valutato, dal punto di vista genotipico, tenendo conto dei limiti altimetrici ove appropriato"* (art. 2, lettera g, D. Lgs 386/03).

La definizione di Regioni di Provenienza per le singole specie e la necessità di un loro utilizzo all'interno della filiera vivaistica si

basano su due presupposti: rendere disponibile materiale di propagazione adatto alle condizioni eco-pedologiche del luogo di utilizzazione e salvaguardare la biodiversità genetica delle popolazioni autoctone. Nella definizione delle Regioni di Provenienza occorre tenere conto sia dei fattori di tipo ecologico in senso lato (climatici, pedologici, vegetazionali, ecc.) che di quelli genetici propri dei popolamenti che crescono spontaneamente nelle aree in esame (BELLETTI *et al.*, 2010; CAMERANO *et al.*, 2011). Il primo passo dovrebbe quindi essere quello di identificare ambiti che presentino una sufficiente omogeneità per i parametri di tipo ecologico, basandosi sui dati disponibili presso gli Enti territoriali interessati. In questa fase, risulta di grande importanza la scelta di un adeguato livello di dettaglio delle cartografie di riferimento, in modo da giungere alla definizione di un idoneo numero di aree, che non sia né troppo elevato (con evidenti ed insormontabili problemi di gestione del materiale propagativo ivi prodotto), né troppo ridotto (per non incorrere in problemi di adattabilità allorquando si trasferisce materiale propagativo tra aree caratterizzate da condizioni ecologiche troppo diverse). Successivamente si potranno integrare i dati ecologici con quelli genetici, impostando apposite verifiche sperimentali. Per valutare il grado di variabilità genetica e definire gruppi di popolamenti omogenei, si può far ricorso a diversi metodi, basati sull'esistenza di differenze rilevabili tra diversi individui, popolazioni e gruppi di popolazioni. I dati ricavati vengono poi estrapolati all'intera informazione genetica presente nei vari



Fig. 3 - Localizzazione geografica dei popolamenti di pino cembro analizzati nel presente studio.

soggetti. I risultati delle analisi genetiche, integrati con quelli ecologico-vegetazionali, consentiranno di stabilire in via definitiva le Regioni di Provenienza per le specie valutate.

Lo scopo dello studio è stato quello di analizzare la variabilità genetica presente in 15 popolamenti naturali di pino cembro dell'arco alpino italiano, con particolare riferimento ai livelli di variabilità genetica interni alle popolazioni, la loro struttura genetica e il livello di differenziazione tra di essi. I risultati ottenuti vengono discussi alla luce della Direttiva Europea 1999/105/CE, soprattutto per quanto riguarda la definizione di Regioni di Provenienza.

Materiali e metodi

Il lavoro ha preso in considerazione 15 popolamenti di pino cembro, sulla cui origine autoctona si può essere ragionevolmente certi: 9 di essi sono localizzati nelle Alpi occidentali, i rimanenti 6 in quelle centro-orientali (Fig. 3). Alcune caratteristiche geografiche dei popolamenti oggetto di studio sono riportate nella Tab. 2.

I campionamenti in bosco hanno coinvolto alcune foglie prelevate da non meno di 24 piante adulte per popolamento, sufficientemente distanziate tra di loro da rendere improbabile eventuali vincoli di parentela. Dalle foglie è stato poi prelevato il DNA, mediante opportune tecniche di estrazione. L'analisi ha riguardato una specifica categoria di marcatori genetici, detti microsattelliti e conosciuti anche con l'acronimo SSR (che deriva dalla loro denominazione in lingua inglese: *Simple Sequence Repeats*). Gli SSR consistono in brevi sequenze di nucleotidi (solitamente da 2 a 6), ripetute per un numero variabile di volte (TAUTZ, RENZ, 1984): il numero di ripetizioni identifica il genotipo di un individuo e consente di evidenziare differenze di natura genetica tra di essi. Per l'analisi degli SSR occorre procedere alla loro amplificazione tramite la tecnica della PCR (vedi box n. 1). Questo è reso possibile dal fatto che le sequenze fiancheggianti il microsattellite sono di solito molto conservate,

Zona	Stiga	Popolamento	Latitudine N	Longitudine E	Altitudine (m s.l.m.)	Piuvosità mm/anno	Temperatura media annuale (°C)	Indice Gams
messapica	PES	Valle Pesio (CN)	44°12'	7°40'	1600-1900	1200	5	47
	VAL	Valdieri - Vallone della Valletta (CN)	44°10'	7°16'	1800-2100	1300	6	48
debole continentalità	FOR	Formazza - Alpe Stavello (VB)	46°21'	8°27'	1700-1900	1450	4	53
	ALE	Alevè (CN)	44°37'	7°04'	1800-2200	850	4	58
Eusalpica (da media a forte continentalità)	LAV	Lavaze (TN)	46°21'	11°29'	1800-1900	1250	8	62
	CML	Champoluis (AO)	45°49'	7°43'	1600-1900	850	5	63
	SAL	Saibertand - Gran Bosco (TO)	45°04'	6°55'	2000-2200	800	6	65
	ERB	Passo delle Erbe (BZ)	46°41'	11°49'	1900-2000	800	4	65
	FLE	Forzeia Lerona (BL)	46°38'	12°06'	1700-1900	1100	7	66
	BOU	Bousson - Lago Nero (TO)	44°56'	6°49'	1500-1700	700	5	68
	SAU	Sancheser Basses (TO)	45°02'	6°58'	1600-1900	850	5	69
	LIV	Livigno - Passo Era (SO)	46°32'	10°09'	1800-2000	860	4	69
	CUR	Curon - Vallelunga (BZ)	46°50'	10°38'	1900-2000	650	4	70
	PIL	Pila (AD)	45°41'	7°19'	1600-2100	700	5	72
CAT	S. Caterina Valfurva (SO)	46°24'	10°32'	1900-2100	780	3	72	

Tabella 2: localizzazione geografica e caratteristiche climatiche dei popolamenti oggetto d'indagine

non solo tra individui della stessa specie, ma addirittura tra specie appartenenti alla stessa famiglia. I microsatelliti sono considerati attualmente tra i marcatori molecolari più interessanti, perché sono abbondanti, molto polimorfici, codominanti (l'eterozigote è facilmente distinguibile da entrambi gli omozigoti), neutri (non sono cioè sottoposti alla selezione naturale), e la tecnica d'identificazione e amplificazione è riproducibile in laboratori diversi (TAUTZ 1989). Comportano però ancora elevati costi nel processo di individuazione dei primers univoci e in alcuni casi i dati da essi ottenuti possono presentare difficoltà di interpretazione.

Box n.1: la tecnica della PCR

La PCR (*DNA-Polymerase Chain Reaction*, cioè Reazione a Catena della DNA-Polimerasi) è stata una delle più importanti scoperte scientifiche del ventesimo secolo e difatti al suo inventore (Kerry Mullis) fu assegnato nel 1990 il Premio Nobel. Con questa tecnica è possibile ottenere, in brevissimo tempo, numerosissime copie di un frammento iniziale di DNA, costituito anche da una quantità di molecole molto modesta (dell'ordine di alcuni nanogrammi). Una peculiarità della PCR è l'uso dei cosiddetti primers (o inneschi). Si tratta di corte sequenze nucleotidiche a filamento singolo (indicativamente da 10 a 20 nucleotidi), costruite artificialmente in laboratorio.

La PCR prevede tre fasi: 1. denaturazione del DNA (separazione dei due filamenti della doppia elica, che generalmente avvie-

ne utilizzando temperature elevate); 2. appaiamento (*annealing*) dei primer ai lati del frammento che si vuole studiare; 3. estensione della molecola del DNA, resa possibile da un particolare enzima DNA polimerasi resistente al calore (detta *Taq*, dal nome del batterio *Thermus aquaticus*, che vive nelle pozze di acqua a temperatura prossima a quella di ebollizione).

Una successione di queste tre fasi prende il nome di ciclo e ad ogni ciclo corrisponde un raddoppiamento nella quantità di DNA iniziale (con riferimento al tratto che si sta analizzando). Di solito si utilizzano alcune decine di cicli, in modo tale da ottenere milioni di copie del frammento di DNA in studio e consentirne così una dettagliata analisi. La procedura può essere facilmente automatizzata ed avviene all'interno di specifiche apparecchiature dette **termociclatori**.

L'analisi della variabilità genetica dei popolamenti è stata effettuata attraverso la valutazione di numerosi parametri, tra cui in particolare le frequenze alleliche e i valori di eterozigosi, ricorrendo al software GENALEX versione 6 (PEAKALL, SMOUSE, 2006; 2012) La struttura e la distribuzione della variabilità genetica dei popolamenti sono state stimate attraverso la statistica F di Wright (WRIGHT, 1969), la quale scompone la variabilità genetica totale nelle sue componenti tra popolamenti e interna ai popolamenti. Le matrici delle distanze genetiche sono state utilizzate per effettuare l'Analisi delle Coordinate Principali, utilizzando i componenti DCENTER e EIGEN del sof-

Popolazione	N	N _E	H _O	H _E	F _{IS}
PES	5,3	3.5	0.521	0.600	0.083
VAL	5.5	3.7	0.639	0.626	-0.042
ALE	6.8	3.4	0.563	0.591	-0.037
BOU	8.2	4.3	0.583	0.591	0.044
SAU	6.8	4.1	0.625	0.663	0.006
SAL	7.7	3.9	0.576	0.630	0.049
PIL	7.5	4.9	0.639	0.686	0.035
CML	7.5	4.6	0.632	0.676	0.021
FOR	6.5	4.2	0.514	0.635	0.173
Media Alpi occidentali	6.9	4.1	0.588	0.633	0.037
LIV	7.8	4.9	0.653	0.641	-0.060
CAT	7.5	4.4	0.528	0.625	0.170
CUR	7.3	4.0	0.646	0.617	-0.060
LAV	6.7	3.7	0.611	0.634	0.016
ERB	7.3	3.6	0.604	0.594	-0.076
FLE	6.7	3.9	0.618	0.619	-0.049
Media Alpi centro-orientali	7.3	4.1	0.610	0.622	-0.010
Media generale	7.0	4.1	0.597	0.632	0.018

Tabella 3: Valori di variabilità genetica, eterozigosi ed indice di fissazione delle popolazioni di pino cembro oggetto di studio.

ware NTSYS (ROHLF, 2001).

Risultati

L'analisi genetica condotta in laboratorio sulla variabilità riscontrata in 6 loci microsatellite (scelti sulla base delle indicazioni bibliografiche, in particolare SALZER *et al.*, 2008) ha consentito di identificare numerose varianti alleliche. In totale, sono state evidenziate 92 bande, corrispondenti ad altrettanti alleli. Sono stati identificati 16 alleli privati, ove con tale definizione si intendono quelle varianti geniche che sono presenti in un unico popolamento e quindi assumono un valore rilevante ai fini della valutazione della biodiversità presente nell'ambito del materiale in esame. I popolamenti che hanno presentato il maggior numero di alleli privati (5 ciascuno) sono risultati quelli di Bousson (BOU) e Alevè (ALE), seguiti da Lavazè (LAV) con due e da Gran Bosco di Salbertrand (SAL), Passo delle Erbe (ERB), Livigno (LIV) e Curon (CUR) che hanno

mostrato un unico allele privato.

Per quanto riguarda i valori di variabilità genetica interni alle popolazioni, si rimanda alla Tab. 3, nella quale N indica il numero medio di alleli per locus, N_e il numero effettivo di alleli per locus (valore che tiene conto della frequenza di ciascun allele), H_O l'eterozigosi osservata (quella cioè effettivamente ottenuta dai dati sperimentali), H_E l'eterozigosi attesa (quella calcolata ipotizzando che le popolazioni si trovino in equilibrio di Hardy-Weinberg, vedi box n. 2), F_{IS} l'indice di fissazione (che indica l'eccesso – valori positivi – oppure la carenza – valori negativi – di eterozigoti). H_e rappresenta anche la probabilità che due alleli scelti casualmente nell'ambito di una popolazione siano diversi.

Box n.2: la legge di Hardy-Weinberg

La legge di Hardy-Weinberg (definita in modo indipendente dai due studiosi negli anni 1908-1909) definisce che popolazioni di specie allogame sufficientemente ampie e non soggette a fattori esterni (quali comparsa di mutazioni, selezione, migrazione) raggiungono in breve tempo un equilibrio, nel quale si stabilisce un preciso rapporto tra le frequenze degli alleli e quelle dei genotipi presenti nella popolazione stessa. Se la popolazione, per svariati motivi, non si trova in tale equilibrio, tenderà a raggiungerlo nel più breve tempo possibile, purché, ovviamente, i fattori di disturbo vengano eliminati.

Dai dati della tabella si evidenzia come sia presente una certa variabilità per quanto riguarda i valori di ricchezza allelica: i popolamenti valdostani (Champoluc, CML, e

Pila, PIL) e Livigno (LIV) hanno manifestato i valori più alti relativamente al numero di alleli per locus e di eterozigosi. Al contrario, Alevè (ALE) e Valle Pesio (PES) hanno invece presentato i valori più ridotti di variabilità genetica interna al popolamento. L'indice di fissazione è risultato variabile, anche se la media generale non si discosta significativamente dallo zero. Un marcato eccesso di omozigoti è stato tuttavia riscontrato a Formazza (FOR) e S. Caterina Valfurva (CAT). In linea generale, i popolamenti dell'arco alpino centro-orientale hanno presentato valori di numero medio di alleli per locus ed eterozigosi osservata leggermente superiori a quelli dei popolamenti occidentali.

Per quanto riguarda la differenziazione genetica tra i popolamenti, è stato riscontrato un valore totale pari a 0.653 (H_T); poiché la componente di tale variabilità dovuta a differenze interne alle popolazioni (H_S) è stata stimata in 0.632, ne consegue un livello di divergenza tra di esse (D_{ST}) di 0.021, equivalente a un grado di differenziazione genetica (G_{ST}) di 0.032. In altre parole, di tutta la variabilità genetica che è stata identificata, solamente il 3.2% è dovuta a differenze tra popolamenti. L'analisi della varianza molecolare (AMOVA) ha confermato i dati sul ridotto livello di differenziazione genetica presente tra i popolamenti esaminati, evidenziando anzi una componente della variabilità genetica totale dovuta a differenze tra popolamenti ancora più bassa (circa il 2%, dati non riportati).

Nonostante i livelli di differenziazione genetica siano così contenuti, è stato possibile identificare un certo grado di strutturazione della variabilità genetica. Questa è stata messa in evidenza mediante l'Analisi delle Coordinate Principali (PCoA), la quale raggruppa, in un grafico bi- o tri-dimensionale, (il primo in questo caso), i popolamenti in base alle loro distanze genetiche: più i popolamenti si localizzano vicini e maggiore è la loro similitudine dal punto di vista genetico. I risultati della PcoA sono riportati nella Fig. 4, nella quale la prima coordinata considera ben il 68% della variabilità genetica totale: è

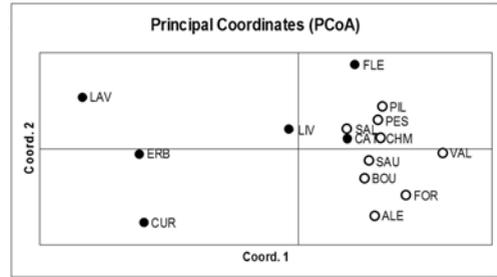


Fig. 4: Analisi delle Coordinate Principali (PCoA) effettuata tra i 15 popolamenti di pino cembro. Il pallino chiaro indica i popolamenti delle Alpi occidentali, il pallino scuro quelli delle Alpi centro-orientali.

Discussione

Il lavoro ha consentito di ampliare le conoscenze sugli aspetti genetici del pino cembro in Italia ed ha consentito di trarre alcune indicazioni che rivestono anche un interesse pratico nella gestione dei materiali forestali di propagazione, così come previsto dalla vigente normativa (Direttiva CE n. 105 del 1999 e relativo Decreto Legislativo di recepimento n. 386 del 2003). Come per la maggior parte delle specie forestali (HAMRICK *et al.*, 1992), anche il pino cembro ha presentato elevati livelli di variabilità genetica interna ai popolamenti. I valori riscontrati risultano in linea con quanto riportato in bibliografia per il settore alpino (HÖHN *et al.*, 2009), mentre valori più elevati sono stati evidenziati nell'ambito dei popolamenti che si trovano sui Carpazi (WOJNICKA-POLTORAK *et al.*, 2015). Proprio in base a questa considerazione, tale area è stata considerata una delle principali zone in cui la specie è sopravvissuta durante l'ultimo periodo glaciale (LANG, 1994). Molti studi considerano anche le Alpi sud-orientali un'area rifugio, da cui la specie avrebbe poi ricolonizzato l'intera catena alpina (GUGERLI *et al.*, 2009). I dati del presente studio sembrerebbero confermare tale ipotesi, soprattutto in base al fatto che i popolamenti delle Alpi centrali ed orientali hanno presentato, in linea generale, livelli di variabilità genetica leggermente superiori a quelli dei popolamenti delle Alpi occidentali; questi ultimi si sarebbero infatti formati a seguito della ricolonizzazione post-glaciale, andando tuttavia incontro a fenomeni di selezione

Regione di Provenienza	Comune	Popolamento o località geografica	Codice
pce01	Chiusa Pesio	Passo del Duca	IT/Pce/IF/A210/PI/0084
pce02	Macugnaga	Alpe Vittini	IT/Pce/IF/A210/PI/0089
	Formazza	Stavello	IT/Pce/IF/A210/PI/0088
	Pragelato	Soucheres basses	IT/Pce/IF/A210/PI/0048
	Pontechianale	Bosco dell'Alevè	IT/Pce/SE/A100/PI/0050
	Salbertrand	Piccolo Bosco di Salbertrand	IT/Pce/SE/A100/PI/0052
	Gressoney S. Jean	Weissmatten	Proposti
	Gressan - Pila	Plan Bois	
	Ayas	Rif. Ferraro	
Ayas	Mascognaz		
pce03	Cortina d'Ampezzo	Passo Falzarego-Pian dei Menis	VEN88
		Forzela Lerosa-Brite de Ra Stua	VEN91
	Varena	Scairiani, Passo Lavazè	24
	Varena	Scutellari	25
	Funes	Selva nera	37
	Solda	Solda	127
	Antermoia	Passo delle Erbe	133
	Funes	Pennes, Pichelberg-Kirchberg	143
	Sarentino	Valdurga, Moschwald	144
Venosta	Vallelunga di Dentro	156	

Tabella 4: popolamenti da seme e Regioni di Provenienza (in verde la categoria di certificazione degli "Identificati alla Fonte" ed in giallo quella dei "Selezionati").

naturale e deriva genetica. Va tuttavia rilevato come, nel settore alpino occidentale, siano state identificate situazioni caratterizzate da notevole diversità: il popolamento di Bousson (BOU) ha manifestato il più alto valore del numero medio di alleli per locus, nonché la presenza di un elevato numero di alleli privati, mentre, all'opposto, Valle Pesio (PES), Valdieri (VAL) e, parzialmente, Alevè (ALE) risultano caratterizzati da livelli di variabilità interna decisamente inferiori. Il caso di quest'ultimo popolamento presenta aspetti di notevole interesse. Esso si trova sul versante sinistro orografico della valle Varaita, alle pendici del Monviso ed è la più estesa cembreta in purezza dell'intero l'arco alpino, estendendosi per circa 700 ha, cui vanno aggiunti ulteriori 125 ha di aree in cui è presente anche il larice. Nonostante la sua estensione, tale popolamento presenta valori di diversità genetica inferiori a quelli che ci si potrebbe attendere: tale situazione, già evidenziata in precedenti studi che hanno utilizzato altri tipi di marcatori genetici (BELLETTI, GULLACE, 1999) potrebbe essere dovuta al ridotto numero di individui che hanno originato il popolamento (a sua volta legato alle particolari condizioni pedo-

climatiche dell'area in oggetto) e all'isolamento del popolamento medesimo.

Anche l'esame dell'indice di fissazione porta a conclusioni in parte contraddittorie: in linea di massima, nelle Alpi occidentali è stato ravvisato un eccesso di omozigosi (soprattutto in valle Pesio (PES) e Formazza (FOR), mentre la situazione opposta caratterizza molti popolamenti dell'arco alpino centro-orientale (in particolare Livigno, LIV, Passo delle Erbe, ERB, e Curon, CUR); anche in questo caso non mancano però le eccezioni, di cui la più vistosa è rappresentata dal popolamento di S. Caterina Valfurva (CAT), dove si è ravvisato un considerevole eccesso di omozigoti pur essendo il popolamento localizzato nei pressi del confine tra Lombardia ed Alto Adige.

Conclusioni: le regioni di provenienza del pino cembro

La frammentazione dell'areale del pino cembro, con la presenza di stazioni puntiformi relitte al limite della definizione di bosco, non permette di apprezzare significativamente differenze climatiche e/o vege-

tazionali fra le diverse popolazioni di pino cembro. Tuttavia, da un punto di vista ecologico-vegetazionale si può ragionevolmente affermare la presenza di due macrosettori:

- Settori mesalpici (Alpi Liguri, Marittime e Orobie)
- Settori endalpici (Alpi Cozie, dalle Graie alle Retiche, Noriche e le Dolomiti)

Nonostante la frammentazione dell'areale la differenziazione genetica tra i popolamenti è risultata estremamente modesta, soprattutto se si considera come nell'analisi siano stati inclusi popolamenti provenienti dall'intero areale italiano di diffusione della specie. Nel complesso, solo una percentuale della variabilità genetica totale oscillante intorno a 2 è risultata ascrivibile a differenze tra popolamenti. Tuttavia, anche in presenza di un livello così modesto di differenziazione genetica, è stato possibile individuare una sua strutturazione. In linea generale i popolamenti dell'arco alpino orientale si sono differenziati, anche se in modo parziale, da quello dell'Italia nord-occidentale. Questi risultati sono in linea con quanto ottenuto utilizzando un tipo diverso di marcatori genetici, nella fattispecie SNPs (*Single Nucleotide Polymorphism*), i quali analizzano prevalentemente tratti di DNA codificante e sono quindi in grado di evidenziare in modo più preciso aspetti legati all'adattamento delle popolazioni all'ambiente pedoclimatico di crescita (MOSCA *et al.*, 2012).

Dal punto di vista genetico, pertanto, è plausibile ipotizzare la definizione di due Regioni di Provenienza.

Unendo le considerazioni ecologico-vegetazionali con quelle genetiche, si ipotizza di individuare tre Regioni di Provenienza (Fig. 1 e Tab. 4):

- Alpi Liguri e Marittime (pce01)
- Settori endalpici occidentali (pce02), dalle Alpi Cozie alle Lepontine
- Settori endalpici orientali (pce03), dalle Retiche alle Noriche, Dolomiti e Orobie

Per quanto concerne le strategie generali da adottare in relazione alla conservazione delle risorse genetiche della specie si rimanda al box n. 3.

Box n. 3: Strategie di conservazione

Fattori di rischio: la specie ha un areale molto frammentario.

Azioni: la principale forma di conservazione delle risorse genetiche di pino cembro dovrebbe essere la conservazione *in situ*, attraverso buone pratiche selvicolturali. Tuttavia, in taluni casi, possono essere attuati programmi di conservazione *ex situ*, come per le popolazioni relitte, attraverso rinfoltimenti in zone limitrofe idonee.

Ad esclusione delle popolazioni localizzate ai limiti superiori della vegetazione arborea o in stazioni semirupicole, ove è buona pratica lasciare agire l'evoluzione libera, in stazioni altomontane e subalpine accessibili la gestione forestale va impostata secondo il governo a fustaia, mediante tagli a scelta colturali per gruppi o collettivi. In popolamenti misti, anche al fine di mantenere elevata la capacità di produzione di semi, occorre mantenere una buona mescolanza fra le specie. In popolamenti misti occorre prestare attenzione alle dimensioni delle aperture, che devono essere sufficienti a favorire il precoce scioglimento della neve in primavera, riducendo la mortalità delle giovani piantine a causa dei funghi criofili. L'azione più importante da attuare per la conservazione della specie *in situ* è favorire e ricercare la rigenerazione naturale, anche creando le stazioni idonee. Per esempio, densi strati erbosi o fitte coperture di rododendro possono essere di ostacolo all'affermazione della rinnovazione naturale. Se necessario possono essere attuati interventi di liberazione dei semenzali, ovvero di protezione individuale dalla fauna selvatica.

Per quanto riguarda le modalità di conservazione *ex situ*, oltre alla raccolta e conservazione del seme in banche apposite, è generalmente da escludere la costituzione di arboreti; piuttosto è preferibile realizzare rinfoltimenti o rimboschimenti in stazioni limitrofe al popolamento da conservare o in ambienti ove la specie non è attualmente presente ma potenzialmente adatta. Nel caso di rinfoltimenti o rimboschimenti è fondamentale la cura nella scelta del materiale di propagazione. Per le piantagioni realizzate nel piano subalpino, la provenienza da uti-

lizzare dovrebbe arrivare da popolamenti posti a quote simili, adottando opportune misure di acclimatamento dei semenzali. Per le popolazioni relitte si consiglia, inoltre, di monitorare attentamente le fruttificazioni annuali.

Fra le provenienze prioritarie nella conservazione vi sono quelle delle Alpi Liguri e delle Valli Ossolane.

Ringraziamenti

Lavoro svolto con parziale finanziamento della Regione Piemonte, Direzione Economia Montana e Foreste. Si ringrazia Rosalba Riccobene (IPLA) per la preziosa collaborazione nella predisposizione della cartografia che corredata l'articolo.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2010 – *Tipologie forestali dell'Alto Adige*. Provincia Autonoma di Bolzano, Ripartizione per le Foreste. Ed. Lanarepro, Lana Bolzano.
- BELLETTI, P., CAMERANO, P., PIGNATTI, G., 2010 – *Regioni di Provenienza in Italia*. Sherwood, 166: 21-25.
- BELLETTI, P., GULLACE, S., 1999 – *Biodiversità e struttura genetica in popolazioni di pino cembro e pino silvestre dell'arco alpino occidentale*. Sherwood, 44: 11-16.
- BERNETTI G., 1994 – *Selvicoltura speciale*. UTET, Torino, 415 pp.
- CAMERANO, P., TERZUOLO, P.G., VARESE, P., 2007 – *I tipi forestali della Valle d'Aosta*. IPLA, Compagnia delle Foreste, Arezzo, Torino.
- CAMERANO, P., GIANNETTI F., GOTTERO, F., MENSIO F., RICCOBENE R., TERZUOLO, P.G., 2008a – *Carta Forestale del Piemonte*. Regione Piemonte, Ed. Selca, Firenze.
- CAMERANO, P., GOTTERO, F., TERZUOLO, P.G., VARESE, P., 2008b – *I tipi forestali del Piemonte*. Seconda edizione. IPLA, Regione Piemonte, Blu Edizioni, Torino.
- CAMERANO, P., BELLETTI, P., FERRAZZINI, D., PIGNATTI, G., 2011 – *Definizione di Regioni di Provenienza per le specie forestali: a che punto siamo?* Sherwood, 179: 23-27.
- CONTINI, L., LAVARELLO, Y., 1982 – *Le Pin Cembro (Pinus cembra L.) – Répartition, écologie, sylviculture et production*. INRA, Paris, 197 pp.
- DEBAZAC, E.F., 1977 – *Manuel des Conifères*. Ecole nationale du génie rural, des Eaux et Forêts, Centre de Nancy, 172 pp.
- DEL FAVERO, R. et al., 2000 – *Biodiversità e indicatori nei Tipi forestali della Regione Veneto*. Regione del Veneto, Direzione Foreste, Mestre-Venezia, 335 pp.
- DEL FAVERO, R., 2002 – *I Tipi forestali della Lombardia. Inquadramento ecologico per la gestione dei boschi lombardi*. Cierre Edizioni, Sommacampagna. 506 pp.
- DEL FAVERO, R., 2004 – *I Boschi delle Regioni Alpine Italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura*. Cleup, Padova, 599 pp.
- DEL FAVERO, R., 2006 – *Carta regionale dei tipi forestali – documento base*. Regione del Veneto, Accademia Italiana di Scienze Forestali.
- GAMS, H., 1932 – *Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarenalen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen*. Zeitschr. Ges. Erdkunde, Berlin.
- GUGERLI, F., RÜEGG, M., VENDRAMIN, G.G., 2009 – *Gradual decline in genetic diversity in Swiss stone pine populations (Pinus cembra) across Switzerland suggests postglacial re-colonization into the Alps from a common eastern glacial refugium*. Botanica Helvetica, 119: 13-22.
- HAMRICK, J.L., GODT, M.J.W., SHERMAN-BROYLES, S.L., 1992 – *Factors influencing levels of genetic diversity in woody plant species*. New Forest, 6: 95-124.
- HAMRICK, J.L., 2004 – *Response of forest trees to global environmental changes*. Forest Ecology Management, 197: 323-335.
- HÖHN, M., GUGERLI, F., ABRAN, P., BISZTRAY, G., BUONAMICI, A., CSEKE, K., HUFNAGEL, C., QUINTELA-SABARIS, C., SEBASTIANI, F., VENDRAMIN, G.G., 2009 – *Variation in the chloroplast DNA of Swiss stone pine populations (Pinus cembra L.) reflects contrasting post-glacial history of populations from the Carpathians and the Alps*. Journal of Biogeography, 9: 1798-1806.
- IPLA, 2002 – *Guida alle specie spontanee del Piemonte - Alberi e Arbusti*. Regione Piemonte, Blu Edizioni, Cuneo, pp. 223.
- KRAMER, A.T., HAVENS, K., 2009 – *Plant conservation genetics in a changing world*. In: CRANE, P.R., HOPPER, S.D., RAVEN, P.H., STEVENSON, D.W. (eds.), *Special Issue: Plant Science Research in Botanic Gardens*, Trends in Plant Science, 14.11: 599-607.
- LANG, G., 1994 – *Quartäre Vegetationsgeschichte Europas*. Gustav Fischer, Jena, 462 pp.
- LOO, J., FADY, B., DAWSON, I., VINCETI, B., BALDINELLI, G., 2015 – *Forest genetic resources and climate change*. In: FAO, Rome (ed.), *Coping with climate change – The role of genetic resources for food and agriculture*, pp. 41-53.
- MOSCA, E., ECKERT, A.J., DI PIERRO, E., ROCCHINI, D., LA PORTA, N., BELLETTI, P., NEALE, D.B., 2012 – *The geographical and environmental determinants of genetic diversity for four alpine conifers of the European Alps*. Molecular Ecology, 21: 5530-5545.
- ODASSO M., 2002 – *I Tipi forestali del Trentini. Catalogo, guida al riconoscimento, localizzazione e caratteristiche ecologico-vegetazionali*. Centro di Ecologia Alpina, report 25. Trento.

PEAKALL, R., SMOUSE, P.E., 2006 – *GENALEX 6: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research*. Molecular Ecology Notes, 6: 288-295.

PEAKALL, R., SMOUSE, P.E., 2012 – *GenALEX 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update*. Bioinformatics, 28: 2537-2539.

RAMEAU J., MANSION D., DUMÉ' G., 1993 – *Flore Forestière Française*. Institut pour le développement forestier, Paris.

ROHLF, F.J., 2001 – *NTSYS-pc Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System, version 2.10j*. Exeter Publications, New York.

SALZER, K., SEBASTIANI, F., GUGERLI, F., BUONAMICI, A., VENDRAMIN, G.G., 2008 – *Isolation and characterization of polymorphic nuclear microsatellite loci in Pinus cembra L.* Molecular Ecology Resources, 9: 858-861.

TAUTZ, D., 1989 – *Hypervariability of simple sequences as a general source for polymorphic DNA markers*. Nucleic Acid Research, 17: 6463-6471.

TAUTZ, D., RENZ, M., 1984 – *Simple sequences are ubiquitous repetitive components of eukaryotic genomes*. Nucleic Acid Research, 12: 4127-4138.

TURNOWSKY, F., 1955 – *Die Zirbe in Kärnten*. Carinthia, 11: 100-102.

WILLIS, K.J., BENNET D.K., BIRKS, H.J.B., 2000 – *The late Quaternary dynamic of pines in Europe – Ecology and Biogeography of Pines*. David M.R. Ed., Cambridge University Press; 527 pp.

WOJNICKA-POLTORAK, A., CELINSKI, K., CHUDZINSKA, E., PRUS-GLOWACKI, W., NIEMTUR, S., 2015. *Genetic resources of Pinus cembra L. marginal populations from the Tatra Mountains: implications for conservation*. Biochemical Genetics, 1: 49-61.

WRIGHT, S., 1969 – *Evolution and the Genetics of Populations, The Theory of Gene Frequency*. Vol. 2. University of Chicago Press, Chicago.

Paolo Camerano

IPLA S.p.A. – Unità Operativa Biodiversità, Foreste e Paesaggio, corso Casale 476, 10132 Torino, Tel. 0114320401, Fax 0114320490
E-mail: camerano@ipla.org.

Piero Belletti

Università di Torino – D.I.S.A.F.A. Genetica Agraria, largo Braccini 2, 10095 Grugliasco (Torino), Tel. 0116708804, Fax 0112368804
E-mail: piero.belletti@unito.it.

PAROLE CHIAVE: *Pinus cembra*, **variabilità genetica**, **Regioni di Provenienza**

RIASSUNTO

La variabilità genetica, soprattutto a livello intraspecifico, è riconosciuta come il più importante fattore in grado di consentire alle popolazioni forestali di sopravvivere in un ambiente che, soprattutto a livello climatico, sta rapidamente mutando. Il pino cembro è una specie tipica dell'ambiente alpino, anche se l'azione umana ha reso frammentaria la sua distribuzione. Dopo aver analizzato in modo approfondito gli aspetti ecologici e vegetazionali della specie, vengono illustrati i risultati di un'indagine genetica, condotta con marcatori microsatellite, su 15 popolamenti dell'arco alpino. I risultati ottenuti vengono discussi nell'ottica della definizione di Regioni di Provenienza, così come previsto dalla normativa comunitaria in tema di propagazione delle specie forestali e viene proposta l'individuazione di 3 Regioni: Alpi Liguri e Marittime, settore endalpico occidentale e settore endalpico orientale.

KEYWORDS: *Pinus cembra*, **genetic variability**, **Regions of Provenance**

ABSTRACT

Genetic variability is well-known as one of the most important factor affecting adaptability of forest tree populations, and consequently their ability to survive in environments that are rapidly changing. Swiss stone pine is a typical alpine species, whose distribution is nowadays fragmented due to human activity. Ecological and vegetational aspects of the species are analysed in details and results of a genetic study, carried on by means of molecular markers on 15 alpine populations, are reported. Obtained results are discussed mainly in the frame of Regions of Provenance definition, as defined by actual EC rules on forest reproductive material production. Three Regions have been identified: Ligurian and Maritime Alps, western endalpic sector and eastern endalpic sector.