

FULVIO DUCCI\*, ROBERTA PROIETTI\*, ANNA DE ROGATIS\*\*,  
M. CRISTINA MONTEVERDI\*, ANDREA GERMANI\*, ALFREDO BRESCIANI\*\*\*,  
ANGELA TEANI\*, MARCO LAUTERI\*\*\*\*, GIOVANBATTISTA DE DATO\*,  
ILARIA CUTINO\*

## Gestione delle risorse genetiche della douglasia in Italia in relazione agli scenari dei cambiamenti globali

### INTRODUZIONE

Questo lavoro ha lo scopo illustrare lo sviluppo storico delle ricerche e sperimentazioni relative agli aspetti genetici e di miglioramento genetico in Italia relativamente alla douglasia (*Pseudotsuga menziesii*). La sua introduzione nel nostro continente può essere annoverata tra i pochi esempi di successo nell'impiego di specie esotiche in arboricoltura da legno in Europa.

Il genere *Pseudotsuga* ha un areale esteso a tutto il Nord Ovest americano (fig. 1), originatosi dopo la fine del periodo glaciale, che spiega la grande variabilità esistente (Christophe e Birot, 1979; Slavov et al., 2004).

In generale si usa far riferimento a 3 varietà principali di *Pseudotsuga menziesii* (fig. 1): **l**) v. *menziesii*, douglasia verde, originaria delle fasce climatiche costiere più umide; **n**) v. *cesia*, delle fasce climatiche più interne e montane a carattere più continentale, forma tassonomica intermedia tra le altre due; **m**) v. *glauca*, dagli aghi grigio argentati, varietà delle fasce climatiche montane interne e asciutte.

La douglasia è un albero imponente, che può raggiungere, anche nel nostro Paese oltre 60 m di altezza. Ha la corteccia lucida e ricca di tasche resinifere in gioventù, che diviene spessa e di colore grigio-marrone a maturità quando screpola, dando origine a profondi solchi dal fondo color arancio.

\* CREA SEL, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Centro di ricerca per la selvicoltura, Arezzo

\*\* CREA API, Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria, Unità di ricerca di apicoltura e bachicoltura, Bologna

\*\*\* Unione dei Comuni Montani del Casentino, Ponte a Poppi (Arezzo)

\*\*\*\* CNR IBAF, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Biologia Agroambientale e Forestale, Porano (TR)



Fig. 1 Areale di *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco con le aree interessate dalle tre principali varietà, riconoscibili dalla forma degli strobili. Nel riquadro è indicato il percorso delle esplorazioni botaniche di D. Douglas

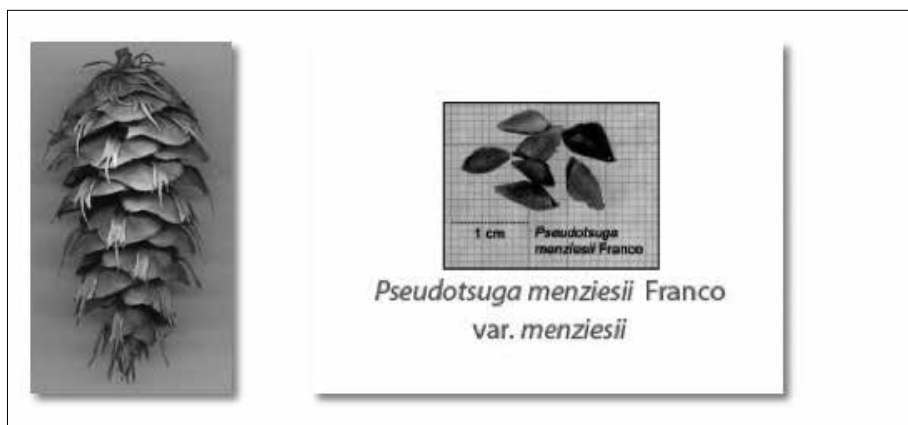


Fig. 2 Strobilo di *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Mirb.) Franco, *douglasia verde* e semi (da Ducci e De Rogatis 2010)

Gli strobili sono rosso-marrone, penduli, lunghi mediamente 10 centimetri, caratterizzati da lunghe brattee trifide che fuoriescono dalle squame. La forma e le dimensioni di queste permettono il riconoscimento delle varietà (fig. 1 e 2).



*David Douglas, botanico al servizio della corona inglese (Scone, Scozia, 25 giugno 1799 – Hawaii, 12 luglio 1834)*



*Archibald Menzies, chirurgo di marina e naturalista scozzese (Weem, Scozia, 15 marzo 1754 – Londra, 15 febbraio 1842)*

*Fig. 3 I due esploratori botanici scozzesi, artefici dell'introduzione della douglasia in Europa*

Gli aghi sono lunghi 2-3 cm molto stretti, non pungenti, hanno fillotassi a spirale sui rami di luce, mentre hanno disposizione pettinata in quelli d'ombra. Schiacciati o stropicciati, emanano, come la resina, un caratteristico profumo di limonene.

Il nome “douglasia” ricorda il botanico scozzese David Douglas, che per primo, nel 1827, ne importò i semi in Europa, mentre quello scientifico celebra un altro scozzese, il chirurgo di marina Archibald Menzies che, al seguito di una spedizione guidata da George Vancouver sulla costa nord-occidentale dell'America, descrisse per la prima volta nel 1791 la specie.

Quando Menzies e Douglas (fig. 3, Mitchell e House, 1999; Whittle, 2015)

1882. Prima introduzione della douglasia nell'arboreto privato "*Pinetum*" di Moncioni (Ar).  
 1908-1913. Prove di introduzione in Chianti (Ar e Si) e in Pratomagno (Fi e Ar).  
 1922-1938. Pavari avvia nuove prove di introduzione in grande stile (98 test in Italia).  
 1958. Pavari e Morandini passano alla fase di selezione di provenienze e avviano studi climatici per scegliere le provenienze da testare nell'Appennino settentrionale.  
 1960-1968. Morandini avvia la selezione fenotipica di piante parentali nelle parcelle di introduzione.  
 1960-1970. Morandini e Tocci iniziano le prime prove di progenie a Faltona (Ar).  
 1969-2016. Morandini, Tocci e Ducci avviano e seguono la sperimentazione italiana del test internazionale IUFRO 1969/1970, coordinata da Barner, a Vallombrosa (Fi), Faltona (Ar) e con IPLA a Millerose (To).  
 2000. Ducci avvia un test di provenienze/progenie Italiane e progenie della provenienza Burnt Wood (Progetto Eudirec, Alpe Catenai, Ar).  
 2009-2016. Ducci e il Gruppo di lavoro CREA SEL iniziano gli studi sull'adattamento delle provenienze di douglasia agli effetti del cambiamento climatico (Progetto Finalizzato MiPAAF RGV FAO, III ciclo e Progetto europeo Trees4Future).

*Box 1 Cronologia delle ricerche e sperimentazioni sulle provenienze di douglasia in Italia*

esplorarono i territori della costa del Pacifico su incarico del loro governo, poterono visitare solo una parte molto ridotta dell'immenso areale della specie (fig. 1). In questa regione ebbero modo di apprezzarne le caratteristiche di accrescimento e la capacità adattativa in ambienti molto simili per clima all'Europa. Come molte altre specie la douglasia fu introdotta nel Regno Unito intorno alla metà dell'800.

Introdotta in Italia nella seconda metà dell'800 in arboreti e collezioni private, se ne apprezzarono da subito le qualità. Le parcelle sperimentali costituite a Vallombrosa (Fi) e nel territorio nazionale, dalla Regia Stazione Sperimentale per la Selvicoltura, dimostrarono da subito il suo elevato interesse produttivo ed economico (Gaeta, 1882, in: Gradi e Perrone, 1983; Ducci e Tocci, 1987). In tutta Europa l'evoluzione di sperimentazioni analoghe è stata rapida e parallela, con frequenti e intensi contatti e collaborazioni a partire dal primo dopoguerra. Nel box 1 se ne riporta una breve sintesi (Pavari, 1958; Pavari e De Philippis, 1958; Morandini, 1958, 1968; Ciancio et al., 1982; Ducci e Tocci, 1987; Ducci et al., 2003).

#### LA SPERIMENTAZIONE IUFRO 1969/70

Il test sperimentale più significativo in Italia è la prova comparativa internazionale "IUFRO 1969/70" in cui sono poste a confronto oltre 80 provenienze dell'areale originario della douglasia e 10 provenienze così dette "artificiali italiane", campionate tra le piantagioni realizzate in varie zone dell'Appennino a matrice silicea, in Toscana e Calabria. Tali siti comparativi, in circa 40 anni di ricerca, hanno fornito risultati molto importanti.

La rete IUFRO fu realizzata dai miglioratori europei alla fine degli anni '60, quando sotto la guida del danese H. Barner e dell'inglese A. Fletcher (Barner, 1973; Fletcher e Barner, 1978), fu effettuato un campionamento sistematico di seme di 128 provenienze rappresentative di tutto l'areale americano.

Furono campionati materiali secondo un gradiente latitudinale, tenendo conto della longitudine di origine, dell'altitudine e della distanza dal mare.

Standardizzati i disegni sperimentali, si procedette alla distribuzione di campioni di seme a tutti i paesi europei con clima omologo a quello dell'areale originario. Ai paesi più settentrionali furono assegnate provenienze del settore centro settentrionale, mentre ai più meridionali furono riservate provenienze delle regioni centro meridionali. Alcune provenienze, definite "provenienze standard", furono condivise tra tutti i paesi, come riferimento per le diverse latitudini e i diversi climi (Ducci e Tocci, 1987).

Il test internazionale, quindi, include principalmente provenienze appartenenti alla douglasia verde, la varietà delle foreste pluviali temperate della costa americana del Pacifico. È importante sottolineare che, oltre alle provenienze "standard" e a quelle di origine settentrionale, solo all'Italia ne furono distribuite altre più continentali, intermedie tra la varietà verde e quella grigia o appartenenti alla varietà grigia, a distribuzione più interna e più adatte ai climi continentali (Ducci e Tocci, 1987). I materiali di questa ultima varietà sembrano apparentemente di scarso interesse per l'impiego pratico in ambienti europei caratterizzati da maggiore "oceanicità". Tuttavia, bisogna sottolineare che costituiscono oggi una risorsa unica in Europa, costituita da campioni statisticamente rappresentativi, di grande valore non solo biologico e botanico e di notevole interesse per lo studio dell'adattamento ai cambiamenti climatici attualmente in corso.

La sperimentazione IUFRO italiana è stata condotta in due località dell'Appennino toscano: Vallombrosa (Fi), Lat. N 43°44', Long. E 12°38', 955 m slm, esposizione Nord-Ovest e Faltona (Ar), Lat. N 43°18', Long. E 11°35', 800 m slm, esposizione Nord-Est.

Vallombrosa è una stazione mediamente più fredda di Faltona di circa 0.7 °C e più piovosa di circa 400 mm anno<sup>-1</sup>. Vallombrosa è quindi una stazione nel complesso a tendenza "oceanica", mentre Faltona ha connotati di maggiore "mediterraneità".

Entrambe sono caratterizzate da suoli bruni forestali originati da arenaria macigno del Pratomagno.

Inizialmente fu coinvolto nella sperimentazione anche l'Istituto per le piante da legno e l'ambiente di Torino (IPLA) per provare 22 provenienze dell'areale più settentrionale, insieme a due locali, scelte come riferimento in aree prealpine a matrice silicea.

State	Site	Survival %	mean mm	p-value (prov effect)	mean nb (prov effect) of tree/prov.	1-1/F prov.	Residual coe of var. %	Residual var.
B	Soy	80	6,4	0	60	0,84	25	2,881
D	Hesbruch		5,2	0	80	0,87	46	5,266
	Segeberg	34	6,9	0	65	0,90	25	2,778
	Osterholz	20	6,5	0	66	0,92	27	3,641
	Bodenkesa		6,6	0	25	0,78	41	5,489
	Katzeneinhöge	22	6,8	0	20	0,61	28	3,097
ES	Bande		4,4	0	160	0,55	56	5,959
	Conforcal		6,0	0	32	0,68	69	7,136
	Ochagavia		8,2	0	200	0,72	22	3,090
F	Mizeralles	91	9,6	0	28	0,93	23	4,337
	Pernuel		7,4	0	25	0,88	25	2,958
	Royère	90	9,5	0	20	0,88	25	4,637
	Reyrol		8,0	0	22	0,61	27	4,730
	Orliens		7,4	0	16	0,47	26	3,654
	Cendrieux		7,7	0	260	0,93	21	2,921
I	Faltona	77	7,1	0	47	0,92	32	3,620
	Vallombrosa	87	6,3	0	49	0,64	23	3,045
PL	Dolce	76	6,3	2	24	0,48	26	2,420
UK	Dean		8,0	0	100	0,84	21	2,925
	Radnor		7,6	8	110	0,44	18	2,622

LOCATION OF IURRO DOUGLAS-FIR PROVENANCE TESTS  
TAKEN INTO ACCOUNT IN THE E.U. PROJECT "EURODEC"



Tab. 1 Percentuale (%) di sopravvivenza e incremento diametrico medio (mean mm) relativamente a 7 paesi e 20 aree sperimentali al 2000 (Heois, 2000; Ducci et al., 2003)

A questo scopo fu scelto il sito di Millerose in provincia di Torino, Lat. 45°05'30", Long. E 7°45'38", 325 m slm, esposto a Nord, con risultati non molto incoraggianti (Ferraris, 1993). Di tutte le 22 provenienze solo 3 erano condivise con gli esperimenti dell'Appennino toscano (1085-Randle, 1090-Cougar e 1091-Yale).

## RISULTATI

### *In Europa*

I risultati da considerare pressoché definitivi consentono di valutare il comportamento della douglasia in Europa in relazione alla sua variabilità genetica e adattativa (Kleinschmit et al., 1974, 1992; Lines e Samuel 1985; Heois, 2000; Ducci et al., 2003).

In queste prove sono stati presi in esame caratteri quantitativi relativi ad accrescimenti, policiclismo, dirittura e angolazione dei rami, presenza di biforcazioni e densità del legno stimata con il metodo del Pylodine (Mäkipää and Linkosalo, 2011). È stata infine calcolata la mortalità quale indice di adattamento.

In questo lavoro, per brevità ci si riferisce solamente a caratteri ritenuti importanti per descrivere le capacità adattativa e produttiva dei materiali: accrescimenti, policiclismo, dirittura del fusto, densità del legno e mortalità. Nei box successivi (alle pp. 152 e 153) sono inoltre anticipati brevemente alcuni risultati relativi a prove condotte con marcatori molecolari per individuare l'origine di alcune provenienze italiane caratterizzate da ottima performance.

Le due stazioni appenniniche, comparate alle altre europee, confermano che le condizioni ecologiche appenniniche sono ottimali per la douglasia. Gli indicatori di performance impiegati in tab. 1, quali la % di sopravvivenza, l'incremento diametrico medio annuo, le varianze residue, hanno valori che collocano le due località tra le migliori per la douglasia in Europa. Considerando il livello di rappresentatività dei campioni nei due esperimenti, stimabile attraverso il numero medio di alberi calcolato per ciascuna provenienza, i dati italiani sono più attendibili di altri apparentemente migliori ma ottenuti con campioni di minori dimensioni.

Le migliori popolazioni, quelle caratterizzate da minore *interazione provenienza x ambiente* in Europa, provengono dalle seguenti aree: Washington Coast, particolarmente 1073-Humtulsips e 1076-Matlok, che si distinguono per la buona forma del fusto; Oregon Coast settentrionale, in cui si distinguono particolarmente le provenienze 1094-Vernonia e 1116-Burnt Woods; Oregon Nord West Coast con 1096-Sandy, buonissima per l'Europa sud occidentale assieme a 1113-Mill City e a 1114-Detroit. La provenienza 1128-Gasquet della costa della California ha dato buone prestazioni in Francia, Spagna e Italia.

### *In Italia*

Nell'Appennino centro settentrionale e in quello Calabrese dove è stata introdotta sin dai primi decenni del '900 da Pavari, la douglasia ha mostrato di adattarsi con successo, con produzioni medie ben superiori a quelle ottenute con le tradizionali piantagioni con specie indigene (Ciancio et al., 1982), caratterizzate solitamente da produttività molto minore sia per quantità che per qualità.

Per brevità, si consiglia di esaminare i dettagli sui materiali e i metodi nei lavori di Ducci e Tocci (1987), Heois (2000), Ducci et al. (2003) e Ducci e De Rogatis (2010).

Si noti che la significatività di questi risultati posa sulla registrazione di dati raccolti su 11.000 alberi e un disegno sperimentale che prevede parcelle unitarie di 25 piante, per 3 blocchi randomizzati per ciascuna delle 90 provenienze, in ciascuna località.

### LA SPERIMENTAZIONE IUFRO 1969/70

#### *Vallombrosa (Fi); Faltona (Ar)*

Buono è stato il comportamento del materiale introdotto dalle zone costiere

Provenance regions compared by the Duncan's test (lines include values not significantly different) for the test traits in Vallombrosa (site: Pozzacce).

List of Regions:	DBH cm			G/Free Sqcm			Straight. Scoring			Policycl. cm		
	Region N.	Mean	SD	Region N.	Mean	SD	Region N.	Mean	SD	Region N.	Mean	SD
1. Vancouver	13	7,22	7,50	13	84,19	105,17	13	1,28	0,51	3	9,54	3,27
2. Olympic	3	10,74	5,09	3	109,76	76,97	4	1,68	0,90	2	10,01	3,12
3. British Columbia	4	13,11	8,25	4	186,56	168,51	15	1,98	1,33	4	10,27	3,03
4. Cascade N.	2	13,63	7,55	2	193,28	156,87	7	2,07	1,08	7	10,58	3,24
5. Will. vall.	1	14,30	7,94	1	208,43	158,01	1	2,19	1,19	6	10,96	3,98
6. Cascade C.	15	14,82	8,20	15	223,47	167,28	6	2,23	1,18	15	11,14	3,75
7. Coast R. N.	8	15,47	7,34	8	228,49	165,59	2	2,24	1,18	10	11,43	3,71
8. Will. Vall. S.	10	15,57	7,76	6	233,85	160,21	8	2,40	1,19	8	12,18	4,25
9. Coast R. C.	6	15,61	7,51	10	236,00	170,46	3	2,44	1,14	13	12,24	4,96
10. Coast R. S.	5	15,87	8,23	7	237,79	152,25	5	2,51	1,27	9	12,29	3,77
13. Mexico	7	15,93	7,16	5	249,04	167,70	9	2,58	1,25	1	12,68	4,14
15. Artif. Italian	9	16,19	8,51	9	314,08	212,23	10	2,71	1,21	5	13,31	4,67
Average	15,02	7,96		Average	225,31	168,83	Average	2,29	1,22	Average	11,44	3,91

Tab. 2 Valori medi in ranghi ottenuti a Vallombrosa (Fi), parcelle in loc. Pozzacce, all'età di 24 anni per diametri a petto d'uomo (DBH), area basimetrica (G), dirittezza del fusto (Straight. Scoring) e policiclisto (Policycl.). Sono riportate in corsivo le rispettive deviazioni standard (SD) e i risultati delle comparazioni multiple tra grandi regioni di provenienza (Duncan's test) [tabella riportata da Ducci et al., 2003]

di bassa quota di Oregon e California settentrionale e di alta quota della California meridionale. Si è evidenziata in questo esperimento la grande variabilità fenotipica e adattativa della specie, tuttavia sul piano strettamente applicativo è stato importante osservare il comportamento superiore di alcune provenienze italiane di seconda generazione.

In tabella 2, per il test di Vallombrosa, sono riportati in sintesi i risultati del confronto multiplo tra medie delle grandi regioni di provenienza (Ducci et al., 2003). Il materiale risultato migliore e più adattabile fa capo a tre grandi regioni americane (circa 10 provenienze originarie) e soprattutto alle "artificiali italiane".

Il gruppo italiano non appare nella statistica per regioni (tab. 2) tra le migliori, perché in realtà solo due sono le provenienze ottime, I15-Mercurella e I11-Acquerino, mentre le altre sono relativamente mediocri, soprattutto I4-Cohailla, una provenienza messicana commerciale.

Il *policiclisto* è stato esaminato perché considerato un carattere con significato adattativo. Le piante policicliche possono produrre più cicli vegetativi durante la stessa stagione, secondo la disponibilità idrica estiva. Nel caso delle nostre provenienze sembrerebbe legata all'origine geografica e alla maggiore affinità ad ambienti con regime di tipo mediterraneo caratterizzati da una ripresa delle precipitazioni a metà estate. Sembra che in seguito al riscaldamento globale e all'inaridimento questa caratteristica adattativa vada riducendosi in varie specie (Girard et al., 2011).



PROVENIENZA	DIAM 130 CM A 24 ANNI FALTONA	DIAM 130 CM A 24 ANNI VALLOMBROSA	DIAM 130 CM A 10 ANNI- FALTONA	DIAM 130 CM A 10 ANNI VALLOMBROSA	POLICICLISMO A FALTONA	POLICICLISMO A VALLOMBROSA	DRITTEZZA A FALTONA	DRITTEZZA A VALLOMBROSA	PRECOCITÀ	DENSITÀ BASALE LEGNO (PYLODINE)
I4	0,21	0,04	0,16	0,07	0,25	0,26	0,07	0,18	-	0,41
I6	0,50	0,57	0,92	0,54	0,79	0,59	0,21	0,29	0,20	0,84
I9	0,11	0,50	0,48	0,46	0,68	0,41	0,79	0,93	0,84	0,65
I10	0,29	0,86	0,60	0,79	0,96	0,56	0,75	0,07	0,53	0,46
I11	0,89	0,75	1,00	0,96	0,11	0,74	0,64	0,54	0,11	0,54
I12	0,61	0,18	0,52	0,50	0,86	0,63	0,54	0,21	0,76	0,24
I13	0,46	0,32		0,64	0,57	0,81	0,68	0,39	0,23	0,57
1028	0,04	0,11	0,08	0,04	0,21	0,04	0,11	0,79	0,63	
1031	0,39	0,46	0,20	0,29	0,29	0,67	0,18	0,61	0,13	
1042	0,71	0,39	0,44	0,36	0,54	1,00	0,61	0,50	0,45	0,73
1050	0,36	0,43		0,57	0,93	0,37	0,32	0,14	0,88	0,76
1078	0,57	0,14		0,14	0,04	0,30	0,93	0,46	0,75	
1080	0,68	0,96	0,36	0,86	0,64	0,89	0,50	0,57	0,55	0,27
1081	0,75	0,21	0,40	0,43	0,43	0,11	0,71	0,68	0,52	0,11
1091	0,18	0,93	0,04	0,93	0,07	0,48	0,25	0,36	0,16	
1094	0,82	0,82	0,72	0,82	0,50	0,19	0,57	0,32	0,09	0,14
1096	0,96	0,61	0,84	1,00	0,89	0,52	0,36	0,25	0,24	0,08
1103	0,79	0,29	0,64	0,89	0,75	0,22	0,14	0,11	0,43	0,59
1104	1,00	0,68	0,96	0,68	0,82	0,44	0,29	0,43	0,48	0,49
1114	0,64	1,00	0,80	0,39	0,71	0,70	0,39	0,71	0,64	0,35
1117	0,07	0,36		0,25	0,14	0,07	0,43	0,86	0,27	0,95
1131	0,32	0,25	0,28	0,75	0,46	0,33	0,96	0,64	0,68	0,43
1137	0,86	0,71	0,56	0,71	0,32	0,78	0,86	0,89	0,49	0,38
1138	0,93	0,89	0,24	0,32	0,18	0,85	1,00	0,82	0,51	0,65
1140	0,54	0,79	0,84	0,61	0,36	0,96	0,46	0,96	0,47	0,30
1141	0,14	0,57	0,32	0,21	0,61	0,93	0,89	1,00	0,87	0,70
1142	0,43	0,54		0,18	0,39	0,15	0,82	0,75	0,77	0,19
1151	0,25	0,07	0,12	0,11	1,00	0,96	0,04	0,04	0,21	0,03

Tab. 3 *Indice di performance stimato per provenienze comuni a entrambi i siti di Faltona e Vallombrosa, per i principali caratteri osservati. I valori relativi a diametri si riferiscono a rilievi effettuati a 24 e 10 anni di età. Per l'indice di performance vedere nota 1 alla pagina successiva [tabella riportata da Ducci et al., 2003]*

### *Valutazione del comportamento delle provenienze*

Al di là della produzione legnosa, è molto importante avere un'idea della capa-

cità dei materiali di mostrare un comportamento stabile nello spazio (confronto tra siti sperimentali) e, se possibile, anche nel tempo (confronto tra anni di rilievo). Per comparare quindi il comportamento delle diverse provenienze presenti in entrambi i siti, è stato adottato un indice di performance<sup>1</sup> molto semplice, che desse idea del comportamento almeno per alcuni caratteri.

*Diametri.* I materiali più stabili e performanti appartengono alle provenienze 1138-Arcata, 1137-Burney, 1094-Vernonia e I11-Acquerino (tab. 3). Quest'ultima provenienza ha mostrato stabilità nel tempo per i diametri in confronto alla prima campagna di rilievi a Faltona e Vallombrosa (Ducci e Tocci, 1987). La stessa stabilità è stata dimostrata dalla provenienza 1094-Vernonia come pure da 1096-Sandy. Rispetto alle relazioni di Schermann (1999) e Heois (2000), queste hanno confermato la loro forte stabilità di crescita in 3 altri siti europei.

Non sono stati osservati cambiamenti significativi in questo periodo di osservazioni nel comportamento delle singole provenienze da un sito all'altro, tranne che per la 1140-Arcata. Questa provenienza è stata rilevata tra le migliori in Faltona nel 1985, mentre ha invertito posizione nei ranghi a Vallombrosa successivamente.

In generale, la maggior parte delle provenienze dimostratesi stabili per la crescita in un sito, lo sono ovunque, sia per quanto riguarda le prestazioni migliori che per le peggiori (es. per le peggiori: I4-Coahilla-Messico [semi commerciali]), 1151-Salttillo [*P. flabaultii*], 1131-Scott Bar, 1117-Marion Forks, 1028-Marritt).

Rispetto ai risultati ottenuti da Morandini (1968) su 11 provenienze di Oregon e Washington, va notato che 1088-Castle Rock e 1096-Vernonia sono confermate come fonti di semi di qualità.

La provenienza I11-Acquerino ha mostrato una buona stabilità nello spazio e nel tempo.

Anche altre provenienze, provate in un solo sito, dovrebbero essere prese in considerazione. Si tratta delle provenienze 1149-Lower Lake e 1128-Gasquet che hanno mostrato un buon comportamento nell'esperimento di Vallombrosa. A Faltona, la provenienza I15-Mercurella è la migliore per l'elevata produttività, l'ottima qualità dei fusti e la bassa mortalità. Altre provenienze

<sup>1</sup> *Indice di performance:* il rapporto tra la posizione nei ranghi di ogni provenienza e il numero totale di provenienze registrate.

PROVENIENZA	DIAMETRO MEDIO CM	G/ALBERO CM <sup>2</sup>	VARIANZA	% DI G DOMINATA	QUALITÀ DEL FUSTO	VARIANZA	% FREQUENZA DI PIANTE CON BIFORCAZIONI	% MORTALITÀ
1138	21	280.6	49433.7	9	3.9	0.10	0	20.0
1094	22	283.1	54401.1	12	2.9	1.74	7.5	0.70
115	22	300.0	54468.0	23	3.3	1.76	1.4	8.0
1137	21	302.9	63053.3	18	3.2	1.50	4.5	12.0
1080	20	310.3	4419.5	17	2.8	1.80	10.0	20.0
1096	22	310.8	68814.6	16	2.6	1.50	8.06	17.3
1103	20	310.9	40703.8	9	2.1	1.36	8.9	24.0
1081	20	319.9	53006.8	11	3.0	2.01	2.4	16.0
111	21	320.8	38300.7	11	3.0	1.47	4.3	20.0
1104	23	351.1	66663.2	6	2.5	1.46	10.5	24.0
Aver.	18.6	239.7	37359.7		2.7	1.54	8.51	28.2

Tab. 4a *Prova internazionale IUFRO 1969/70 a Faltona (Arezzo - Toscana, Italia) a 24 anni. Le migliori provenienze sono classificate per G/albero (G: area basimetrica), nessuna differenza significativa è stata trovata tra queste migliori provenienze per questa caratteristica. I loro valori sono maggiori dal 17 al 46% rispetto alla media dell'esperimento*

da prendere in considerazione come fonte di materiale di propagazione sono la 1104-Brookings e la 1114-Detroit.

Le provenienze standard di Barner, 1028-Marritt, 1078-Cle Elum, 1081-Alder Lake, 1102-Upper Soda e 1104-Brookings, stabili durante i primi 12 anni dalla piantagione (Ducci e Tocci, 1987), hanno conservato la loro posizione nei ranghi anche in età adulta.

A Faltona, dove lo sviluppo delle piante è stato più rapido, in alcune provenienze la competizione tra piante è evidente, mentre in altre è ridotta o assente (tab. 4a). Le percentuali stimate di area basimetrica prodotta dalle piante dominate mostrano differenze tra provenienze (tab. 4a) e tra regioni di provenienza per questo carattere (tab. 4b).

Ciò significa che, a parità di distanza tra piante, alcune provenienze concentrano la biomassa su pochi grandi alberi dominanti, mentre altre la ripartiscono tra un numero maggiore di alberi di dimensioni simili. In generale, queste provenienze sono caratterizzate da minore mortalità. I materiali provenienti dalla Coast Range (USA) e dalla Calabria in media hanno mostrato percentuali più basse di area basimetrica dominata.

Le migliori provenienze per l'Italia non differiscono in modo significativo

REGIONE DI PROVENIENZA	DIAMETRO MEDIO CM	G/ALBERO CM <sup>2</sup>	VARIANZA	% DI G DOMINATA	QUALITÀ DEL FUSTO	VARIANZA	% DI PIANTE BIFORCATE	LIVELLO DI SIGNIFICATIVITÀ DELLE % DI MORTALITÀ (DUNCAN'S TEST)
Colorado	11	99.9	11043.3	67	1.9	1.4	60.7	A
British C. S.	16	182.1	14959.8	39	1.9	1.5	22.5	B
Mexico	19	216.8	28348.7	25	1.8	1.3	56.8	BC
N.Mex.	18	224.5	30692.9	23	2.1	1.4	36.7	BC
Cascade S	20	253.7	42743.7	21	2.6	1.7	14.5	CD
Toscana (I11)	18	254.2	31553.7	18	2.9	1.7	7.2	CD
California	20	256.1	40219.5	18	3.1	1.4	15.2	CD
Willamette	19	264.7	39562.6	17	2.7	1.8	11.0	CD
Vancouver	20	278.1	36285.1	19	2.8	1.5	20.0	CD
Cascade Wash.	20	278.4	32704.0	18	2.9	1.6	12.2	CD
Calabria (I15)	22	299.7	54468.9	10	3.3	1.1	6.7	D
Coast Range	21	307.1	51517.4	10	2.5	1.6	21.6	D
Cascade Centr.	20	310.3	44019.5	17	2.8	1.8	20.0	D
Average	18.6	239.7	37288.6		2.7	1.7	28.2	

Tab. 4b *Graduatoria delle grandi regioni di provenienza per G/albero (Sito: Faltona, Ar)*

per quanto riguarda l'area basimetrica (tab. 4a) e hanno mostrato valori relativamente bassi, tra il 6 e il 23%, di G dominata.

Provenienze caratterizzate da bassa competizione interna potrebbero essere utili per la produzione di lotti omogenei per meglio ripartire i costi di utilizzazione. Provenienze caratterizzate da alberi dominanti potrebbero invece fornire fenotipi superiori da destinare al miglioramento genetico o all'arboricoltura da legno intensiva (De Rogatis e Ducci, 1984).

*Policiclismo.* Questo carattere, correlato a fattori adattativi, varia in relazione alle caratteristiche climatiche dei due siti. Solo le provenienze 1114-Detroit e 1151-*P. flauhaultii* hanno mostrato evidente bassa *interazione genotipo x ambiente*.

Complessivamente le provenienze costiere e meridionali di possibile impiego nel nostro Paese sono tendenzialmente policicliche. Le "artificiali italiane" sono tutte policicliche in entrambi i siti, a eccezione di I4-

Coahilla. I valori più marcati sono stati rilevati nella stazione più arida di Faltona. La provenienza I11-Acquerino è l'unica ad aver mostrato *interazione genotipo x ambiente* con policiclismo più marcato a Vallombrosa. La provenienza di origine più meridionale, la 1151-*P. flauhaltii* è in assoluto la più policiclica.

*Dirittezza del fusto.* La dirittezza del fusto è nel nostro ambiente parzialmente correlata ad accrescimenti ridotti. È quindi necessario individuare provenienze a fusto dritto ma con accrescimenti sostenuti. Provenienze inizialmente individuate (10 anni di età) con queste caratteristiche sono state: 1138-Arcata 1, 1137-Burney, 1080-Yelm, 1081-Alder Lake, 1140-Arcata 2 e I9.

Rispetto ai risultati del 1985 (Ducci e Tocci, 1987), la graduatoria dei migliori materiali dopo i rilievi effettuati a 24 anni (Ducci et al., 2003) deve essere parzialmente modificata, a dimostrazione che le sperimentazioni di breve durata (circa dieci anni), su fasi precoci, non sono sempre del tutto affidabili (Kleinschmit et al., 1974; Nanson, 1973; Kleinschmit e Bastien, 1992; Rozemberg, 1993). Questo è probabilmente determinato dal variare dei parametri di plasticità fenotipica nei differenti stadi di sviluppo delle piante (Chambel et al., 2005). Per questo carattere sono rimaste stabili nel tempo: 1138-Arcata 1, 1137-Burney, 1080-Yelm, 1094-Vernonia e parzialmente 1096-Sandy e I9.

*Fenologia.* Ducci e Tocci (1987) hanno preso in considerazione anche la variabilità del germogliamento primaverile di tutte le provenienze, comparandone precocità/tardività sia in piantagione che in condizioni controllate, in serra. Pur con alcune eccezioni in così elevato numero di popolazioni, è stato osservato un chiaro gradiente latitudinale e parzialmente altitudinale del comportamento in relazione all'origine geografica.

La precocità delle provenienze più settentrionali è inversamente correlata alla latitudine di origine, mentre nelle provenienze più meridionali, quelle che interessano il nostro Paese, è necessario considerare anche una componente legata all'altitudine di origine. Studi analoghi condotti per la Francia da Michaud (1979) avevano già evidenziato questa tendenza.

Le provenienze migliori per l'Italia per produttività sono tutte caratterizzate da un comportamento fenologico tendenzialmente tardivo che, in ambiente mediterraneo, consente loro di evitare il pericolo delle gelate primaverili.

Le provenienze I11 e I15 sono tardive mentre le italiane risultate mediocri per qualità e produzione sono anche le più precoci.

*Densità basale del legno.* Per quanto sia un metodo relativamente speditivo e non estremamente preciso, la densità basale misurata con Pilodyn, viene accettata dai miglioratori di alberi forestali come una stima della caratteristiche di densità del legno. Non si può affermare per questo carattere un *trend* geografico, ma si possono piuttosto osservare singole provenienze con valori elevati. In generale i materiali a crescita più rapida e più tardivi, quindi con stagione vegetativa più corta, sono caratterizzati da bassi valori di densità del legno. È da valutare se questo carattere sia negativo per le trasformazioni tecnologiche a elevato valore di trasformazione. Solo la provenienza meridionale 1138-Arcata 1 ha un indice di performance elevato per la densità basale (0,68).

#### *Millerose (To)* (Ferraris, 1993)

In questa prova comparativa, sita nella zona prealpina occidentale, gelo e forte competizione inter- e intra-provenienze hanno determinato forti perdite sin dalle prime fasi, nonostante i ripetuti risarcimenti. La mortalità a 22 anni è variata tra 53 e il 93%, comprese le sostituzioni effettuate nei primi anni. Solo le due provenienze italiane pre-alpine (Vellate e Quasso al Monte, Varese, Lombardia) hanno mostrato una minore mortalità (rispettivamente 7% e 40%).

L'esperimento, anche se limitato a un solo sito, ha mostrato i limiti per la diffusione della douglasia in quella regione, essendo infatti troppo sensibile alle gelate tardive e alle inversioni termiche. Rispetto ai risultati ottenuti in Toscana alla stessa età, il generale andamento di tutte le provenienze è stato davvero scadente.

Le provenienze comuni con i siti toscani hanno mostrato livelli di plasticità fenotipica elevati. La 1091 pressoché scomparsa a Millerose (80% di mortalità) ha invece avuto le migliori performance di crescita a Vallombrosa. La 1085, risultata tra le migliori in Vallombrosa, in Millerose è invece tra le peggiori. Purtroppo, nessuna delle provenienze standard fissate da Barner è presente in Millerose.

#### RISULTATI FINALI DELLE PROVE COMPARATIVE

I risultati illustrati indicano che le regioni dell'areale americano che esprimono le migliori provenienze sono le seguenti (fig. 4a):

- Cascade Range: 1080-Yelm, 1096-Sandy, 1114-Detroit (elevati accrescimenti, policiclismo stabile, dirittezza buona, mediamente tardive, bassa densità basale).

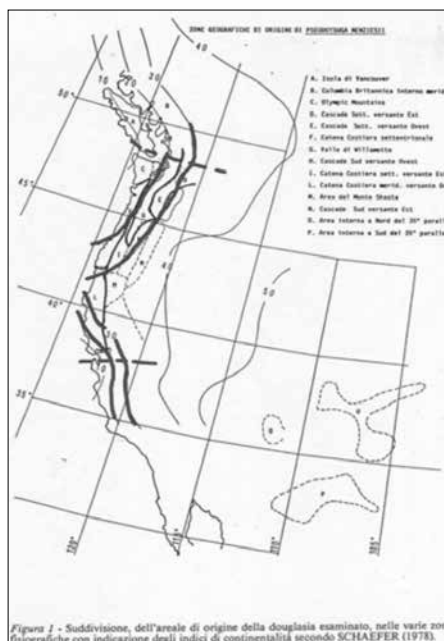


Fig. 4a Le migliori provenienze per l'Italia provengono da aree in cui l'“Indice di continentalità” è compreso tra 20 e 30 (modificato da Ducci e Tocci, 1987)

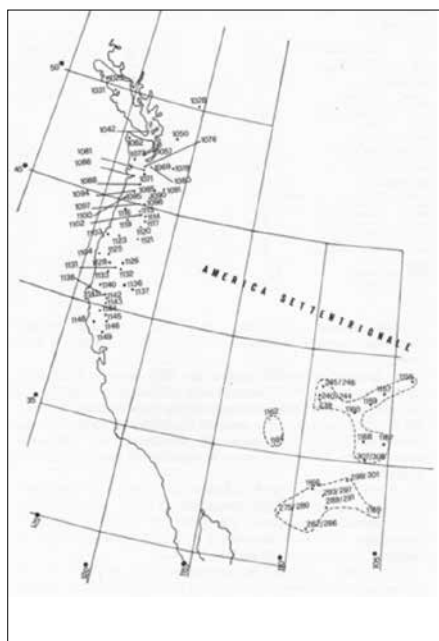


Fig. 4b Collocazione geografica delle provenienze impiegate nelle prove comparative italiane (modificato da Ducci e Tocci, 1987)

- Northern Coast Range: 1094-Vernonia, 1104-Brookings (elevati accrescimenti, policicliche in situazioni mediterranee, dirittezza mediocre, tardive, densità basale bassa).
- Southern Coast Range: 1137-Burney, 1138-Arcata 1; 1128-Gasquet, 1149-Lower Lake (accrescimenti medio alti, policiclismo elevato in situazioni umide, ottima dirittezza, precoci, densità basale medio alta).

“Artificiali italiane”:

- *Appennino settentrionale*, I11-Acquerino (accrescimenti superiori, policiclismo elevato in situazioni umide, buona dirittezza, tardiva, densità basale media).
- *Calabria*, I15-Mercurella (accrescimenti alti, policiclismo elevato in situazioni umide, ottima dirittezza).

I materiali americani provengono da aree climatiche caratterizzate da indici di continentalità (fig. 4a e 4b) compresi tra 20 e 30 su una scala di 50 (Ducci e Tocci, 1987).

*Materiali:* nei test comparativi di Vallombrosa (Fi) e Faltona (Ar) sono state individuate alcune provenienze rappresentative di diverse regioni dell'areale di origine:

- *Cascade Range* (Washington - Oregon, basse quote): 1080-Yelm, 1096-Sandy;
- *Northern Coast Range* (Oregon – California basse quote, vicino all'Oceano): 1094-Vernonia, 1104-Brookings;
- *Southern Coast Range* (California, alte quote): 1137-Burney;
- *New Mexico*: 1167-Taos;
- *Italia: Appennino settentrionale*, I11-Acquerino; *Calabria*, I15-Mercurella. Sono queste le due migliori provenienze, di cui si deve stimare l'origine e soprattutto verificarne il livello di variabilità interna.

*Metodi:* da 30 piante circa di ciascuna provenienza sono stati prelevati campioni legnosi e del cambio per estrarre il DNA per le analisi molecolari, non essendo stato possibile raggiungere le chiome a causa dell'altezza eccessiva.

È stato messo a punto un protocollo di estrazione del DNA dal cambio in micro-carote legnose prelevate all'inizio della stagione vegetativa. Sono stati messi a punto protocolli di amplificazione in PCR per i 7 *loci* scelti in letteratura (PmOSU2C3, PmOSU3D5, PmOSU 783, PmOSU2G12, PmOSU3B2, PmOSU4A7, PmOSU1F9) e messi a confronto con profili touch down (Slavov et al., 2004; Williams and Otvos, 2005).

*Risultati:* è stato individuato il luogo di origine del bosco da seme di Acquerino (I11), lo stesso della provenienza 1094-Vernonia. La collocazione della provenienza I15-Mercurella è risultata meno chiara, anche se nel dendrogramma si colloca tra i materiali provenienti da Oregon e Washington (Krutovsky et al., 2009).

*Box 2 Saggio preliminare per l'identificazione dell'origine probabile di provenienze italiane (dati in corso di pubblicazione)*

## RICERCHE IN CORSO

Sono in corso ricerche preliminari sulla individuazione dell'origine delle migliori provenienze italiane e sulla variabilità del comportamento adattativo in relazione agli effetti dei cambiamenti climatici. Se ne anticipano nei box 2 e 3 alcuni risultati, ritenendo utile condividerli.

## CONCLUSIONI

Le analisi genetiche hanno permesso di risalire alle probabili aree di origine dei due boschi da seme italiani di Acquerino e Mercurella, che coincidono con aree di origine già dimostrate buone fonti di approvvigionamento nelle sperimentazioni condotte in Italia (Morandini, 1968; Ducci e Tocci, 1987; Ducci et al., 2003). Mentre per Acquerino è certa la coincidenza con le popolazioni originarie di Vernonia (area di raccolta americana n. 452), per Mercurella si identifica una zona di origine più ampia, compresa tra la parte meridionale dello stato di Washington e quella settentrionale dell'Oregon.



Si è avviato lo studio della variabilità dell'efficienza di uso idrico (WUE) inter e intra popolazioni, ritenuta parametro adattativo a condizioni climatiche di aridità crescente. Sulla base della relazione inversa tra WUE e la discriminazione isotopica del carbonio ( $\Delta^{13}\text{C}$ ) (Brugnoli and Farquhar, 2000; Lauteri et al., 2004; Ripullone et al., 2004), sono state eseguite analisi dendro-isotopiche su cronologie di anelli legnosi. In annate estreme per temperatura media e precipitazioni, comparando le variazioni di  $\Delta^{13}\text{C}$  con quelle di accrescimento annuale del legno, si è osservato che:

– le provenienze I11 e 1094, origine Vernonia, rispondono a una riduzione delle precipitazioni (anni target 1985; 2003; 2005; 2007) con un immediato aumento di WUE, a discapito dell'accrescimento annuale. Tale comportamento sembra tendenzialmente mantenersi nei 2-3 anni successivi ad un evento estremo.

– La provenienza 1104-Brookings, ha una reazione simile, ma sembra risentire delle condizioni di stress solamente nell'anno successivo all'evento estremo.

In sintesi nelle due distinte località:

Vallombrosa	Faltona
I-11 e 1094: trend decrescente di $\Delta^{13}\text{C}$ , associabile a incremento dell'efficienza di uso idrico (WUE) in relazione alla riduzione di precipitazioni, all'incremento delle temperature e a competizione. Maggior mortalità.	Nelle fasi giovanili le provenienze esaminate mostrano un $\Delta^{13}\text{C}$ più basso, quindi una maggiore WUE. Questo fenomeno può essere spiegato da una maggiore sensibilità giovanile alle condizioni relativamente più asciutte a Faltona.
1104 (provenienza standard di Barner): reagisce velocemente alle variazioni climatiche né sembra risentire della competizione tra piante adulte dovuta alla eccessiva densità. Minor mortalità.	Negli anni successivi queste differenze tendono ad annullarsi, evidenziando un comportamento simile in entrambe le provenienze in fase adulta, in particolare dopo un diradamento e conseguente riduzione della competizione. Questo probabilmente ha compensato in parte lo stress indotto dalle variazioni climatiche del sito.
Tutte, in fase giovanile, non mostrano particolari differenze di $\Delta^{13}\text{C}$ (variazioni minori di 1‰), facendo ipotizzare in quello stadio condizioni stazionali favorevoli di crescita per le tre provenienze.	I-11/1094: maggiore sensibilità giovanile a condizioni relativamente più asciutte. Maggior mortalità.
	1104 (provenienza standard di Barner): mostra una variazione minore di $\Delta^{13}\text{C}$ , suggerendo una maggiore capacità adattativa a condizioni più asciutte. Minor mortalità.

Box 3 *Saggio preliminare sulla capacità adattativa. Primi risultati ottenuti da analisi dendro-isotopiche su anelli legnosi (dati in corso di pubblicazione)*

Per garantire una miglior adattabilità e per semplificare la gestione nella filiera vivaistica, è consigliato utilizzare materiali a bassa interazione *genotipo x ambiente*. A causa dei prezzi elevati e di difficoltà nell'approvvigionamento di seme dai siti di origine, è possibile impiegare sementi "di seconda generazione", raccolte dai boschi da seme nazionali che hanno dimostrato, analogamente ad altri paesi europei, performance migliori. Questi soprassuoli da seme possono produrre piantine di qualità superiore rispetto alle popolazioni americane originali, perché hanno probabilmente subito fenomeni di adattamento e selezione spontanea dopo la loro introduzione.

Non esistono *arboreti da seme* in Italia per due motivi principali: da un lato l'esigua superficie coltivata a douglasia che non ha giustificato sino a oggi

i costi di gestione di arboreti da seme, dall'altro, la necessità di disporre di una base genetica sufficientemente ampia per garantire variabilità e adattabilità a piantagioni realizzate generalmente in situazioni ambientali difficili e variegate. Solo a Faltona in Casentino (Ar) esiste una prova comparativa di discendenze, che CREA SEL ha proposto alla Regione Toscana per l'iscrizione nel registro regionale dei materiali di base come arboreto da seme. Si tratta di una prova di discendenze di fenotipi superiori selezionati da Morandini (1968) nelle douglasiete della Toscana.

La superficie coltivata a douglasia in Italia potrebbe essere estesa a circa 100.000 ettari, secondo i suggerimenti di Bernetti (1998) per incrementare la produzione legnosa in arboricoltura intensiva di montagna. Questo possibile ampliamento può essere ottenuto sia sfruttando la capacità a rinnovarsi spontaneamente delle douglasiete, sia ricorrendo alle tradizionali tecniche di rinnovazione artificiale posticipata. In quest'ultimo caso sarà necessario approvvigionarsi di materiali di riproduzione con caratteristiche adeguate dal punto di vista genetico, fenotipico e adattativo.

In anni recenti, in seguito alla contrazione della produzione vivaistica nazionale, si è fatto ricorso frequentemente a materiali acquistati in altri paesi europei, in genere Francia o Germania. L'impiego di semi raccolti da arboreti da seme francesi o tedeschi è permesso dalla direttiva europea 1999/105/CE, essendo materiali certificati. È tuttavia necessario verificare con attenzione le rispettive condizioni ambientali del luogo di origine e del sito di introduzione. Infatti, trattandosi di materiali selezionati per climi di tipo essenzialmente oceanico, se utilizzati in Italia, essi verrebbero introdotti in aree a regime mediterraneo, caratterizzate da siccità estive e frequenza di gelate tardive. Fenomeni che con gli effetti del *global change* stanno incrementando in frequenza e intensità.

Sulla base dei risultati si possono trarre alcune indicazioni importanti per la gestione dei materiali in relazione agli squilibri connessi agli effetti dei cambiamenti climatici. La variabilità presente nell'areale naturale sembra garantire un elevato potenziale adattativo per indirizzare la specie verso nuovi equilibri.

La strutturazione della douglasia in relazione alle caratteristiche del suo areale e ai gradienti climatici connessi (temperature minime invernali e continentalità dei climi di origine) permetterà di adattare la specie ai cambiamenti anche in Europa e consentirà di sviluppare strategie adattative per l'arboricoltura da legno per i prossimi decenni.

Le popolazioni da seme più adatte a climi futuri sono allo stato attuali quelle di basse quote e più meridionali. I materiali disponibili in Italia

sembrano già predisposti a ben reagire essendo infatti ben adattate al regime pluvio-termico mediterraneo.

#### RIASSUNTO

Il genere *Pseudotsuga* ha un areale esteso a tutto il Nord Ovest americano caratterizzato da grande variabilità ambientale. Si riconoscono 3 varietà principali di douglasia, differenziatesi in relazione a diversi gradi di continentalità del clima: *Pseudotsuga menziesii* a) v. *menziesii*; b) v. *cesia*; c) v. *glauca*. Sperimentazioni condotte per oltre 70 anni nel nostro Paese, hanno evidenziato che la douglasia verde (*P. menziesii* var. *menziesii*) ha fornito i migliori risultati per le aree appenniniche a matrice silicea e che le provenienze migliori sono quelle originarie delle zone costiere di bassa quota dell'Oregon, della California settentrionale e di alta quota della California meridionale. Va sottolineato però, come le provenienze cosiddette "italiane" di seconda generazione, Mercurella (Calabria) e Acquerino (Appennino toso-emiliano), introdotte da Pavari negli anni '20, siano superiori a tutte per produttività e capacità adattativa. Questi risultati sono confermati dalle sperimentazioni di Morandini degli anni '50/'60 e dalla sperimentazione internazionale IUFRO 1969/70. Il rapido evolversi dei cambiamenti climatici e i loro effetti rendono tuttavia necessario continuare gli studi per monitorare la capacità adattativa delle migliori popolazioni.

#### ABSTRACT

*Management of genetic resources of Douglas fir in Italy in relation to global change scenarios.* *Pseudotsuga* has a range extended throughout the North-western America, characterized by great environmental and genetic variability. Three main varieties, adapted to different values of continentality are recognized: *Pseudotsuga menziesii* a) v. *menziesii*; b) v. *cesia*, c) v. *glauca*. For our Country the green Douglas fir (*P. menziesii* var. *menziesii*) has provided the best results for siliceous Apennine areas. The experimental network IUFRO 1969/70 has highlighted for Italy the coastal areas of low altitude of Oregon and northern California and high altitude of southern California as sources of reproductive material. It should be stressed that Mercurella (Calabria) and Acquerino (Tuscan-Emilian Apennines), the so-called "second-generation Italian provenances" introduced by Pavari in the '20s, have proved for quality and adaptation. These results are partially similar to those obtained by Morandini on late '60s with provenances from Oregon and Washington. The rapid evolution of climate change and their effects make it necessary to initiate studies related to adaptive and genetic monitoring of the best populations.

#### BIBLIOGRAFIA

BARNER H. (1973): *Procurement of Douglas-Fir seed for provenance research*, Proc. of IUFRO Meeting Working Party on Douglas-Fir provenances, Göttingen, pp. 82-89.

- BERNETTI G. (1998): *Selvicoltura speciale*, Utet, Torino, pp. 279-284.
- BRUGNOLI E., FARQUHAR G. D. (2000): *Photosynthetic fractionation of carbon isotopes*. In *Photosynthesis: Physiology and Metabolism* (Advances in Photosynthesis, vol 9). Eds. R.C. Leegood, T.D. Sharkey and S. von Caemmerer. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 399-434.
- CHAMBEL M.R., CLIMENT J., ALÍA R., VALLADARES F. (2005): *Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species*, «Invest Agrar: Sist Recur For», 14 (3), pp. 334-344.
- CHRISTOPHE C., BIROT Y. (1979): *Genetic variation within and between populations of Douglas-Fir*, «Silvae Genetica», 28, pp. 5-6.
- CIANCIO O., MERCURIO R., NOCENTINI S. (1982): *Le specie forestali esotiche nella selvicoltura italiana*, «Ann. Ist. Sper. Selv.», Arezzo, vol. XII-XIII, pp. 330-491.
- DE ROGATIS A., DUCCI F. (1984): *Ricerche sulla produttività della Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco della Toscana in una ipotesi di diradamento celeroincrementale*, «Ann. Ist. Sper. Selvicoltura», Arezzo, XV, pp. 235-264.
- DUCCI F., DE ROGATIS A., [a cura di] (2010): *Risorse Genetiche Forestali in Italia*, CRA - Centro Ric. Selv., Prg. MiPAAF RGV/FAO, Arezzo: pp. 180, ISBN 978-88-901923-3-3.
- DUCCI F., HEOS B., DE ROGATIS A., PROIETTI R. (2003): *Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco, 1969/1970 IUFRO Field experiment results in Europe and Italy*, SiseF, Atti 4, pp. 101-109.
- DUCCI F., TOCCI A. (1987): *Primi risultati della sperimentazione IUFRO 1969- 1970 su Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco nell'Appennino centro-settentrionale*, «Ann. Ist. Sper. Selv.», Arezzo, vol. XVIII, pp. 215-289.
- FERRARIS P. (1993): *Adattamento e accrescimento di diverse provenienza di douglasia del nord America: osservazioni in un impianto comparativo di 22 anni*, «Ann. Ist. Sper. Selv.», Arezzo, vol. XXIV, pp. 63-68.
- FLETCHER A.M., BARNER H. (1978): *The procurement of seed for provenance research with particular reference to collection in N-W America*, Proc. IUFRO Meeting of WP 2 02, 05, 05, 12, 14, Vancouver, Canada, pp. 141-154.
- GAETA G. (1882): *Conifere: catalogo sistematico delle specie e varietà di conifere coltivate nel bosco sperimentale di Moncioni (Comune di Montevarchi)*, in *Riproduzione estratto del Bollettino della Regia Società Toscana di Orticoltura*, anno XVII-XVIII "Il Pinetum di Moncioni con l'antico catalogo sistematico di G. Gaeta", a cura di A. Gradi e V. Perrone, CFS, ex ASFD Ufficio Produzione Semi Forestali di Pieve S. Stefano (Ar).
- GIRARD F., VENNETIER M., OUARMIM S., CARAGLIO Y., MISSON L. (2011): *Polycyclism, a fundamental tree growth process, decline with recent climate change: the example of Pinus halepensis Mill. in Mediterranean France*, «Trees», 25, p. 311. doi:10.1007/s00468-010-0507-9
- HEOS B. (2000): *Eudirec, Consolidated Progress Report of the Period, 1.1.96 – 31.3.2000. Fair CT 95 - 0909 "Towards a sustainable Productive Douglas-fir Forest of High Quality Raw Material in Europe"*, p. 221.
- KLEINSCHMIT J., BASTIEN J.C. (1992): *IUFRO's Role in Douglas-Fir (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.) Franco) Tree Improvement*, «Silvae Genetica», 41 (3), pp. 161-173.
- KLEINSCHMIT J., RACZ J., WEISGERBER H., DIETZE W., DIETERICH H., DIMPFLMEIER R. (1974): *Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland*, «Silvae Genetica», 23, pp. 167-176.
- KRUTOVSKY K.V., ST. CLAIR J. B., SAICH R., HIPKINS V.D., NEALE D.B. (2009): *Estima-*

- tion of population structure in coastal Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco var. *menziesii*] using allozyme and microsatellite markers, «Tree Genetics & Genomes», 5 (4), pp. 641-658. [http://dx.doi.org/10.1007/s11295-009-0216-y]
- LAUTERI M., PLIURA A., MONTEVERDI M. C., BRUGNOLI E., VILLANI F., ERIKSSON G. (2004): *Genetic variation in carbon isotope discrimination in six European populations of Castanea sativa Mill. Originating from contrasting localities*, «Journal of Evolutionary Biology» (Blackwell Publishing Ltd), n.17, pp. 1286-1296.
- LINES R., SAMUEL C.J.A. (1985): *Results of the Douglas-fir experiments in Britain at 10 years*, Proc. IUFRO Meeting Working Party Breeding Strategy for Douglas-fir as an introduced species, Vienna, 1985, pp. 31-47.
- MÄKIPÄÄ R. & LINKOSALO T. (2011): *A non-destructive field method for measuring wood density of decaying logs*, «Silva Fennica», 45(5), pp. 1135-1142.
- MICHAUD D. (1979): *Etude du deburrement de 181 provenances de Douglas*, Afocel, p. 163.
- MITCHELL A.L., HOUSE S. (1999): *David Douglas. Explorer and botanist*, Aurum Press, London, p. 241.
- MORANDINI R. (1958): *Sperimentazione della douglasia in Europa*, «Monti e Boschi», 9 (7/8), pp. 346-352.
- MORANDINI R. (1968): *Studi e ricerche di genetica forestale*, Pubbl. n. 15 Ist. Sper. Selv., Arezzo, p. 73.
- NANSON A. (1973): *International Douglas-fir provenance experiment in Belgium (Early results)*, Proc. IUFRO Meeting Working Party on Douglas-fir provenances, Göttingen, pp. 158-172.
- PAVARI A. (1958): *Il genere Pseudotsuga in America*, «Monti e Boschi», 9 (7-8), pp. 307-320.
- PAVARI A., DE PHILIPPIS A. (1958): *La douglasia verde in Italia*, «Monti e Boschi», 9 (7-8), pp. 321-345.
- RIPULLONE F., LAUTERI M., GRASSI G., AMATO M., BORGHETTI M., (2004): *Variation in nitrogen supply changes water-use efficiency of Pseudotsuga menziesii and Populus × euroamericana; a comparison of three approaches to determine water-use efficiency*, «Tree Physiology», 24, pp. 671-679.
- ROZENBERG P. (1993): *Comparaison de la croissance en hauteur entre 1 et 25 ans de 12 provenances de Douglas* (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco, Elsevier/Inra, «Ann. Sci. For.», 50, pp. 363-381.
- SCHERMANN N. (1999): *Task 2.1, Updating IUFRO provenance database and synthesis*, Proc. Eudirec 4th annual Meeting, 16-18 Oct. 1999, Orléans, France, p. 30.
- SLAVOV G.T., HOWE G.T., YAKOVLEV I., EDWARDS K.J., KRUTOVSKII K.V., TUSKAN G.A., CARLSON J.E., STRAUSS S.H., ADAMS W.T. (2004): *Highly variable SSR markers in Douglas-fir: Mendelian inheritance and map locations*, «Theoretical and Applied Genetics», March 2004, volume 108, issue 5, pp. 873-880.
- WHITTLE M.T. (2015): *I cacciatori di piante* (trad. da *The plant Hunters*), II Edizione, DeriveApprodi, Roma, Italia (ISBN 978-88-6548-140-0), p. 325.
- WILLIAMS H.L., OTVOS I.S. (2005): *Genotypic variation and presence of rare genotypes among Douglas-Wr tussock moth multicapsid nucleopolyhedrovirus (OpMNPV) isolates in British Columbia*, «Journal of Invertebrate Pathology», Elsevier 88, pp. 190-200. [doi:10.1016/j.jip.2005.02.002]

Finito di stampare in Firenze  
presso la tipografia editrice Polistampa  
nel marzo 2017