

MARCO FIORE (*) - GIUSEPPE COLANGELO (*)
RAFFAELE LAFORTEZZA (*) - PASQUALE A. MARZILIANO (**)
PERTTI PULKKINEN (***) - GIOVANNI SANESI (*)

IL CONCETTO DI *PAPERWOOD IDEOTYPE* NELLA PRODUZIONE DELLA CARTA: RISULTATI DA UNA RICERCA AVVIATA IN FINLANDIA

La Finlandia è la nazione europea con la maggiore percentuale di copertura forestale. Per decenni la sua industria forestale è stato il settore trainante dell'economia nazionale. Le industrie che producono pulp & paper necessitano di un costante e stabile rifornimento di legno a prezzi competitivi. In Finlandia si ritiene che è possibile ottenere individui con migliori performance e in grado di ottimizzare le produzioni richieste anche con un intenso lavoro di verifica delle prestazioni produttive migliori tra diverse varietà presenti all'interno delle specie forestali impiegate. Queste sono rappresentate essenzialmente da Picea abies (L.) Karsten Betula sp. e Pinus sylvestris L. Questo processo di ricerca orientato verso la produzione di assortimenti per la carta e derivati prevede l'introduzione del concetto di «tree-ideotype» (albero dalle prestazioni ideali). Nello specifico la ricerca, che viene in parte presentata con questo lavoro, persegue l'ottenimento di risultati che puntano ad un massiccio incremento produttivo, in tempi relativamente brevi.

Oggi, la specie dove convergono i massimi sforzi della ricerca, è la Picea abies f. pendula con chioma molto stretta. È stato evidenziato che con questa specie è possibile realizzare impianti a densità molto elevate (anche >20000 p.te/ha). Nell'ambito delle produzioni forestali indirizzate verso assortimenti per pulp & paper, il presente studio illustra alcuni risultati conseguiti nella Finlandia meridionale nel corso di un progetto che mira allo sviluppo di un «tree-ideotype» (Picea abies f. pendula) in grado di produrre grandi quantità di fibre uniformi per unità di superficie, di crescere senza tagli intercalari e a densità di impianto estremamente elevate. In particolare vengono riportati i risultati relativi ad impianti di Picea abies e di Picea abies f. pendula piantati a differenti densità al fine della valutazione delle loro produzioni. L'obiettivo è stato quello di confrontare le caratteristiche prestazionali delle due entità, in termini di massa totale

(*) Dip. Scienze delle Produzioni Vegetali, Università di Bari, via Amendola, 165/A; tel. 0805443023; e-mail: ricerca.verdeurbano@agr.uniba.it; web-page: <http://www.greenlab.uniba.it>

(**) Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari e Forestali (GESAF), Università Mediterranea di Reggio Calabria; località di Feo di Vito, I-89060 Reggio Calabria; e-mail: pasquale.marziliano@unirc.it

(***) D.Sc. (Agr. & For.), Ph.D., Senior Researcher - The Finnish Forest Research Institute; Vantaa Research Unit, Haapastensyrjä Breeding Station; e-mail: pertti.pulkkinen@metla.fi

prodotta alle diverse densità di impianto. I risultati hanno messo in evidenza la buona produttività della Picea abies f. pendula in impianti molto densi (20000 piante ad ettaro) e con un'età di utilizzazione inferiore ai 20 anni. La Picea abies L. sembra invece manifestare una maggiore attitudine produttiva a densità inferiori.

Parole chiave: ideotype; *Picea abies* f. *pendula*; pulp & paper; densità d'impianto; distribuzione biomassa.

Key words: ideotype; *Picea abies* f. *pendula*; pulp & paper; plantation density; biomass distribution.

INTRODUZIONE

La Finlandia è la nazione europea con la maggiore percentuale di copertura forestale. Le foreste ricoprono oltre 23 milioni di ettari che rappresentano il 74,2% di tutta la superficie nazionale. La quantità di «verde» pro-capite in Finlandia è 16 volte superiore alla media Europea e le foreste finlandesi continuano ad espandere la loro estensione (KUUSELA e SALMINEN, 1991).

Per decenni l'industria forestale è stato il settore trainante dell'economia nazionale finlandese. Le sue solide fondamenta si poggiano sull'industria manifatturiera basata su prodotti forestali, le cui origini risalgono ai primi anni del diciannovesimo secolo (HANNELIUS e KUUSELA, 1995).

Il volume stimato di tutto il patrimonio legnoso finlandese supera i 2 miliardi di metri cubi. L'incremento medio annuale è stimato in poco più di 75 milioni di metri cubi, dei quali quasi 55 milioni di metri cubi sono utilizzati per l'industria (KORHOLA, 1990). Circa il 70% dei suoi prodotti (carta, cartone, prodotti lavorati, segati di legno, compensato, pasta legno) viene esportato; complessivamente da questo settore deriva il 36% del totale delle esportazioni del paese.

I volumi di produzione e la domanda di legname dell'industria forestale finlandese sono in continua crescita. Le industrie che producono *pulp & paper* e le industrie manifatturiere necessitano un costante e stabile rifornimento di legno a prezzi competitivi. Nel solo 2000 si sono toccate le punte record di 13,3 milioni di metri cubi prodotti di legname, e di 13,5 milioni di tonnellate di carta prodotta (AA.VV., 2005a).

L'industria della carta e della cellulosa esporta il 90% circa della produzione, mentre l'industria del legno esporta circa la metà della propria produzione. Oltre 50 cartiere in Europa sono controllate da società finlandesi. Helsinki, per questa ragione, può essere definita la capitale mondiale della carta (AA.VV., 2005b).

In questo contesto, mantenere costante il *trend* di crescita riscontrato, è sempre stato un obiettivo comune e importante sia per la comunità scientifica finlandese sia per il settore dell'industria forestale.

Il METLA (Finnish Forest Research Institute) è il più importante Istituto di ricerca forestale in Finlandia; è un ente governativo e subordinato al Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste ed è considerato uno dei più grandi Istituti di ricerca forestale in tutta Europa. Un vasto numero di progetti di questo ente sono effettuati in collaborazione sia a livello nazionale sia a livello internazionale con Università, Istituti di Ricerca e altre organizzazioni.

All'interno di uno dei diversi filoni della ricerca del METLA, si ritiene che sia possibile (PULKKINEN, 1990 e 1992) ottenere individui con migliori *performance* e in grado di ottimizzare le produzioni richieste attraverso uno studio approfondito della variabilità tipica delle specie forestali. Questa metodologia prevede l'introduzione del concetto di «*tree-ideotype*» (albero dalle prestazioni ideali), che, con l'aiuto e il supporto della ricerca scientifica, dovrebbe condurre all'ottenimento di un massiccio incremento produttivo, in tempi considerevolmente inferiori rispetto al passato (PULKKINEN, 1992, PULKKINEN e TIGERSTEDT, 1992).

Con un significato molto più ampio lo stesso termine può essere usato per identificare un modello biologico da cui ci si aspetta un particolare comportamento (in termini di crescita e di raccolto) e del quale sono conseguentemente prevedibili le proprie *performances* produttive in un particolare ambiente (DONALD, 1968).

L'«ideotype» produce il più alto volume possibile di legno all'interno di piccole cenosi. Inoltre non limita la crescita degli alberi vicini (CANNELL, 1979, 1982 e 1985).

KARKI già nel 1981 propose un «ideotype» per il *Picea abies* in Finlandia. Le caratteristiche ideali, in questo modello, consistevano in un fusto rettilineo, bassa rastremazione, ritidoma sottile, buona qualità della fibra, buona velocità di accrescimento in altezza e in diametro, rami sottili e una chioma molto alta, stretta, capace di formare coperture molto dense. La ricerca si indirizzò verso la *Picea abies* f. *pendula*, la quale fu descritta per la prima volta negli anni cinquanta. Nello specifico si trattava di un piccolo popolamento coetaneo di *Picea abies* f. *pendula* in Mäntsälä nella Finlandia meridionale. Gli alberi, che avevano un'età di 48 anni al momento della scoperta nel 1950, erano caratterizzati da una chioma eccezionalmente stretta e con rami molto sottili e pendenti. Successivamente LEPISTÖ e PULKKINEN (1988) dimostrarono che l'eredità dei caratteri che causano la pendenza dei rami degli alberi ritrovati a Mäntsälä era controllata da un singolo gene dominante modificato da un numero di geni minori. PULKKINEN (1991a, 1991b) riscontrò che gli aghi più efficienti nell'intercettare la radiazione solare erano posti in posizione più alta sulla chioma rispetto a quanto accade sul *Picea abies*. Conseguentemente chiome più strette sono

state considerate più efficienti nell'intercettazione della luce nei paesi nordici rispetto ad alberi della stessa specie con chiome più larghe.

Le chiome degli abeti a forma pendula sono estremamente strette (Fig. 1 e 2). In pecci dalla forma pendula di circa 18 anni il diametro medio massimo della chioma è 1,1 metri rispetto ai 2 metri della specie normale (PULKKINEN e PÖYKKÖ, 1990).

Studi condotti in Finlandia (FARMER, 1976; JARVIS *et al.*, 1976; PULKKINEN, 1991a e 1991b) indicano che il coefficiente di forma della chioma dovrebbe teoricamente avere un'influenza minore sull'intercettazione della luce. In una cenosi caratterizzata da una copertura densa e abbastanza regolare, alberi con chiome molto strette sono più efficienti nell'intercettare la luce e nell'effettuare la fotosintesi a latitudini elevate ($> 65^\circ \text{N}$). Pertanto una copertura composta da tante piccole chiome è molto più efficiente rispetto ad un'altra con poche chiome molto larghe (KELLOMÄKI *et al.*, 1985). La forma della chioma degli abeti a forma pendula è estremamente stretta, ed è conseguentemente possibile coltivare questi alberi a densità anche molto elevate (PULKKINEN e PÖYKKÖ, 1990). Chiome strette possono tollerare densità più elevate con piccole riduzioni nell'attività fotosintetica (Fig. 3).



Figura 1 – *Picea abies* f. *pendula* caratterizzata da una chioma molto stretta.



Figura 2 – Impianto di *Picea abies* f. *pendula*.

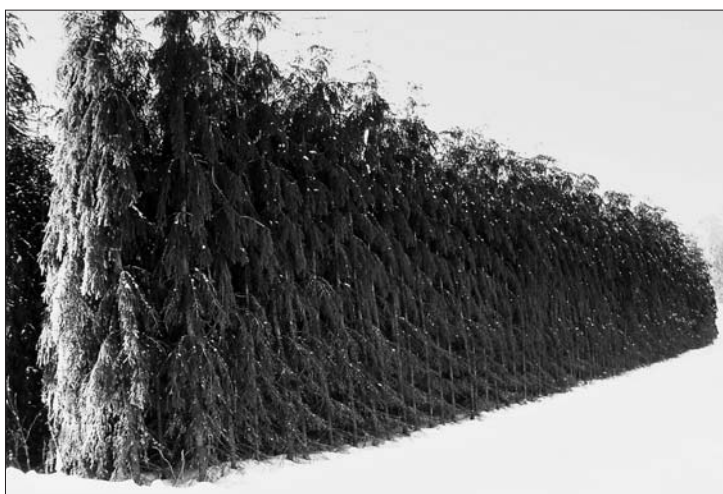


Figura 3 – Impianti di *Picea abies* f. *pendula* con densità molto elevate.

In tale ambito, il presente contributo intende illustrare alcuni risultati conseguiti nel corso di un progetto di ricerca denominato «*The Paperwood Ideotype*», del METLA Institute di Helsinki, finanziato dal Ministero dell'Ambiente del governo finlandese. In un'ottica di supporto al settore industriale forestale, il progetto mira allo sviluppo di un modello di albero ideale (*Picea abies* f. *pendula*) che tenga in particolare considerazione le richieste dell'industria manifatturiera della carta e dei suoi processi di trasforma-

zione; un albero in grado di produrre grandi quantità di fibre uniformi per unità di superficie, in grado di crescere senza tagli intercalari e a densità di impianto estremamente elevate.

L'Università degli Studi di Bari, in collaborazione con l'Università Mediterranea di Reggio Calabria, ha contribuito a questo progetto, attraverso l'elaborazione di dati raccolti da METLA e nel presente lavoro vengono riportati i risultati relativi ad impianti di *Picea abies* e di *Picea abies f. pendula* piantati a differenti densità al fine della valutazione della loro produzione. L'obiettivo è stato quello di confrontare le caratteristiche prestazionali delle due entità, in termini di massa totale prodotta alle diverse densità di impianto.

MATERIALI E METODI

Il materiale di studio per questo lavoro è stato ottenuto da diverse prove sperimentali (*field trials*) situate nella Finlandia meridionale (Fig. 4). I *trials* utilizzati sono stati sette e sono identificati per mezzo di un codice attribuito al momento dell'impianto.

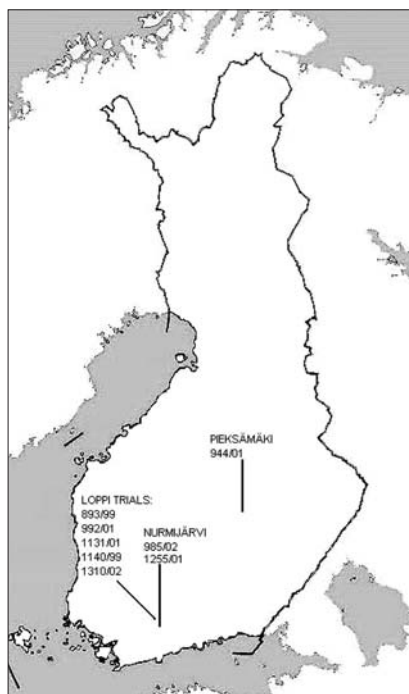


Figura 4 – La dislocazione dei *trial* sul territorio.

Le prove sono state distribuite in una area abbastanza omogenea dal punto di vista sia morfologico sia pedologico e non particolarmente distanti gli uni dagli altri. Si trovano a circa 100-120 km a nord di Helsinki, fatta eccezione per una (codice: 1310) che si trova invece nella regione di Savonlinna presso il villaggio di Moinniemi a circa 300 km a est di Helsinki verso il confine russo.

Queste stazioni sono caratterizzate da superfici con bassissima pendenza che solo in due circostanze supera l'8%. La composizione del suolo è altrettanto omogenea in quanto le origini geologiche delle stazioni sono comuni. Si tratta di terreni abbastanza fertili e con buone percentuali di sostanza organica. Non è difficile imbattersi in zone alluvionate in cui è frequente la formazione di torbiere.

Il clima è da ritenersi analogamente uniforme fra le stazioni. La conferma è data dall'analisi dei valori dei «gradi giorno di crescita» o della somma delle temperature effettive. Con questo dato in Finlandia si intende la somma delle temperature medie dei giorni della stagione vegetativa in cui viene superata la soglia dei 5°C. La somma delle temperature effettive della stagione vegetativa nella fascia climatica che ospita i *trials*, si attesta intorno ai 1230 d.d. (*degree day*).

Tutte le prove, con densità di impianto differenti, sono caratterizzate da un popolamento misto in cui sono state messe a dimora entrambe le entità prese in considerazione: *Picea abies* e *Picea abies* f. *pendula* (Fig. 5 e 6).



Figura 5 – Esempio di *trial* di *Picea abies* f. *pendula*.



Figura 6 – Altro esempio di *trial* di *Picea abies* f. *pendula*.

Il disegno sperimentale adottato è quello dei blocchi randomizzati con otto repliche. In totale dunque, per ogni densità d'impianto, vi sono otto blocchi a costituire una prova. In fase di elaborazione, tutti i dati sono stati sottoposti ad analisi della varianza per determinare la significatività delle differenze tra le tesi poste a confronto.

In Tabella 1 sono indicate le densità d'impianto, l'anno di impianto e l'età di utilizzazione delle sette prove.

Le densità d'impianto variano da 2000 piante ha⁻¹ del *trial* 126 a 40000 piante ha⁻¹ del *trial* 1131. In molti casi le densità sono talmente elevate che risulta impossibile riuscire a entrare nell'impianto per effettuare i sopralluoghi.

Gli impianti non sono di uguale superficie. Essi variano da un minimo di 200 m² per il *trial* con 40000 piante ad ettaro, a un massimo di 10000 m² dove il numero di piante ad ettaro è pari a 2000. In totale le piante sottoposte a rilievi ammontano a 8712. All'impianto, in ogni *trial*, circa il 60% delle piante appartenevano alla specie *pendula* e circa il 40% all'abete dalla forma normale.

Gli impianti non sono stati sottoposti ad alcuna cura colturale. In effetti impianti di questo tipo non necessitano di alcuna cura colturale (PULKKINEN, 1991a). Non si effettuano diradamenti né tantomeno si potano gli alberi dai rami secchi; si attende esclusivamente la fine del turno per poter compiere l'utilizzazione.

Tabella 1 – Densità di impianto, anno di impianto e di utilizzazione dei nove *trial*.

Trials	Densità d'impianto	Piante/ha	Anno impianto	Anno taglio	Età taglio
126	2,0 x 2,5	2000	1973	2001	28
944	2,2 x 2,2	2066	1983	2000	17
1310	1,8 x 1,8	3086	1989	2001	12
8939	2,0 x 1,0	5000	1981	2000	19
1255	1,2 x 1,2	6944	1988	2001	13
9920	0,5 x 1,0	20000	1984	2000	16
1131	0,5 x 0,5	40000	1987	2001	14

I semi di *Picea abies* f. *pendula* sono stati raccolti dal popolamento di *Mäntsälä* presso *Säälinkää*, a ca. 60 km Nord-Est da Helsinki nel 1967 e sono stati portati presso l'*Haapastensyrjä Breeding Station*, centro di riproduzione e coltivazione di proprietà del METLA. Nella primavera del 1973 sono stati piantati gli alberi del primo *trial* (126). Dopo circa dieci anni sono state allestite le restanti sei prove sperimentali.

Durante l'inverno 2000-2001 è iniziata l'operazione di taglio e gradualmente tutti gli alberi dei sette *trial* sono stati utilizzati. Gli alberi sono stati tutti trasportati in laboratorio presso l'*Haapastensyrjä Breeding Station* in località *Läyliäinen*.

Su tutti gli 8712 alberi abbattuti dei sette *trial* sono stati rilevati il diametro a m 1,30 da terra e l'altezza totale con rollina metrica.

Il volume cormometrico è stato stimato con una equazione appositamente studiata (LAASASENAHO, 1982). La formula esprime il volume cormometrico in funzione del diametro e dell'altezza della pianta:

$$V = 0,022927 \times d^{1,91505} \times (0,99146)^d \times b^{2,82541} \times (b-1,3)^{-1,53547}$$

Infine nel *trial* 126, su 30 alberi campioni appartenenti ad entrambe le picee considerate, sono stati effettuati rilievi per la determinazione della biomassa. L'obiettivo era quello di monitorare le diverse tendenze dei due fenotipi nella produzione e nella ripartizione della biomassa. Tutti i dati raccolti sono stati utilizzati anche per altri aspetti del progetto facenti riferimento prettamente all'analisi delle caratteristiche tecnologiche del legno e non trattati in questo lavoro.

A tal fine, ogni albero è stato diviso in dieci topi. Di ogni topo è stato calcolato il diametro medio ed è stato misurato il suo peso fresco e il peso secco ponendo i campioni in stufa a 105°C fino a peso costante. La densità si è dedotta dividendo il volume (espresso in m³) dei singoli topi per la massa (espressa in kg). È stato infine determinato il peso fresco e il peso secco delle diverse frazioni della chioma: rami e massa fogliare.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Nelle Tabelle 2 e 3 sono mostrati i parametri dendrometrici principali rispettivamente per la *Picea abies* f. *pendula* e per la *Picea abies*.

Il numero di piante, al momento dell'utilizzazione, è risultato essere sempre significativamente inferiore rispetto a quelle messe a dimora. La mortalità è stata elevata quasi in ogni *trial*, ma significativamente diversa a seconda della specie di abete considerato.

La causa maggiore di questa mortalità, oltre alla competizione che si instaura tra individuo e individuo, è dovuta soprattutto agli schianti da neve. In Finlandia, soprattutto nella zona meridionale, c'è uno strato di copertura nevosa permanente che persiste per 4-5 mesi fino a periodi superiori agli 8 mesi in Lapponia. Questo strato di copertura nevosa (può superare i 100-150 kg di peso per metro di tronco) risulta estremamente dannoso per gli alberi e le loro chiome (PACKAHAM e HARDING, 1982). Invece i danni provocati dal vento e dalle tempeste sono di importanza limitata, e soprattutto estremamente rari. Gli schianti causati da questi fenomeni si presentano solo in zone alluvionate o in presenza di rari ed eccezionali fenomeni ventosi.

Tabella 2 – *Picea abies* f. *pendula*. Parametri dendrometrici.

Densità di impianto (N° piante ha ⁻¹)	Mortalità	N° piante ha ⁻¹ ad ettaro vive	Dg (cm)	H (m)	Volume ad ettaro (m ³)
2000	34,3%	1314	13,4	12,7	120,6
2066	7,6%	1909	10,9	9,8	91,1
3086	3,5%	2978	9,0	6,4	66,4
5000	11,2%	4440	7,3	6,8	71,4
6944	14,1%	5965	5,8	6,0	55,2
20000	29,5%	14100	7,8	8,9	326,1
40000	39,0%	24400	4,7	5,5	125,1

Tabella 3 – *Picea abies*. Parametri dendrometrici.

Densità di impianto (N° piante ha ⁻¹)	Mortalità	N° piante ha ⁻¹ ad ettaro vive	Dg (cm)	H (m)	Volume ad ettaro (m ³)
2000	41,4%	1172	17,1	13,0	170,4
2066	9,9%	1861	12,6	10,2	119,9
3086	7,0%	2870	9,3	6,3	66,1
5000	20,7%	3965	9,2	8,1	114,5
6944	21,5%	5451	6,8	6,5	72,6
20000	42,4%	11520	6,8	7,6	178,8
40000	58,2%	16720	4,5	5,8	113,0

La mortalità, come atteso, è stata crescente all'aumentare della densità (Fig. 7), tranne che per i *trial* con meno numero di piante ad ettaro. All'interno di ogni *trial*, la specie che più ha subito perdite è stata la *Picea abies*, a conferma che la *Picea abies* f. *pendula* avendo i rami molto inclinati verso il basso e con una chioma stretta, è significativamente più resistente ai danni dovuti dalla neve, ma probabilmente soffre anche meno della competizione che si instaura tra i singoli individui.

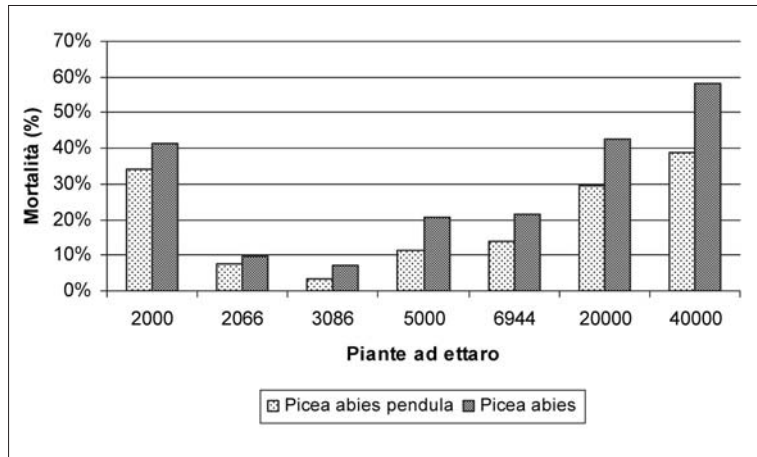


Figura 7 – Valori di mortalità nei *trial* e tra le due diverse specie di *Picea*.

Negli impianti con 40000 piante ad ettaro la mortalità è stata decisamente elevata: essa è stata del 39% nelle piante di *Picea abies* f. *pendula* e quasi del 60% nelle piante di *Picea abies* dalla forma normale. Anche nel *trial* 126 (2000 piante ad ettaro) la mortalità è stata elevata, però le piante di questo *trial* sono state utilizzate all'età di 28 anni, il dato quindi non è direttamente confrontabile con quello degli altri *trial* che sono stati utilizzati ad età variabili tra i 12 e i 19 anni. In un altro *trial*, con la stessa densità (2000 piante ad ettaro), ma utilizzato all'età di 17 anni, la mortalità è stata decisamente più contenuta.

I diametri medi di area basimetrica media (Fig. 8) per entrambe le specie sono decrescenti all'aumentare della densità e all'interno dello stesso *trial* sono sempre superiori quelli della *Picea abies* dalla forma normale, tranne che per i due *trial* dove il numero di piante ad ettaro è molto elevato (20000 e 40000 piante ad ettaro). I valori variano da 4,7 cm per il *trial* con più piante ad ettaro a 13,4 cm per quello con meno piante ad ettaro per l'abete dalla forma pendula e da circa 4,5 cm a 17 cm per l'abete dalla forma normale.

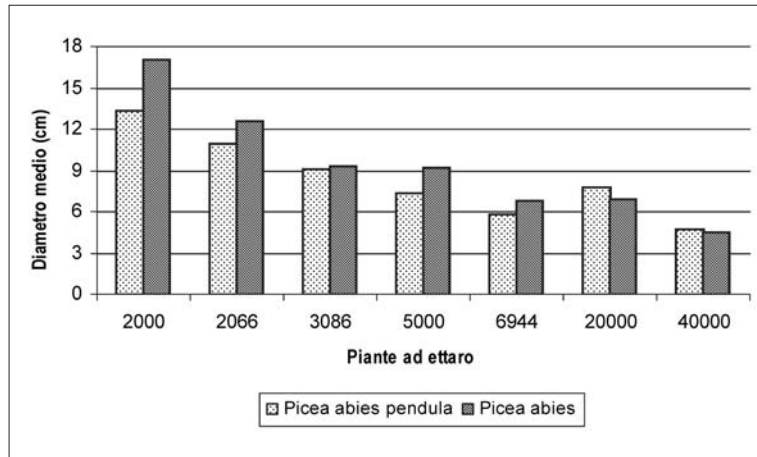


Figura 8 – Diametri medi nei *trial* e tra le due diverse specie di *Picea*.

Tranne che per i *trial* con 3000 e 40000 piante ad ettaro, (rispettivamente *trial* 1310 e 1131) le differenze tra i due diametri, in termini statistici, sono sempre significative tra le due forme di abete (Fig. 9) e nessuna differenza significativa è stata riscontrata tra le ripetizioni, per tutti i *trial*. Nel *trial* con 20000 piante ad ettaro (*trial* 9920) il diametro medio dell'abete dalla forma pendula è significativamente superiore rispetto a quello dalla forma normale, e questo lascerebbe pensare una migliore *performance* di questa specie a densità molto elevate. Questa migliore adattabilità dell'abete dalla forma pendula a densità molto elevate, viene confermato anche dai valori diametrici riscontrati nel *trial* 1131 (40000 piante ad ettaro) dove i valori più elevati sono per la forma pendula, anche se le differenze non sono significative. In questo *trial* comunque i diametri sono molto modesti (i più bassi in assoluto); emerge abbastanza chiaramente, anche tenendo presente i dati sulla mortalità, che in queste situazioni di densità così elevata, la competizione tra individui è molto forte, e questa inibisce in maniera significativa l'accrescimento delle due specie messe a confronto, e seppur si nota una leggera differenza a favore dell'abete dalla forma pendula, queste differenze non sono comunque significative.

Le altezze medie (Fig. 10) delle due specie messe a confronto, pur essendo in genere leggermente superiori quelle dell'abete dalla forma normale, differiscono poco all'interno di ogni *trial*. Solo per i *trial* 8939 e 9920 rispettivamente con 5000 e 20000 piante ad ettaro si sono riscontrate differenze significative, a favore dell'abete dalla forma normale nel *trial* 8939 ($F=578,5$; $p=0,0001$) e a favore dell'abete dalla forma pendula nel *trial*

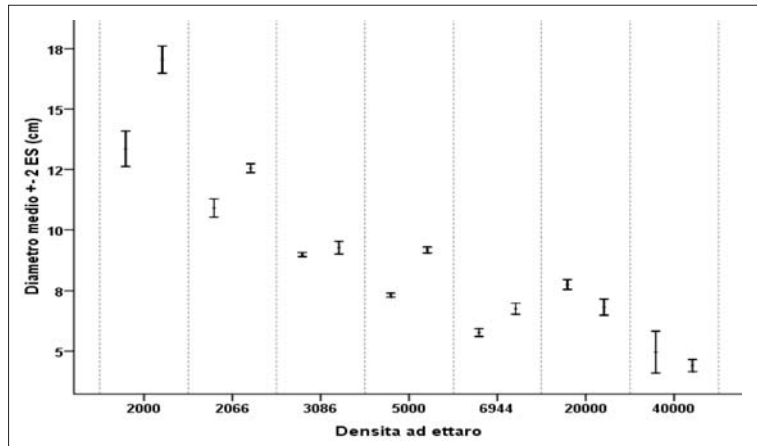


Figura 9 – Differenze significative nei valori diametrici in ogni *trial*. La prima linea a sx si riferisce alla forma pendula, la seconda linea a dx alla forma normale.

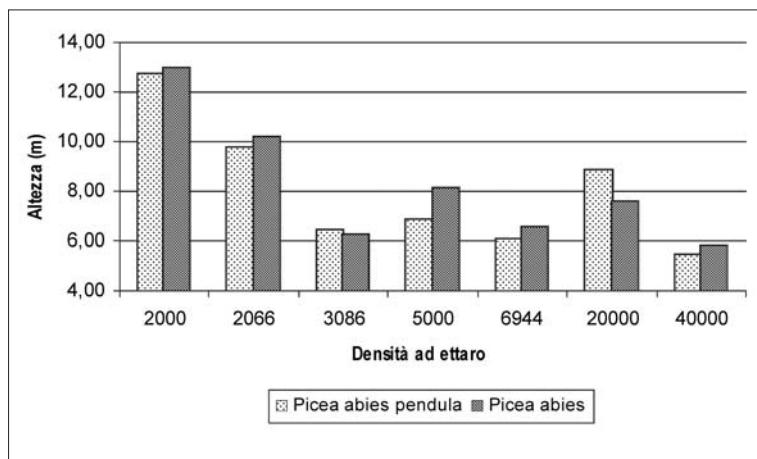


Figura 10 – Altezze medie nei *trial* e tra le due diverse specie di *Picea*.

9920 ($F=135,4$; $p=0,0001$). In tutti le prove nessuna differenza significativa è stata riscontrata tra i blocchi.

Le altezze inoltre manifestano, al variare della densità, un andamento più irregolare rispetto ai valori diametrici. Viene confermato anche per questo parametro i valori più modesti raggiunti nel *trial* con 40000 piante ad ettaro probabilmente a causa della scarsa produttività delle piante a così alte densità. I valori variano da circa 5,5 m per il *trial* con più piante ad ettaro a 12,7 m per quello con meno piante ad ettaro per l'abete dalla forma pendula e da circa 5,8 m a 13 m per l'abete dalla forma normale.

Si ricorda infine che i valori (sia diametrici che ipsometrici) molto più elevati raggiunti nel *trial* 126 (anche rispetto all'altro *trial* a pari densità) sono dovuti all'età di utilizzazione delle piante in questo *trial*: qui infatti le piante sono state tagliate quando avevano un'età di più di 10 anni rispetto alle altre prove (Tab. 1).

La figura 11 mostra i volumi ad ettaro riscontrati nei diversi *trial* per le due forme di abete.

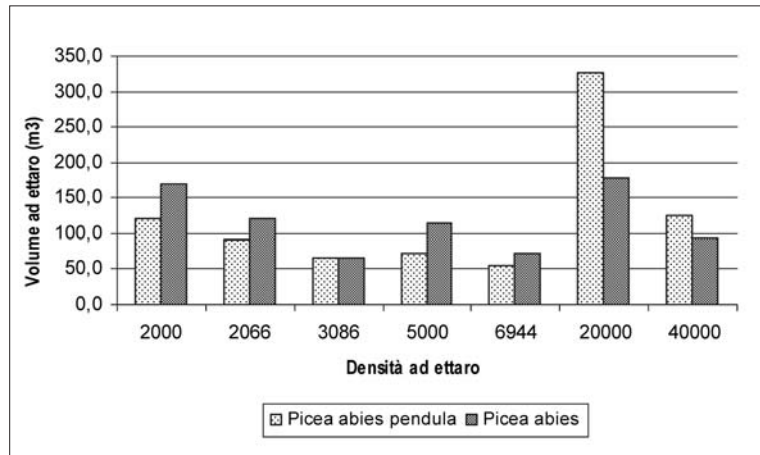


Figura 11 – Volume ad ettaro nei *trial* e tra le due diverse specie di *Picea*.

Per densità relativamente basse (da 2000 a 7000 piante ad ettaro) la massa registrata per la forma normale è sempre superiore rispetto all'abete dalla forma pendula. Il contrario si verifica invece per i *trial* con più alta densità. Un'analisi statistica effettuata sul volume dell'albero di dimensioni medie ha messo in evidenza differenze significative tra le due forme di abete nei *trials* 126, 8939 e 1255, con 2000, 5000, 7000 piante ad ettaro a favore dell'abete dalla forma normale e differenze significative, ma a favore dell'abete dalla forma pendula nel *trial* 9920 con 20000 piante ad ettaro. Nessuna differenza significativa per i *trial* 1310 e 1131 con 3000 e 40000 piante ad ettaro.

La massa ad ettaro più elevata si è registrata nel *trial* 9920 con 20000 piante ad ettaro per la forma pendula (326 m³), mentre quella più bassa si è registrata nel *trial* 1255 con 7000 piante ad ettaro sempre per la forma pendula (55 m³). È di estremo interesse comunque la differenza di volume tra le due forme di abete che è stata riscontrata nel *trial* 9920 con 20000 piante ad ettaro: nella forma pendula la massa ad ettaro prodotta a 17 anni è quasi

doppia rispetto all'abete dalla forma normale (326 m³ vs 178 m³). I valori riscontrati in questo *trial* per la forma pendula sono anche significativamente superiori rispetto ai valori di massa riscontrati nel *trial* con 2000 piante ad ettaro all'età di 28 anni.

Tutto questo porta a considerare la *Picea abies* f. *pendula* adatta ad essere coltivata in impianti molto densi e con un'età di utilizzazione inferiore ai 20 anni. Utilizzarle ad età superiore comporterebbe rischi soprattutto per l'eventualità degli schianti provocati dalla neve che si verificano ogni anno. Viene invece scartata la possibilità di impianti con densità ancora più elevate. La concorrenza diviene molto forte, la mortalità raggiunge valori alti, la crescita delle piante sia in diametro che in altezza è molto stentata.

In Tabella 4 sono riportati i valori medi di biomassa espressa in peso secco riscontrati su 30 alberi campioni di entrambe le specie prelevati nel *trial* in cui la densità di impianto è pari a 2000 piante ad ettaro.

Tabella 4 – Ripartizione della biomassa per le due specie nel *trial* con 2000 piante ad ettaro.

	Peso massa fogliare (kg)	Peso rami (kg)	Peso rami (kg)	Massa tronco (kg)	Massa totale (%)	Massa rami (%)	Massa tronco (%)
<i>Picea abies</i> f. <i>pendula</i>	3,89	4,01	32,86	40,76	9,54	9,84	80,62
<i>Picea abies</i>	8,35	9,98	44,54	62,87	13,28	15,87	70,84

A questa densità d'impianto, come già visto, i valori dendrometrici (diametro, altezza e volume cormometrico) sono significativamente più elevati per la forma normale (volume albero medio uguale a circa 149 dm³) rispetto alla forma pendula (volume albero medio uguale a circa 94 dm³). Conseguentemente anche i valori di biomassa sono più elevati nella forma normale rispetto a quella pendula. Dall'analisi dei 30 alberi utilizzati per la determinazione della biomassa, i valori medi della produzione di massa fogliare (espressi in kg) sono circa doppi nel popolamento dal portamento normale (8,34 kg contro i 3,89 kg della forma pendula). Anche la massa dei rami e quella del tronco risultano più elevati nella *Picea* normale. La ripartizione della biomassa è però diversa tra le due specie. Mentre nella *Picea abies* la biomassa del tronco è pari a circa il 70% dell'intera biomassa, nella *Picea abies* f. *pendula* tale valore è superiore all'80%.

Anche se la determinazione della biomassa è stata effettuata solo per un *trial*, e in particolare quello con una densità di 2000 piante ad ettaro, tale diverso risultato nella ripartizione della biomassa assume una importanza molto più generale. Negli impianti più densi, infatti, i fenomeni di auto

potatura risultano altamente frequenti e interessano soprattutto i rami inseriti nella parte inferiore del tronco. Mentre nella forma normale tale perdita può dunque avere un peso considerevole, nella forma picea pendula, tale perdita diventa meno significativa.

CONCLUSIONI

Il presente contributo, inserito all'interno di un progetto di ricerca più ampio destinato alle aziende finlandesi coinvolte nella produzione della carta, ha voluto mettere in evidenza, attraverso i risultati di prove sperimentali, la maggiore attitudine dell'abete a forma pendula (*Picea abies* f. *pendula*) a produrre massa in condizioni di densità elevate, rispetto alla specie controllo (*Picea abies*).

Parallelamente a questo lavoro sono in corso altre ricerche che riguardano ulteriori caratteristiche del materiale legnoso, con particolare attenzione all'influenza delle alte densità d'impianto su *l'inter-tree competition* (competizione inter e intra-specifica), sugli *harvest indexes* (indici di raccolta) e sulle caratteristiche tecnologiche del legno (dimensioni delle fibre, facilità nel separare la cellulosa dalla lignina, etc.) a densità molto elevate.

Dall'analisi dei risultati ottenuti si possono formulare alcune conclusioni.

Nella quasi totalità delle prove effettuate le due entità tassonomiche utilizzate hanno dato prova di un comportamento differente a parità di densità; in particolare, a densità di popolamento relativamente basse (da 2000 a 7000 piante ha⁻¹) la forma normale della *Picea abies* sembra prevalere. A queste densità la massa prodotta dalle piante dalla forma normale è sempre superiore a quella delle piante dalla forma pendula.

Per densità più elevate si verifica invece l'esatto contrario: soprattutto nel *trial* con densità di 20000 piante ad ettaro, la forma pendula dimostra delle *performance* significativamente superiori a quelle del *Picea abies* che sembra invece soffrire particolarmente una densità così elevata.

Nel *trial* con 40000 piante ad ettaro, i valori delle dimensioni medie delle piante sono molto modesti (i più bassi in assoluto), e questo, insieme all'alta mortalità che qui si verifica, porta a valori di massa ad ettaro che si attestano su livelli molto bassi e poco adatti alle esigenze delle produzioni industriali. A questi livelli di densità i singoli individui della popolazione soffrono eccessivamente la concorrenza intraspecifica e ciò determina una riduzione della sopravvivenza e della crescita degli individui interessati dal fenomeno.

Concludendo, viene confermata la tendenza che la *Picea abies* f. *pen-*

dula fa registrare *performance* più efficienti in corrispondenza di densità di popolazione particolarmente elevate (20000 piante ad ettaro) a differenza del *Picea abies* che sembra manifestare una maggiore attitudine produttiva a densità inferiori.

Infine, dall'analisi sulla distribuzione della biomassa effettuata su trenta alberi campione si sono tratte indicazioni interessanti. Si è riscontrata una maggiore percentuale di biomassa sul fusto nella *Picea abies pendula* rispetto alla *Picea abies* dalla forma normale. I dati sulla distribuzione della biomassa sembrano confermare quanto affermato da PULKKINEN (1991a, 1991b), secondo il quale il rapporto tra la massa del fusto e quella dell'apparato fogliare è maggiore negli abeti dalla forma pendula rispetto alla forma normale; inoltre tale rapporto aumenta all'aumentare della massa fogliare più rapidamente nella forma pendula rispetto alla forma normale. Questi rapporti influenzano direttamente il quantitativo di legno utile all'industria prodotto dalla singola pianta coltivata.

RINGRAZIAMENTI

Tutti i colleghi italiani ringraziano in maniera particolarmente sentita i colleghi finlandesi per la loro collaborazione. Inoltre, un ringraziamento speciale va allo staff del METLA (Istituto di Ricerca sulle Foreste Finlandesi). Senza il supporto della loro esperienza sarebbe stato difficile portare a termine il presente studio.

ACKNOWLEDGEMENTS

All the Italian colleagues would like to address special thanks to all Finnish colleagues for their support. A special thank to all METLA (Finnish Forest Research Institute) staff. Without their help, this study would not have been possible.

SUMMARY

Paperwood ideotype's concept in the paper production system. Results from a Finnish research

Finland has the highest percentage of forest cover in Europe and the *pulp & paper* industry is one of the main sources of business in the country. This type of industry needs constant and cost-effective supply of timber which could be only secured by highly-

innovative research and development in the forestry field. Over the years, Finnish researchers have been focusing on selecting species and individuals (i.e. clones) with the best performances in terms of quantity and quality of timber production. Among the main species, *Picea abies* (L.) Karsten, *Betula* sp. and *Pinus sylvestris* L. have been considered those with the highest potential and therefore selected for a wide range of trials. The selection of new individuals is based on the concept of *tree-ideotype* that is a tree model which is expected to perform in a predictable manner within a defined environment. Defining one or more *tree-ideotype* would allow pulp & paper industry increasing timber production in a relative short period of time. In this context, this study provides research from a project conducted in Southern Finland during the period 2005-2006. The project was aimed at defining a *tree-ideotype* for *Picea abies* f. *pendula* being able to produce higher quantity of undifferentiated fibers per hectare and to grow with high plantation density without any intermediate cutting. We compared the performances of *Picea abies* and *Picea abies* f. *pendula* in terms of total biomass produced at different plantation densities. Results showed a good productivity of the *Picea abies* f. *pendula* with high plantation density (20000 trees/ha) with a 20 years rotation time. On the other hand, lower plantation density of *Picea abies* seemed to increase the amount of total biomass.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 2005a – *Roundwood Market*. In: «Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2005». Eds. The Finnish Forest Research Institute, METLA.
- AA.VV., 2005b – *Forest sector in Finland's national economy*. In: Finnish Statistical Yearbook of Forestry 2005. Eds. The Finnish Forest Research Institute, METLA.
- CANNELL M.G.R., 1979 – *Improving per hectare forest productivity*. In: Proc. North American Forest Biology Workshop, 5th, Eds. Hollis, C.A. & Squillace, A.E. University of Florida, Gainesville, p. 120-148.
- CANNELL M.G.R., 1982 – 'Crop' and 'isolation' Ideotypes: evidence for progeny difference in nursery grown *Picea sitchensis*. *Silvae Genet.*, 31, 60-66.
- CANNELL M.G.R., 1985 – *Dry matter partitioning in tree crops*. In: 'Trees as Crop Plants'. Eds. Cannell, M.G.R. & Jackson, J.E. Monks Wood, Abbots Ripton, Hunts, UK, p. 160-193.
- DONALD, C.M., 1968 – *The breeding of crop Ideotypes*. *Euphytica*, 17: 285-403.
- FARMER, R.E. Jr., 1976 – *Relationships between genetic differences in yield of deciduous tree species and variation in canopy size, structure and duration*. In: *Tree Physiology and Yield Improvement*. Eds. M.G.R. Cannell and F.T. Last. Academic Press, London, p. 119-137.
- GRASSI, G., GIANNINI R., 2004 – *Influence of light and competition on crown and shoot morphological parameters of Norway spruce and silver fir saplings*. *Ann. For. Sci.*, 62 (2005): 269-274 © INRA, EDP Sciences, 2005.
- HANNELIUS S., KUUSELA K., 1995 – *Finland the country of evergreen forest*. Published in connection with the XXth IUFRO World Congress in Tampere, Finland.
- JARVIS P.G., JAMES G.B., LANDSBERG J.J., 1976 – *Coniferous forest*. In: *Vegetation and the Atmosphere*. Ed. Monteith J.L. Academic Press, London, vol. 2: 171-270.

- KÄRKI L., 1981 – *Crop tree Ideotypes needed*. In: Metsänjalostussäätiö 1981. The Foundation or Forest Tree Breeding. Helsinki, p. 26-27.
- KELLOMÄKI S., OKER-BLOM P., KUULUVAINEN T., 1985 – *The effect of crown and canopy structure on light interception and distribution in a tree stand*. In: Crop Physiology of Forest Trees. Eds. Tigerstedt, P.M.A., Puttonen, P. & Koski, V. University Press, Helsinki, p. 107-115.
- KORHOLA A., 1990 – *Suomen metsien kehitysvaiheet (The development of the Finnish Forest)*. Terra, 102 (4): 268-274.
- KUUSELA K., SALMINEN N., 1991 – *Suomen metsavarat 1977-1984 ja niiden keittyminen 1952-1980. Summary: Forest Resource in Finland in 1977-1984 and their development in 1952-1980*. Acta Forestalia Fennica, 220.
- LAASASNAHO J., 1982 – *Taper Curve and Volume Equations for Pine Spruce and Birch*. In: Communicationes Instituti Forestalis Fennicae. Eds. The Finnish Forest Research Institute, METLA.
- LEPISTÖ M., PULKKINEN P., 1998 – *Hybridisaapaan panostetaan: satatuhatta mikrotainta istutuksiin, mittava tutkimus- ja kehitysohjelma alkamassa*. Annual Report from The Foundation for Forest Tree Breeding 1997, p. 22-23. <http://www.officerecovery.com/>
- MALKAVAARA, P., ALÉN, R., 1998 – *A spectroscopic method for determining lignin content of kraft pulps*, Chemom. Intell. Lab. Syst., 44 (1-2): 291-296.
- PACKHAM J.R., HARDING D.J.L., 1982 – *Ecology of woodland processes*. Edward Arno Ltd. London.
- PULKKINEN P., PÖYKKÖ T., 1990 – *Inherited narrow crown form, harvest index and stem biomass production in Norway spruce, Picea abies*. Tree Physiology, 6: 381-391.
- PULKKINEN P., TIGERSTEDT P.M.A., 1992 – *The form and mass of coarse-roots and root-shoot relationship in Picea abies and Picea abies f. pendula*. Scand. J. For. Res., 7: 463-472.
- PULKKINEN P., 1990 – *Characteristics of normal-crowned and pendula spruce (Picea abies (L.) Karst.) examined with reference to the definition of a crop tree ideotype*. Tree Physiology, 7: 201-207.
- PULKKINEN P., 1991a – *The pendulous form of Norway spruce as an option for crop tree breeding*. Rep Found. Forest Tree Breed, 2, 30 p. (D.Sc. (For) thesis), University of Helsinki.
- PULKKINEN P., 1991b – *Crown form and harvest increment in pendulous Norway spruce*. Silva Fennica, 25: 207-214.
- PULKKINEN P., 1992 – *Rüppakuusen käyttömahdollisuudet viljelypuun jalostuksessa*. Annual Report from Foundation Forest Tree Breeding 1991, p. 18-19. Potential uses of pendula spruce in crop tree breeding, in Finnish with English summary.
- PULKKINEN P., 1992 – *The effect of crown form and plagiotrophy on the growth of Picea abies (L.) Karst. f. pendula cuttings*. Scan. J. For. Res., 7: 71-81.