

GIORGIO VACCHIANO (\*) - EMANUELE LINGUA (\*\*) - RENZO MOTTA (\*)

## VALUTAZIONE DELLO *STAND DENSITY INDEX* IN POPOLAMENTI DI ABETE BIANCO (*ABIES ALBA* MILL.) NEL PIEMONTE MERIDIONALE

*La struttura e la densità sono parametri utilizzati per descrivere la dinamica delle popolazioni e le modalità con cui esse si ripartiscono le risorse. Le misure di densità relativa confrontano la densità reale dei popolamenti con un valore di riferimento derivante da modelli matematici.*

*Lo Stand Density Index (SDI) di Reineke è una misura di densità relativa basata sul principio dell'autodiradamento delle comunità vegetali, che esprime la relazione di proporzionalità inversa tra il numero di piante per unità di superficie e il diametro medio del popolamento. Lo SDI massimo per una specie esprime il limite superiore delle possibili combinazioni di densità e dimensione media degli individui in popolamenti puri di tale specie e rappresenta la massima intensità di competizione.*

*L'obiettivo di questo studio è l'analisi della struttura e delle dinamiche dei popolamenti di abete bianco (*Abies alba* Mill.) nel Piemonte meridionale, attraverso la valutazione del loro SDI. I dati provengono da 173 aree di saggio, rilevate in occasione della redazione dei Piani Forestali Territoriali. Il campione è limitato alle aree di saggio in cui l'abete rappresenta almeno l'80% dell'area basimetrica totale.*

*La linea di autodiradamento dei popolamenti esaminati ha una pendenza di -1,491. In base a tale parametro è stato calcolato lo SDI massimo per l'abete, che è risultato essere 1359. Il 55% dei popolamenti del campione ha una densità relativa compresa tra il 35% e il 60% dello SDI massimo; i risultati suggeriscono che la maggior parte delle abetine esaminate non ha ancora raggiunto la fase di massimo sfruttamento delle risorse ed in esse l'intensità di competizione è inferiore al massimo teorico caratteristico di questa specie.*

*Parole chiave:* *Abies alba* Mill.; Stand Density Index; competizione; autodiradamento; struttura.  
*Key words:* *Abies alba* Mill.; Stand Density Index; competition; self-thinning; stand structure.

### INTRODUZIONE

La competizione per le risorse (luce, acqua e nutrienti) è un processo chiave nel determinare l'accrescimento degli individui e la struttura di popolazioni e comunità (e.g. HARPER, 1977; GRIME, 1979; WEINER e THO-

---

(\*) Dipartimento AGROSELVITER, Università degli Studi di Torino, Via Leonardo da Vinci 44, 10095 GRUGLIASCO (TO) - giorgio.vacchiano@unito.it

(\*\*) Dipartimento TESAF, Università degli Studi di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 LEGNARO (PD) - emanuele.lingua@unito.it

MAS, 1986; SHAINSKY e RADOSEVICH, 1992; NEWTON e JOLLIFFE, 1998). Il massimo grado di competizione che i popolamenti forestali di una certa specie possono sperimentare è descritto dal principio dell'autodiradamento (YODA *et al.*, 1963), che esprime la relazione di proporzionalità inversa tra la densità del popolamento e la dimensione o massa media degli individui. L'autodiradamento in un popolamento coetaneo è schematizzato in figura 1: le risorse di una stazione possono essere sfruttate da un numero di piante progressivamente minore all'aumentare dell'età e delle dimensioni medie degli alberi. Con il procedere delle dinamiche competitive, e se il popolamento non è soggetto a disturbi, la morte degli individui svantaggiati conduce il popolamento verso un numero massimo di piante di una data dimensione che possono coesistere sulla stessa superficie. In popolamenti non disturbati e soggetti ad un'intensa competizione intraspecifica, la funzione che descrive la variazione nel tempo di dimensioni massime e densità degli individui assume un andamento log-lineare (YODA *et al.*, 1963).

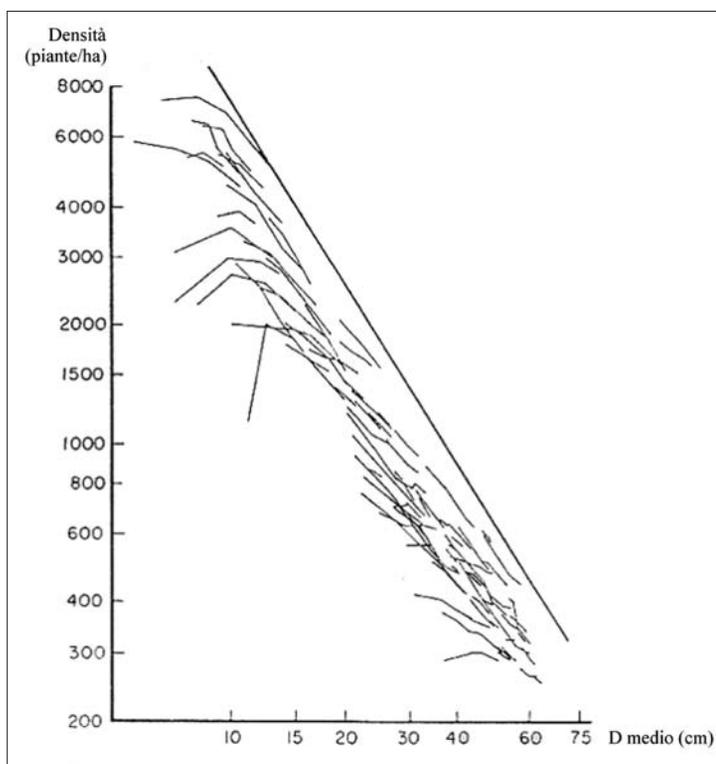


Figura 1 – Relazione diametro medio – densità e linea di massima densità in popolamenti autodiradanti di *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (modificato da LONG, 1985).

– Quadratic mean diameter vs. density relationship and maximum density line in *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco self-thinning stands (after LONG, 1985).

La linea di massima densità descritta dalla legge dell'autodiradamento rappresenta la massima combinazione possibile di dimensioni medie e densità per popolamenti di una data specie (DREW e FLEWELLING, 1977). La validità di tale principio è stata dimostrata per molte comunità erbacee ed arboree (WHITE, 1980); la vicinanza di un popolamento alla linea limite è indice dell'intensità della competizione intraspecifica nel popolamento osservato (DEAN e BALDWIN, 1996).

Il rapporto tra il numero di individui per unità di superficie osservato in ciascun popolamento e il massimo teorico previsto dal principio dell'autodiradamento è la base per la formulazione di diversi indici di densità relativa (STOUT e LARSON, 1988; LONG *et al.*, 2004). Gli indici di densità relativa possono descrivere efficacemente le dinamiche evolutive dei popolamenti forestali, essendo in grado di fornire stime sintetiche della competizione intraspecifica e delle variabili strutturali da essa dipendenti (mortalità, copertura, vitalità della chioma, qualità del fusto, incremento, possibilità di rinnovazione del popolamento o di successione da parte di altre specie) (tabella 1).

Secondo REINEKE (1933), quando le dimensioni medie degli individui sono espresse attraverso il diametro medio del popolamento, la retta di autodiradamento per boschi puri, coetanei e non disturbati di qualsiasi specie assume una pendenza di  $-1,605$ . Ulteriori indagini hanno rivelato varia-

Tabella 1 – Valori di densità relativa corrispondenti a differenti fasi evolutive dei popolamenti forestali, secondo (a) DREW e FLEWELLING (1977, 1979) e (b) LONG (1985).

– *Relative density thresholds representing different stand developmental stages according to (a) DREW and FLEWELLING (1977, 1979) and (b) LONG (1985).*

(a)	(b)	
0-15%	0-25%	L'accrescimento complessivo del popolamento aumenta proporzionalmente alla sua densità.
15-40%	25-35%	Chiusura delle chiome e inizio delle dinamiche competitive; l'incremento per unità di superficie aumenta con la densità, ma l'accrescimento individuale diminuisce a causa della competizione.
40-55%	35-60%	Le opposte influenze della densità in aumento e della crescita individuale sempre più ridotta risultano in una perfetta compensazione; la crescita complessiva del popolamento è indipendente dalla densità relativa.
55-80%	60-80%	Completo sfruttamento delle risorse stagionali. Oltre tale livello i popolamenti entrano nella zona di imminente mortalità da competizione; l'incremento può ridursi considerevolmente e il rischio di mortalità dovuta alla competizione aumenta.
80-100%	80-100%	La competizione per le risorse è estrema ed è stata elevata per un periodo esteso. Alberi cresciuti in queste condizioni perdono la capacità di rispondere ad ulteriori <i>input</i> di risorse (luce, umidità e nutrienti), anche nel caso in cui i disturbi naturali o i trattamenti selvicolturali riducessero la densità mediante la rimozione degli alberi o della vegetazione adiacente.

zioni sistematiche nella pendenza della retta, che generalmente è più ripida per le specie che meglio tollerano la competizione (ZEIDE, 1987). La legge dell'autodiradamento è oggi ritenuta uno standard efficace per descrivere la struttura dei popolamenti e prevederne l'evoluzione, a patto di introdurre nel modello le differenze autoecologiche attraverso coefficienti specie-specifici (OSAWA e SUGITA, 1989).

Lo *Stand Density Index* (SDI) proposto da REINEKE (1933) esprime l'ipotetica densità assunta da un popolamento forestale ad un diametro medio di 25 cm considerando costante l'intensità della competizione intraspecifica, assumendo cioè uno sviluppo ideale del popolamento parallelo alla linea di autodiradamento. STAGE (1968) ha proposto un metodo per il calcolo dello SDI anche in popolamenti disetanei, basato sulla somma dei contributi relativi di ogni albero o classe diametrica allo SDI totale (tabella 2). La formulazione di Stage è considerata l'espressione più generale dello SDI, poiché applicabile a strutture sia coetanee che disetanee o irregolari (LONG e DANIEL, 1990; FIEDLER e CULLY, 1995; WOODALL *et al.*, 2003).

La densità relativa dei popolamenti è stimata confrontando il loro SDI con il valore massimo che tale parametro può assumere per la specie in esame. La tabella 3 riassume i valori del massimo SDI per alcune specie studiate da REINEKE (1933) e da autori successivi; la maggior parte di questi lavori è stata effettuata in America settentrionale, mentre poche ricerche sono state condotte per valutare lo SDI delle principali specie forestali europee, con risultati spesso discordi (DANIEL e STERBA, 1980; BACHOFEN e ZINGG, 2001; BRASSEL e LISCHKE, 2001; DEL RIO *et al.*, 2001).

L'utilità pratica delle misure di densità relativa è rivolta alla pianificazione degli interventi selvicolturali. Strumenti molto utilizzati nella selvicoltura nordamericana sono gli *Stand Density Management Diagram*, utili alla programmazione, visualizzazione e valutazione delle differenti alternative di intervento (JACK e LONG, 1996). Questi diagrammi permettono di rappresentare graficamente diversi regimi di gestione della densità, affiancando la traiettoria di autodiradamento di popolamenti non gestiti a quella corrispondente a diverse ipotesi di trattamento. A seconda degli obiettivi selvicolturali, espressi mediante specifici livelli di densità relativa, è possibile identificare la necessità di controllo della densità, le alternative di gestione, l'epoca d'intervento e la densità residua desiderata. L'utilità di tali strumenti risiede nel fatto che la traiettoria di autodiradamento di ciascuna specie non sembra essere influenzata dalle differenze in termini di fertilità stagionale. I popolamenti situati in siti più produttivi raggiungono più velocemente i diversi stadi del loro sviluppo, mantenendo però la medesima traiettoria di autodiradamento rispetto ai popolamenti caratterizzati da una fertilità minore (LONG *et al.*, 2004).

Tabella 2 – Formulazione dello *Stand Density Index* per popolamenti coetanei (REINEKE, 1933) e disetanei (LONG e DANIEL, 1990);  $d_m$  = diametro medio del popolamento (cm),  $N$  = densità del popolamento (piante ad ettaro),  $d_i$  = diametro medio della  $i$ -esima classe diametrica (cm),  $N_i$  = numero di piante ad ettaro nella  $i$ -esima classe diametrica,  $b$  = coefficiente angolare della retta di autodiradamento.

– *Stand Density Index equation for even-aged* (REINEKE, 1933) and *uneven-aged* (LONG and DANIEL, 1990) stands;  $d_m$  = stand quadratic mean diameter (cm),  $N$  = stand density (trees per hectare),  $d_i$  = quadratic mean diameter of the  $i$ -th diameter class (cm),  $N_i$  = trees per hectare of the  $i$ -th diameter class,  $b$  = slope of self-thinning line.

Boschi coetanei	$SDI = N \left( \frac{d_m}{25} \right)^b$
Boschi disetanei	$SDI = \sum N_i \left( \frac{d_i}{25} \right)^b$

Tabella 3 – *Stand Density Index* massimi di alcune specie forestali europee e nordamericane.

– *Maximum Stand Density Indices for some European and North American forest tree species.*

Specie	SDI	Area di riferimento	Autore
<i>Larix decidua</i> Mill.	600	Alpi austriache	DANIEL e STERBA (1980)
<i>Quercus</i> spp.	600	Alpi austriache	DANIEL e STERBA (1980)
<i>Abies alba</i> Mill.	961	Alpi svizzere	BRASSEL e LISCHKE (2001)
<i>Fagus sylvatica</i> L.	750	Alpi austriache	DANIEL e STERBA (1980)
<i>Pinus palustris</i> Mill.	988	America settentrionale	REINEKE (1933)
<i>Pinus echinata</i> Mill.	988	America settentrionale	REINEKE (1933)
<i>Abies alba</i> Mill.	1000	Alpi austriache	DANIEL e STERBA (1980)
<i>Pinus taeda</i> L.	1112	America settentrionale	REINEKE (1933)
<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	1210	California	REINEKE (1933)
<i>Pinus sylvestris</i> L.	1444	Sistema Central (Spagna)	DEL RIO <i>et al.</i> (2001)
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco	1482	California	REINEKE (1933)
<i>Tsuga heterophylla</i> (Raf.) Sarg.	1950	America settentrionale	LONG (1985)
<i>Pinus ponderosa</i> Douglas	2050	America settentrionale	LONG (1985)
<i>Abies concolor</i> (Gordon & Glend.) Lindl.	2050	America settentrionale	REINEKE (1933)
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	2300	Alpi svizzere	BACHOFEN e ZINGG (2001)
<i>Abies magnifica</i> A. Murr.	2470	California	REINEKE (1933)
<i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl.	2470	America settentrionale	REINEKE (1933)

Lo SDI può essere utilizzato anche per quantificare alcune delle funzioni extra-produttive del bosco, come dimostrano le ricerche rivolte alla valutazione degli habitat forestali per la fauna selvatica (SMITH e LONG, 1987; STURTEVANT *et al.*, 1996; SHAW, 2000) o alla stima del ruolo protettivo del bosco nei confronti della caduta di massi (BRASSEL e LISCHKE, 2001). Infine, lo SDI è stato recentemente adottato come parametro utile ad identificare e confrontare diversi stadi di una successione (LONG e DANIEL, 1990; RISCH *et al.*, 2003, 2004).

Gli obiettivi di questa ricerca sono: *a*) calcolare lo *Stand Density Index* massimo dei popolamenti di abete bianco (*Abies alba* Mill.) del Piemonte

meridionale; *b*) valutare la sua efficacia come descrittore delle dinamiche competitive all'interno dei popolamenti esaminati; *c*) determinare la curva di auto-diradamento (YODA *et al.*, 1963) dei popolamenti oggetto di studio.

## MATERIALI E METODI

L'abete bianco (*Abies alba* Mill.) è, dopo il larice (*Larix decidua* Mill.), la principale conifera in Piemonte, sia per l'estensione dei popolamenti, sia per il loro interesse selvicolturale. In Piemonte esistono circa 8.300 ettari di fustaie pure di abete (ISTAT, 1997), la cui netta prevalenza rispetto alle formazioni miste è dovuta ad un'intensa selezione antropica; attualmente l'abete bianco è in fase di espansione in quasi tutto il territorio piemontese (DOTTA e MOTTA, 2000).

Nel Piemonte meridionale le abetine costituiscono un insieme relativamente omogeneo e concentrato rispetto all'intero contesto regionale, formando popolamenti caratteristici e ben localizzati. I dati utilizzati per la presente ricerca provengono dai dati dell'inventario forestale realizzato nell'ambito della redazione dei Piani Forestali Territoriali della Regione Piemonte (LICINI e TERZUOLO, 2001).<sup>1</sup> Il campione è formato dalle aree di saggio rilevate nella provincia di Cuneo in cui la categoria forestale fosse rappresentata da una abetina oppure l'albero dominante fosse un abete bianco. Il protocollo di rilievo utilizzato (IPLA, 2002) definisce le abetine come popolamenti in cui l'abete bianco esercita una copertura maggiore del 50%; negli altri casi la categoria forestale è generalmente rappresentata da rimboschimenti, oppure da contesti in cui l'abete risulta legato in modo particolare al dinamismo del popolamento (come nel caso delle faggete) o è in fase di insediamento a fianco delle specie preesistenti (ad esempio in lariceti maturi di origine artificiale). Comprendendo nell'analisi questi contesti, indicativi delle diverse fasi di sviluppo dei popolamenti a partecipazione di abete e delle dinamiche relative alla mescolanza tra le specie, lo SDI può essere riferito non tanto ad una precisa categoria forestale quanto alla specie in se stessa, nelle differenti situazioni strutturali in cui i suoi popolamenti si possono presentare.

Sono state individuate 173 aree di saggio (figura 2) di forma circolare e raggio variabile in funzione della densità del soprassuolo: secondo il proto-

---

<sup>1</sup> Le elaborazioni effettuate nella presente ricerca sono basate sulle informazioni prodotte nell'ambito degli studi per la pianificazione forestale territoriale realizzati dalla Regione Piemonte tramite IPLA S.p.A. con cofinanziamento fondi strutturali dell'Unione Europea.

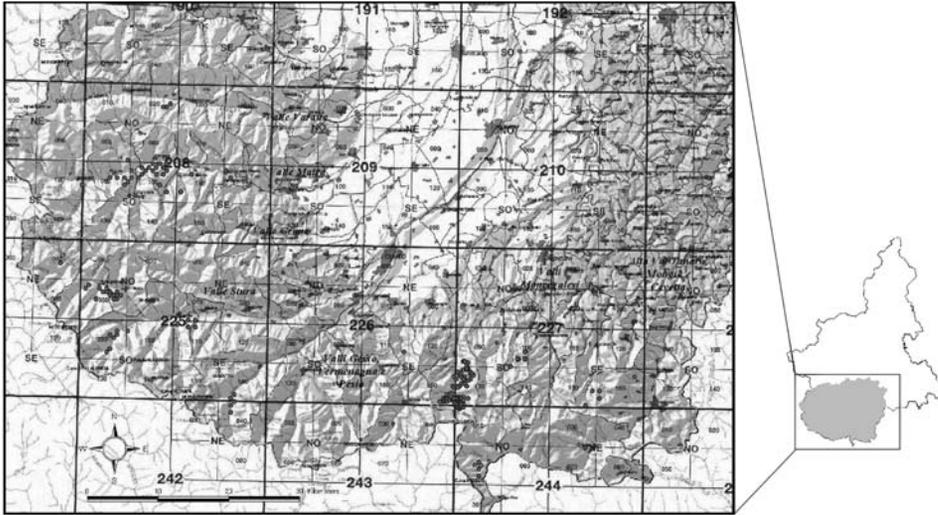


Figura 2 – Areale dell'abete bianco in provincia di Cuneo e localizzazione delle aree di campionamento; sono indicati i limiti territoriali delle Aree Forestali in cui è suddiviso il territorio oggetto di studio.

– *Silver fir distribution in Cuneo district and plot localization, with boundaries of Forest Districts in the study area.*

collo di rilievo, ciascuna area di saggio doveva contenere da 12 a 18 fusti con diametro maggiore di 17,5 cm (IPLA, 2002). La superficie delle aree di saggio esaminate risulta così compresa tra 131,91 e 743,72 m<sup>2</sup>.

La valutazione della densità relativa del campione ha richiesto la descrizione quantitativa dell'autodiradamento nei popolamenti in esame. Per individuare la retta di massima densità è stato necessario adeguare il campione a quanto previsto da Reineke, che calcolò la relazione riferendosi a popolamenti puri; per questo, sono state prese in considerazione solamente le aree di saggio in cui l'abete avesse un contributo superiore all'80% dell'area basimetrica totale, una percentuale ritenuta indice di elevata purezza della specie (SMITH e WOODS, 1997). Si è così determinato un sottocampione di 77 aree di saggio, concentrate prevalentemente in Valle Pesio, Valle Maira e Valle Stura.

I coefficienti della retta di autodiradamento sono stati ottenuti secondo la metodologia proposta da SAUNDERS e PUETTMANN (2000). Il sottocampione è stato suddiviso secondo il diametro medio dei popolamenti in 19 classi di uguale ampiezza; per ciascuna classe è stato selezionato il popolamento caratterizzato dalla densità maggiore. Si è inteso in tal modo limitare l'analisi ai popolamenti in cui si potesse presumere il verificarsi di una

elevata intensità di competizione. I coefficienti della linea di autodiradamento sono stati calcolati mediante regressione log-lineare (SPSS INC., 1999) tra i valori di densità e diametro medio nei 19 popolamenti così individuati. I coefficienti di regressione sono stati determinati a partire dal maggior residuo positivo, in modo da posizionare la retta al di sopra di tutti i dati per rappresentare la massima densità raggiungibile in popolamenti di una data dimensione media (SAUNDERS e PUETTMANN, 2000). In analogia con il procedimento seguito da Reineke, il valore ottenuto per la pendenza della retta di massima densità nell'abete bianco è stato utilizzato come esponente per calcolare lo SDI di ciascun popolamento nella sua forma additiva, applicabile a popolamenti sia coetanei che disetanei (LONG e DANIEL, 1990; SHAW, 2000).

Come indice di densità relativa per i popolamenti esaminati è stato utilizzato il rapporto tra lo SDI calcolato in ciascuno di essi e il valore massimo individuato nel campione. Il ricorso ad una misura relativa rende possibile superare il problema della scelta della formulazione più corretta per lo *Stand Density Index*: indipendentemente da come questo venga calcolato, la sua posizione relativa rispetto al valore massimo rimane costante (DIXON, 1988).

I valori di densità relativa ottenuti per i popolamenti del campione sono stati associati a diversi livelli di competizione intraspecifica secondo la scala proposta da LONG (1985) e messi a confronto con le dinamiche strutturali descritte per le abetine comprese nell'area di studio (DOTTA e MOTTA, 2000). La capacità dello SDI di rappresentare le caratteristiche strutturali dei popolamenti è stata ulteriormente approfondita esaminando il coefficiente di correlazione R tra lo SDI e alcune variabili stazionali e strutturali di ogni popolamento, quali la composizione specifica, la copertura, il grado di disetaneità, la quota, la fertilità stazionale (individuata in base al tipo forestale cui l'abetina è assegnata nell'inventario regionale) e la presenza di rinnovazione. La distribuzione spaziale della densità relativa dei popolamenti è stata infine analizzata mediante un software GIS, elaborando per ciascuna Area forestale una cartografia di dettaglio che ha adottato come tematismo di base i tipi forestali e le classi di uso del suolo individuate dall'inventario forestale regionale (IPLA, 2002).

## RISULTATI

I popolamenti esaminati sono situati nei piani montano inferiore, montano superiore e subalpino, fino ad una quota massima di 1900 metri, e sono caratterizzati da parametri strutturali e stazionali ampiamente eterogenei, sintetizzati dalla tabella 4.

Tabella 4 – Parametri dendrometrici e strutturali di sintesi del campione.  
– *Synthesis of tree size and stand structure indicators in the sample.*

	N	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.
Quota (m)	173	850	1900	1398	216,1
Superficie area (ha)	173	0,013	0,074	0,033	0,011
N/ha	173	150	2105	778	376
G/ha (m <sup>2</sup> )	173	3,1	139,6	38,2	17,5
D medio (cm)	173	9,6	48,4	25,9	6,8
N% abete	173	2,89	100,0	53,9	28,4
G% abete	173	1,5	100,0	71,0	24,8
Rinnovazione/ha	173	0	836	39	102

Il grado di copertura delle chiome ha una variabilità limitata, poiché più del 75% delle aree presenta valori compresi tra il 60 e il 100% e il 48% di esse mostra una chiusura delle chiome pressoché totale (80-100%). Nei popolamenti che formano il campione ricorrono con uguale frequenza (22,6%) i tipi strutturali relativi alla fustaia disetanea e a quella coetanea; una piccola parte dei popolamenti è classificata come ceduo maturo o invecchiato (4,8%) ovvero ha una struttura irregolare (1,6%). La percentuale residua è costituita da popolamenti il cui tipo strutturale non è indicato in inventario.

La retta di autodiradamento, ottenuta tramite regressione log-lineare tra il diametro medio e la densità dei popolamenti selezionati secondo la metodologia descritta, ha un'intercetta pari a 5,254 e un coefficiente angolare di -1,491 ( $R^2 = 0,3425$ ). L'analisi della varianza sulla regressione dimostra che il modello è in grado di spiegare una parte della variabilità totale dei dati significativamente superiore a quella dovuta al caso ( $P = 0,008$ ). Il buon adattamento della relazione individuata ai dati sperimentali è dimostrato anche dall'analisi dei residui, che presentano un andamento prossimo a quello normale e sono collocati in modo simmetrico rispetto ai valori attesi della variabile dipendente (figura 3).

Lo SDI per i popolamenti in esame varia da un minimo di 82 a un massimo di 1359. Quest'ultimo valore, corrispondente allo SDI massimo per popolamenti di abete bianco ad elevato grado di purezza (area basimetrica superiore all'80% di quella totale), è stato utilizzato come massimo SDI per la specie (figura 4).

La distribuzione di frequenza delle classi di densità relativa riscontrate nel campione, distinte secondo LONG (1985), ha un andamento normale; la maggioranza dei valori è concentrata nella classe di densità relativa compresa tra il 35% e il 60%, che raccoglie il 55% dei dati del campione. Densità relative superiori all'80% sono assai poco rappresentate (figura 5).

La correlazione tra lo SDI e i parametri stazionali e strutturali dei

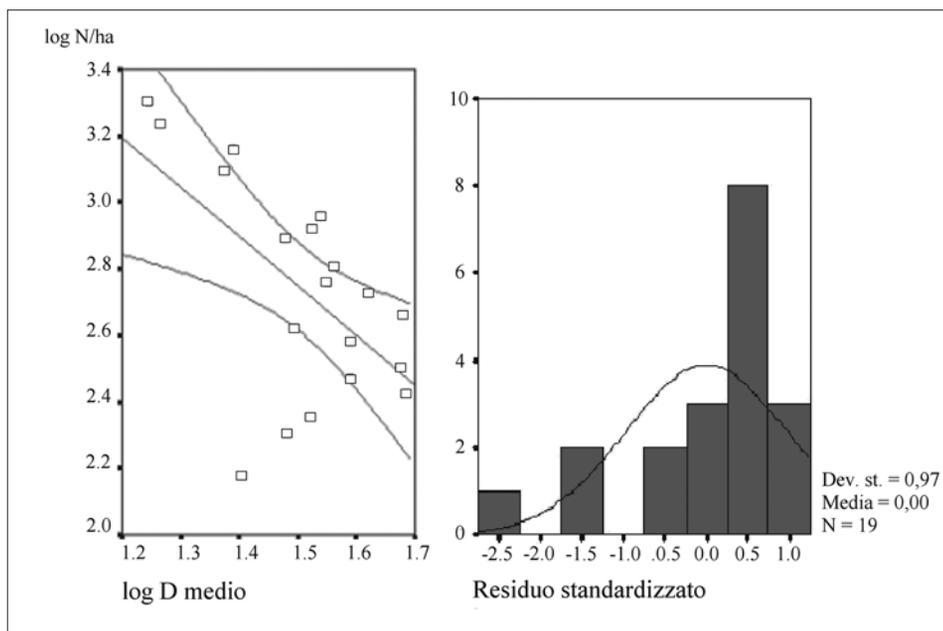


Figura 3 – Determinazione della linea di massima densità nel campione; regressione lineare tra i logaritmi del diametro medio e della densità in 19 popolamenti selezionati per l'elevato grado di affollamento. Il coefficiente angolare della retta è  $-1,491$ ;  $R^2$  vale  $0,342$ . Rappresentazione grafica del modello con intervalli di confidenza ( $P = 0,05$ ) e analisi dei residui.

– Determining the maximum density line for the sample stands; log-linear regression between quadratic mean diameter and stand density in 19 highly crowded stands. Slope of the line is  $-1,491$ ,  $R^2$  is  $0,342$ . Model plot on log axes with confidence intervals for  $p = 0,05$  and residual analysis.

popolamenti in esame (figura 6) si è dimostrata altamente significativa ( $P < 0,01$ ) per variabili quali la copertura delle chiome, l'area basimetrica ad ettaro (proporzionalità diretta) e il grado di disetaneità dei popolamenti (proporzionalità inversa,  $R = -0,37$ ). Quest'ultimo è espresso mediante l'asimmetria (*skewness*) della distribuzione diametrica; valori positivi di *skewness* indicano una distribuzione dei diametri spostata verso sinistra, quindi una struttura a maggior grado di disetaneità (elevata frequenza dei diametri più piccoli). La chiusura completa delle chiome (copertura del 100%) avviene in media ad una densità relativa del 54%, ma in alcuni popolamenti si verifica già a densità relative comprese tra il 16% e il 33%. Si sono inoltre dimostrate significative ( $0,05 < P < 0,01$ ) le correlazioni tra lo SDI e la quota dei popolamenti ( $R = -0,23$ ) e tra lo SDI e la consistenza numerica della rinnovazione ( $R = -0,24$ ). Infine, se il contributo specifico dell'abete bianco è espresso in termini di area basimetrica rispetto al totale, lo SDI sembra assumere un andamento crescente per un crescente grado di purezza dei popolamenti, seppure la relazione non rivesta signifi-

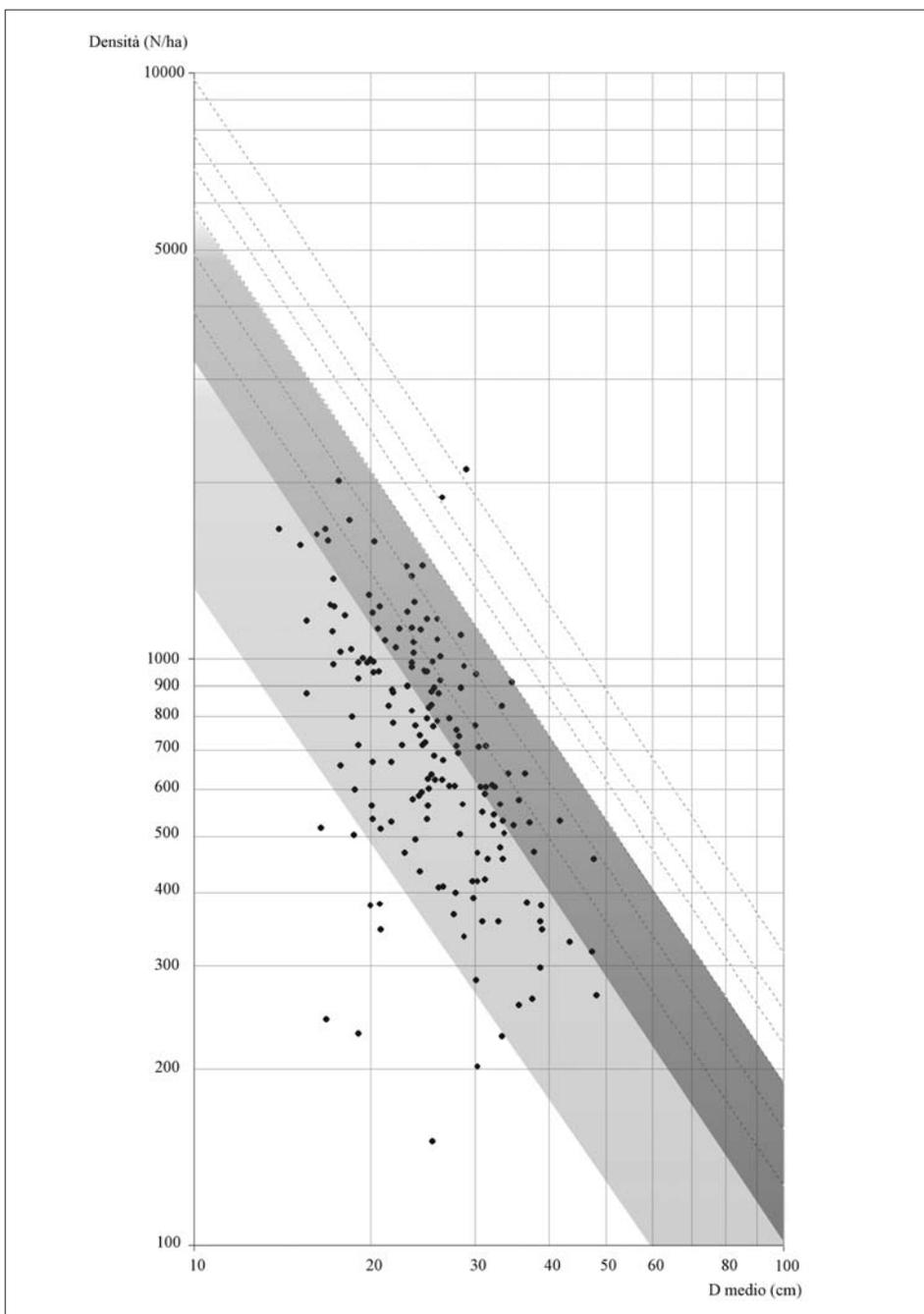


Figura 4 – Linea di massima densità per i popolamenti di abete bianco (*Abies alba* Mill.) della provincia di Cuneo. Lo *Stand Density Index* massimo è 1359; le linee tratteggiate indicano valori di riferimento di *Stand Density Index*. In scuro la zona di autodiradamento e di intensa mortalità densità-dipendente (densità relativa superiore al 60%), in chiaro la zona in cui inizia ad esercitarsi la competizione intraspecifica (densità relativa superiore al 25%) secondo le indicazioni di LONG (1985).

– *Maximum density line for Silver Fir (Abies alba Mill.) stands in Cuneo district. Maximum Stand Density Index is 1359; dashed lines represent reference SDI values. Dark grey represents the self-thinning zone, or “zone of imminent competition mortality” (relative density greater than 60%); light grey represents the “onset of intraspecific competition” zone (relative density greater than 25%) according to LONG (1985).*

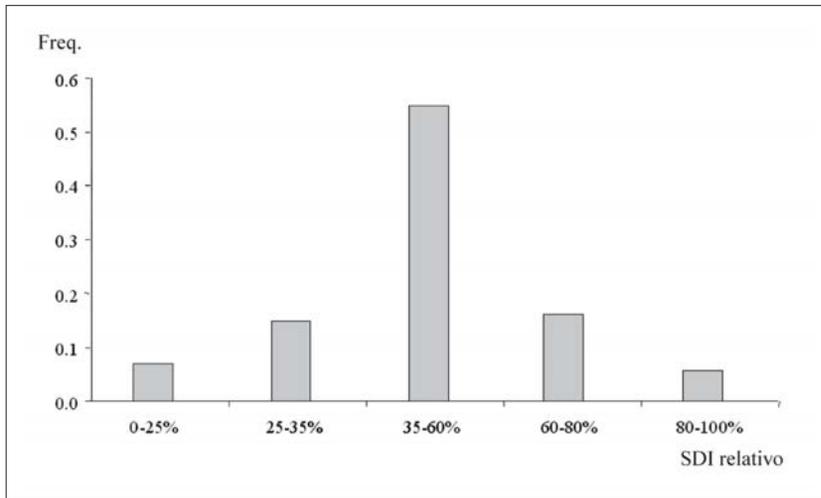


Figura 5 – Densità relativa nel campione, frequenze relative per classi (secondo LONG, 1985).  
 – Relative density of sample stands, relative frequency by class (according to LONG, 1985).

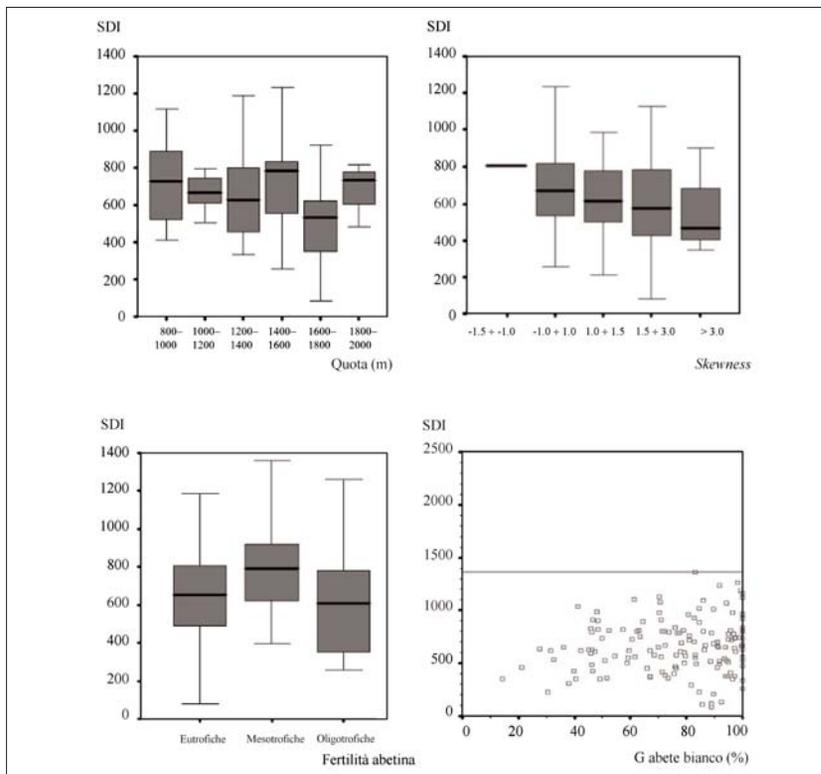


Figura 6 – Correlazioni tra Stand Density Index e quota, grado di disetaneità (asimmetria della distribuzione diametrica), fertilità e composizione specifica dei popolamenti.  
 – Correlation between Stand Density Index and elevation, uneven-agedness (skewness of DBH distribution), site fertility and species composition.

catività statistica ( $R = 0,08$ ;  $P > 0,05$ ). Il raffronto tra SDI e classe di fertilità delle abetine, determinata in base al tipo forestale individuato in ciascun popolamento, non evidenzia una relazione significativa tra queste due variabili ( $R = 0,14$ ;  $P > 0,05$ ); anche la rappresentazione cartografica non mostra alcuna associazione tra lo SDI e la distribuzione territoriale o la fertilità dei popolamenti.

## DISCUSSIONE

Lo SDI massimo del campione totale rappresenta una densità teorica di 1359 piante ad ettaro ad un diametro medio di 25 cm. Tale valore supera del 35-40% quelli riportati per l'abete bianco in Europa (DANIEL e STERBA, 1980; BRASSEL e LISCHKE, 2001), ma è inferiore (50-100%) agli SDI massimi riportati per specie ecologicamente simili in America settentrionale (REINEKE, 1933). Il valore ottenuto da BRASSEL e LISCHKE (2001) è stato calcolato in abetine soggette a regolari interventi di diradamento e utilizzazione. I tagli intercalari mantengono la densità dei popolamenti entro livelli prefissati e non consentono il raggiungimento della densità massima; si ritiene pertanto che popolamenti lasciati a libera evoluzione o sottoposti a gestione irregolare, comuni nel campione esaminato, possano raggiungere valori maggiori di SDI.

La linea di autodiradamento individuata per l'abete bianco è meno ripida di quelle riportate in letteratura per specie assai più eliofile (HYNENEN, 1993; DEL RIO *et al.*, 2001), sebbene i rispettivi coefficienti angolari non presentino differenze statisticamente significative. Per contrasto, YODA *et al.* (1963) e ZEIDE (1987) hanno rilevato pendenze più accentuate per le specie che tollerano meglio la competizione. Una prima causa di tale discrepanza può essere individuata nella soglia minima di cavallettamento indicata dal protocollo di rilievo, pari a 7,5 cm (IPLA, 2002). La mancata considerazione dello strato arboreo inferiore ha come conseguenza la sovrastima del diametro medio dei popolamenti, dunque una potenziale sovrastima della pendenza della linea di autodiradamento. Fonte ulteriore di distorsione è la carenza di informazioni dettagliate riguardanti l'origine dei popolamenti e i processi dinamici che vi sono avvenuti o che sono ancora in atto. Infatti, la selezione di popolamenti caratterizzati da una densità «massima» trova una limitazione non solo nel fatto che il conseguimento di tale densità è reso difficile dai diversi fattori di mortalità che intervengono ad alti livelli di competizione (STERBA e MONSERUD, 1993), ma anche dall'influenza dei disturbi di origine naturale e antropica, che nella presente ricerca non è stato possibile eliminare.

Il *range* di densità relative che caratterizza il campione in esame è ampio, ma nella maggior parte dei casi (55%) i popolamenti sono caratterizzati da livelli di densità relativa moderati, compresi tra il 35% e il 60%; circa il 20% del campione ha una densità relativa minore del 35% (figura 5). Secondo LONG (1985) questi valori rappresentano una zona di bassa competizione intraspecifica, superiore all'intensità di competizione corrispondente alla chiusura della copertura delle chiome, ma non ancora tale da innescare dinamiche di autodiradamento. Tale situazione è coerente con le dinamiche strutturali ed ecologiche descritte per le abetine del Piemonte meridionale (DOTTA e MOTTA, 2000). Dai valori di densità relativa riscontrati si può ipotizzare che la maggior parte dei popolamenti sia ancora in fase di crescita attiva, relativamente libera da mortalità densità-dipendente. In molte zone sono infatti trascorsi pochi decenni dall'interruzione delle intense utilizzazioni avvenute negli anni '50 e '60 del ventesimo secolo (MOTTA e GARBARINO, 2003), un periodo insufficiente a far giungere a maturità popolamenti un tempo intensamente sfruttati. Saranno necessari ancora diversi anni perché nelle abetine in esame la competizione intraspecifica assuma un'intensità tale da causare il raggiungimento dei livelli di densità-soglia.

La relazione di proporzionalità inversa tra SDI e quota non trova paragoni in letteratura e, sebbene i dati siano piuttosto dispersi, può rappresentare un'utile base per valutare gli effetti delle caratteristiche stazionali sulla densità relativa. Le abetine situate a quote superiori mostrano infatti una debole tendenza verso densità relative più moderate, che si ritengono la conseguenza di condizione stazionali e climatiche più severe.

Il crescere dello SDI in popolamenti con un maggior grado di disetaneità (*skewness* della distribuzione diametrica) sembra suggerire che la struttura disetanea consenta una migliore allocazione delle risorse stazionali, cosicché i popolamenti possono sopportare densità maggiori senza soffrire per la competizione intraspecifica.

La relazione di proporzionalità tra SDI e composizione specifica, seppure non statisticamente qualificata, sembra suggerire che l'abete bianco abbia, come specie, uno SDI massimo più elevato delle altre specie che partecipano ai suoi popolamenti. All'aumentare della componente di abete lo SDI si avvicina al valore massimo per questa specie, mentre quando la partecipazione dell'abete si fa più scarsa lo SDI tende ad assumere un valore minore, che approssima il valore massimo della specie principale del popolamento.

Nel proseguimento della ricerca un ulteriore obiettivo consisterà nella validazione dei diversi modelli di autodiradamento proposti in letteratura,

che richiede la disponibilità di dati dendrometrici non rilevati in questo lavoro e di rilievi ripetuti nel tempo, ottenibili predisponendo aree di studio permanenti. Ulteriori ricerche sono inoltre necessarie per valutare con maggiore precisione il massimo SDI dell'abete bianco come specie, estendendo l'analisi alle altre zone del suo areale regionale e nazionale.

## CONCLUSIONI

Le misure di densità relativa, ed in particolare lo *Stand Density Index*, si sono rivelate modelli efficaci per descrivere le dinamiche strutturali e i processi competitivi che interessano i popolamenti di abete bianco nel Piemonte meridionale. La loro semplicità di calcolo, unitamente alla sensibilità a strutture e intensità di competizione differenti, le rende adatte ad essere utilizzate come parametri descrittivi dei popolamenti forestali. Lo *Stand Density Index* può inoltre essere utilizzato come indice di competizione intraspecifica nell'elaborazione di modelli di accrescimento; costituisce pertanto un'utile base per elaborare previsioni di sviluppo dei popolamenti e confrontarle con gli obiettivi gestionali desiderati.

## SUMMARY

### Evaluating Stand Density Index in Southern Piedmont Silver Fir (*Abies alba* Mill.) stands

Plant populations and their competitive dynamics are often described by forest structure and stand density estimates. Forest stand density can be described by absolute or relative measures; relative density indexes compare an absolute stand density with a reference density given by mathematical models of stand development. Reineke's Stand Density Index (SDI) is a relative density index based on the self-thinning law, that is the inverse-proportional relationship between stand density and mean tree size in developing stands. A species' maximum SDI expresses the upper limit of all possible combination of density and mean tree size that can be observed in monospecific stands and represents maximum achievable competition. Relative stand density comes from the ratio between individual stands' SDI and maximum SDI for the species.

The aim of this research is evaluating maximum Stand Density Index in southern Piedmont silver fir (*Abies alba* Mill.) stands, in order to assess their relative density and supply a suitable model of stand structure dynamics. Data consist of 173 plot areas sampled among silver fir stands during the last regional Forest Inventory; only monospecific stands (silver fir basal area greater than 80% of total basal area) were taken into account for the estimation of the species' self-thinning line. Maximum density line was estimated by linear regression on a log-log scale between density and quadratic mean diameter in the selected stands. The slope of the line is  $-1,491$ ; this value was used to calculate the Stand Density Index of each stand. The greater SDI in the sample stands is

1359, which is proposed as the species' maximum value. Relative stand density ranges in most cases from 35% to 60%; this shows that the stands are still undertaking resource competition levels lower than the species' achievable maximum. This description fits well to the structure and silvicultural history of Southern Piedmont Silver Fir stands.

## BIBLIOGRAFIA

- BACHOFEN H., ZINGG A., 2001 – *Effectiveness of structures improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (Picea abies (L.) Karst) stands*. Forest Ecology and Management, 145: 137-149.
- BRASSEL P., LISCHKE H., 2001 – *Swiss national forest inventory: methods and models of the second assessment*. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf.
- DANIEL T.W., STERBA H., 1980 – *Zur Ansprache der Bestandesdichte*. Allgemeine Forstzeitung, 91: 155-157.
- DEAN T.J., BALDWIN V.C., 1996 – *Crown management and stand density* – In: «*Growing trees in a greener world: industrial forestry in the 21st century, 35th LSU Forestry Symposium*», a cura di M.C. Carter. Louisiana State University, Baton Rouge, p. 148-159.
- DEL RIO M., MONTERO G., BRAVO F., 2001 – *Analysis of diameter-density relationships and self-thinning in non-thinned even-aged Scots pine stands*. Forest Ecology and Management, 142: 79-87.
- DIXON G.E., 1988 – *Crown ratio modelling using Stand Density Index and the Weibull distribution*. USDA Forest Service, Fort Collins. Internal Report on file.
- DOTTA A., MOTTA R., 2000 – *Boschi di conifere montani: indirizzi selvicolturali*. Blu Edizioni, Peveragno.
- DREW J.T., FLEWELLING J.W., 1977 – *Some recent Japanese theories of yield-density relationships and their application to Monterey pine plantations*. Forest Science, 23: 517-534.
- DREW J.T., FLEWELLING J.W., 1979 – *Stand density management: an alternative approach and its application to Douglas-fir plantations*. Forest Science, 25: 518-532.
- FIEDLER C.E., CULLY J.E., 1995 – *A silvicultural approach to develop Mexican spotted owl habitat in southwest forests*. Western Journal of Applied Forestry, 10: 144-148.
- GRIME J.P., 1979 – *Plant strategies and vegetation processes*. John Wiley, New York.
- HARPER J.L., 1977 – *Population biology of plants*. Academic Press, New York.
- HYNYNEN J., 1993 – *Self-thinning models for even-aged stand of Pinus sylvestris, Picea abies and Betula pendula*. Scandinavian Journal of Forest Research, 8: 326-336.
- IPLA, 2002 – *Manuale dei rilievi inventariali di campagna*. IPLA, Torino.
- ISTAT, 1997 – *Statistiche forestali. Anno 1994 (Annuario n. 47)*. ISTAT, Roma.
- JACK S.B., LONG J.N., 1996 – *Linkages between silviculture and ecology: an analysis of density management diagrams*. Forest Ecology and Management, 86: 205-220.

- LICINI F., TERZUOLO P., 2001 – *La pianificazione forestale in Piemonte: i piani forestali territoriali*. Sherwood, 68: 5-12.
- LONG J.N., 1985 – *A practical approach to density management*. Forestry Chronicle, 61: 23-27.
- LONG J.N., DANIEL, T.W., 1990 – *Assessment of growing stock in uneven aged stands*. Western Journal of Applied Forestry, 5: 93-96.
- LONG J.N., DEAN T.J., ROBERTS S.D., 2004 – *Linkages between silviculture and ecology: examination of several important conceptual models*. Forest Ecology and Management, 200: 249-261.
- MOTTA R., GARBARINO F., 2003 – *Stand history and its consequences for the present and future dynamic in two silver fir (Abies alba Mill.) stands in the high Pesio Valley (Piedmont, Italy)*. Annals of Forest Science, 60: 361-370.
- NEWTON P.F., JOLLIFFE P.A., 1998 – *Assessing processes of intraspecific competition within spatially heterogeneous black spruce stands*. Canadian Journal of Forest Research, 28: 259-275.
- OSAWA A., SUGITA S., 1989 – *The self-thinning rule: another interpretation of Weller's results*. Ecology, 70: 279-283.
- REINEKE L.H., 1933 – *Perfecting a stand-density index for even-aged forests*. Journal of Agricultural Research, 46: 627-638.
- RISCH A.C., NAGEL L.M., SCHÜTZ M., KRÜSI B.O., KIENAST F., BUGMANN H., 2003 – *Structure and long-term development of subalpine Pinus montana Miller and Pinus cembra L. forests in the central European Alps*. Forstwissenschaftliches Centralblatt, 122: 219-230.
- RISCH A.C., SCHÜTZ M., KRÜSI B.O., KIENAST F., WILDI O., BUGMANN H., 2004 – *Detecting successional changes in long-term empirical data from subalpine conifer forests*. Plant Ecology, 172: 95-105.
- SAUNDERS M.R., PUETTMANN K.J., 2000 – *A preliminary white spruce density management diagram for the lake states*. University of Minnesota, St. Paul.
- SHAINSKY L.J., RADOSEVICH S.R., 1992 – *Mechanisms of competition between Douglas-Fir and Red Alder seedlings*. Ecology, 73: 30-45.
- SHAW J.D., 2000 – *Application of Stand Density Index to irregularly structured stands*. Western Journal of Applied Forestry, 15: 40-42.
- SMITH F.W., LONG J.N., 1987 – *Elk hiding and thermal cover guidelines in the context of lodgepole pine stand density*. Western Journal of Applied Forestry, 2: 6-10.
- SMITH D.J., WOODS, M.E., 1997 – *Red pine and white pine density management diagrams for Ontario*. Ontario Ministry of Natural Resources, Sault Ste. Marie.
- SPSS INC., 1999 – *SPSS Base 10.0 for Windows User's Guide*. SPSS Inc., Chicago.
- STAGE A.R., 1968 – *A tree-by-tree measure of site utilization for grand fir related to stand density index*. USDA Forest Service, Ogden.
- STERBA H., MONSERUD R.A., 1993 – *The maximum density concept applied to uneven-aged mixed-species stands*. Forest Science, 39: 432-452.
- STOUT S.L., LARSON B.C., 1988 – *Relative stand density: why do we need to know?* – In: «Proceedings of future forests of the mountain west: a stand culture symposium», a cura di W.C. Schmidt. USDA Forest Service, Logan, p. 73-79.

- STURTEVANT B.R., BISSONNETTE J.A., LONG J.N., 1996 – *Temporal and spatial dynamics of boreal forest structure in western Newfoundland: silvicultural implications for marten habitat management*. Forest Ecology and Management, 87: 13-25.
- WEINER J., THOMAS S.C., 1986 – *Size variability and competition in plant monocultures*. Oikos, 47: 211-222.
- WHITE J., 1980 – *Demographic factors in populations of plants* – In: «*Demography and evolution in plant populations*», a cura di O.T. Solbrig. Blackwell, Oxford, p. 21-48.
- WOODALL C.W., FIEDLER C.E., MILNER K.S., 2003 – *Stand density index in uneven-aged ponderosa pine stands*. Canadian Journal of Forest Research, 33: 96-100.
- YODA K., KIRA T., OGAWA H., 1963 – *Self-thinning in overcrowded pure stand under cultivated and natural conditions*. Journal of Biology, 14: 107-129.
- ZEIDE B., 1987 – *Analysis of the 3/2 power law of self-thinning*. Forest Science, 33: 517-537.