

Indici strutturali e di competizione per la caratterizzazione di popolamenti cedui di castagno[§]

Claudia Becagli^{*1}, Emilio Amorini¹, Alessandro Fois¹, Maria Chiara Manetti¹

Accettato il 10 aprile 2008

Riassunto – La struttura, la densità e la diversità sono parametri utilizzati per valutare sia la dinamica dei popolamenti sia i processi di competizione in atto. In campo forestale sono usati, soprattutto per le fustai, indici sintetici descrittivi sia della diversità strutturale e specifica sia della competizione. Nel presente contributo si analizzano le relazioni tra trattamento selvicolturale e alcuni indici sintetici descrittivi per popolamenti cedui di castagno diradati di diversa età. L'obiettivo del lavoro è: i) verificare l'applicabilità di alcuni indici nei popolamenti cedui per valutare se riescono a differenziare e quantificare, in funzione della storia selvicolturale pregressa, la complessità strutturale, le dinamiche evolutive e i processi di competizione; ii) accertare l'utilità degli indici per la programmazione dei futuri interventi selvicolturali. Lo studio è stato condotto in tre aree sperimentali del comprensorio castanicolo dell'Altopiano delle Pizzorne (LU). I popolamenti analizzati si differenziano per l'età (43 e 64 anni) e per la storia selvicolturale che ha condizionato sia la struttura attuale sia i processi competitivi in atto. L'analisi dettagliata della struttura è stata realizzata all'interno di aree sperimentali (1200m²) dove, oltre ai parametri dendro-auxometrici, sono stati rilevati anche dati utili per il calcolo degli indici di competizione. L'analisi dei dati ha permesso di definire indici sintetici di diversità distributiva, strutturale e specifica. I popolamenti esaminati presentano strutture monoplane, monospecifiche, con una distribuzione dei fusti nello spazio orizzontale da regolare a casuale e con uno scarso livello di competizione interindividuale. Gli indici scelti descrivono bene l'effetto del trattamento applicato ed evidenziano che i popolamenti esaminati non mostrano più una struttura aggregata tipica dei boschi cedui e che un maggior grado di colturalità determina la semplificazione del soprassuolo. Inoltre, gli indici selezionati, sintetici e di facile calcolo, possono rappresentare un utile strumento operativo nella programmazione degli interventi culturali.

Parole chiave: *diradamento, castagno, struttura, indici sintetici.*

Abstract – Structural and competition indexes to characterise chestnut coppice stands. Structure, tree density and variation of tree specific composition are parameters useful to describe both natural dynamics and competition processes. In the field forestry, synthetic indices descriptive of both specific - structural diversity and competition are used, especially for high forests. In the present paper, the relations between silvicultural treatment and some synthetic indices descriptive of thinned chestnuts coppice stands differently aged are analysed. The main goals of the paper are: i) to verify the application of some in coppice stands, to evaluate their adaptation to differentiate and quantify the structural complexity, stand dynamics and competition processes as a function of past silvicultural history; ii) to ascertain the utility of the indices for the planning of future thinnings. The study was carried out in three experimental plots of the "Altopiano delle Pizzorne, (Lu)". The stands analysed are differently aged (43 and 64 years) and as for silvicultural background which affected both the present structure and the ongoing competitive process. The detailed of stands structure analysis was carried out within experimental areas (1200m²), besides manserational parameters, data necessary to determine the competition indices were acquired. Data analysis led to determine synthetic indices of distributive, structural and specific diversity. The analysed stands show a one-storied, monospecific structure with a tree distribution from regular to random and reduced level of individual competition. The chosen indices describe the effect of the applied treatment and show that the analysed stands are not characterized by the clustered distribution typical of coppices. The active silvicultural treatment determines the simplification of the stand structure. Furthermore, the selected indices, synthetic and easy to calculate, represent a useful operational instrument in silvicultural planning.

Key words: *thinning, chestnut, structure, synthetic indices.*

F.D.C.: 228 : 56 : 242 : 176.1 Castanea

Introduzione

La conoscenza della struttura e dei rapporti di competizione all'interno dei soprassuoli è un'importante fattore per la definizione di strategie di gestione ecologicamente ed economicamente sostenibili (ZENNER *et al.* 2000). Ne consegue che l'analisi delle caratteristiche strutturali di un popolamento rappresenta

una metodologia di indagine necessaria per valutare l'eterogeneità spaziale e i meccanismi di competizione interindividuale che si stabiliscono all'interno di un soprassuolo (AMORINI 1994, OLIVER e LARSON 1996, POMMERING 2002, MANETTI e GUGLIOTTA 2004).

La struttura è stata descritta in termini generali come distribuzione della biomassa nello spazio (CROW *et al.* 1994), anche se le misure di eterogenei-

[§] Lavoro svolto in parti uguali dagli autori.

^{*} Autore corrispondente claudia.becagli@entecra.it

¹ C.R.A. - Centro di ricerca per la selvicoltura - Viale S. Margherita, 80 – 52100 Arezzo (Italy) T. +39 0575 353021, fax +39 0575 353490.

tà, complessità e diversità strutturale non sono così semplici da determinare. Molti autori hanno formulato o studiato l'applicabilità di indici sintetici descrittivi della diversità strutturale - sia sul piano orizzontale che verticale - e specifica (SHANNON 1948, PRETZSCH 1997, 1999, MANETTI *et al.* 2000, NEUMANN e STARLINGER 2001, STAUDHAMMER e LEMAY 2001, DEL RIO 2003, CORONA *et al.* 2005) allo scopo di quantificare e qualificare le dinamiche evolutive dei soprassuoli.

Come per l'analisi dettagliata della struttura, la competizione per le risorse implica la conoscenza dei rapporti sociali che si stabiliscono fra gli individui adiacenti nelle varie fasi di crescita. Rapporti che si ripercuotono sull'accrescimento individuale, sull'architettura dell'albero e di conseguenza sulla struttura e sulle dinamiche evolutive del popolamento (TOMÈ e VERSWIJST 1996). Anche in questo caso sono stati messi a punto indici sintetici che permettono di quantificare il grado di competizione in atto che si instaura o tra i singoli individui o a livello di popolamento (REINEKE 1933, BIGING e DOBBERTING 1992, 1995, LIOTTO e TABACCHI 1993, LADERMANN e STAGE 2001, AGUIRRE *et al.* 2003, PRE'VOSTO 2005).

In genere, sia gli indici di diversità strutturale sia quelli di competizione, sono stati formulati principalmente per le fustae; attualmente le nuove esigenze della gestione forestale e l'importanza acquisita del "momento strutturale (CIANCIO *et al.* 1986, CIANCIO *et al.* 2002)", ovvero di valutare attentamente l'efficienza evolutiva del popolamento per indirizzare un tipo di trattamento, evidenziano il valore e la necessità di poter caratterizzare anche i popolamenti di origine agamica.

Nei cedui di castagno gli studi inerenti la struttura e la competizione sono stati condotti soprattutto in popolamenti abbandonati (PIVIDORI 1997, CONEDERA *et al.* 2001, MALTONI e PACI 2001, PACI *et al.* 2003, FONTI *et al.* 2006, PIVIDORI *et al.* 2006), mentre pochi autori (BOLGÈ 2001, MANETTI *et al.* *op cit.*, MANETTI *et al.* 2004) hanno analizzato l'applicabilità di indici di diversità strutturale e di competizione in cedui regolarmente gestiti, allo scopo di quantificare le reali differenze strutturali originate dal trattamento selviculturale. Gli interventi selviculturali rappresentano infatti lo strumento capace di modificare sia la struttura arborea sia i meccanismi competitivi.

Questo contributo analizza le relazioni tra trattamento selviculturale e alcuni indici sintetici di competizione e di diversità strutturale applicati in

popolamenti cedui di castagno di diversa età e variamente gestiti. In particolare si intende: i) verificare l'applicabilità degli indici per valutare la capacità di differenziare e quantificare la complessità strutturale, in funzione della storia selviculturale pregressa, ii) accertare l'utilità degli indici per la programmazione dei futuri interventi selviculturali.

Materiale

L'area di studio è localizzata sull'Altopiano delle Pizzorne (Lucca) in una fascia altimetrica compresa tra 860 e 1100 m s.l.m.

L'Altopiano si colloca tra la valle di Pescia, di Colodi e quella del Serchio. La massima elevazione è il Monte Crocione (1026 m s.l.m.); il substrato geologico è rappresentato da arenarie oligoceniche del Macigno toscano e la pedogenesi ha generato suoli bruni acidi, suoli bruni lisciviatì e localmente litosuoli (AMORINI *et al.* 1998). La temperatura media annua è di 17°C e quella del mese più caldo di 27°C; la precipitazione annua è di 1300 mm, con siccità estiva che si prolunga da giugno ad agosto (Figura 1).

I cedui di castagno dell'Altopiano delle Pizzorne rappresentano un esempio concreto di come gli interventi culturali condizionino la funzionalità, la dinamica evolutiva e la struttura del soprassuolo. Il castagno ha rivestito storicamente una notevole importanza nella provincia di Lucca, soprattutto per la coltura del frutto che costituì per secoli la chiave capace di permettere la sopravvivenza delle comunità rurali - montane in ambienti difficili. Già nel 1489 la Repubblica Lucchese

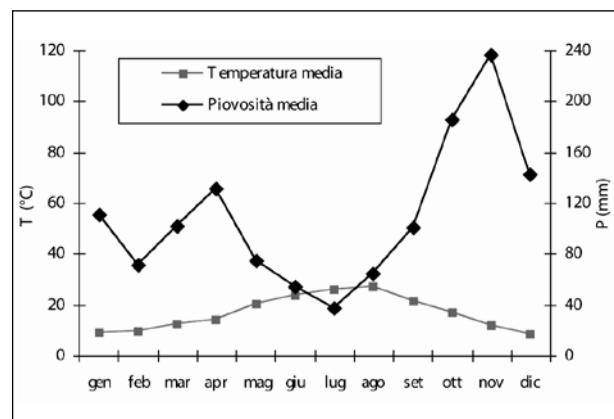


Figura 1 - Diagramma termopluiometrico della stazione Bagni di Lucca (LU) - 156 m s.l.m. relativo al periodo 1990-2007.
Climatic diagram of Bagni di Lucca (LU) site - 156 m s.l.m. (period 1990-2007).

aveva promulgato una legge in difesa dei castagneti da frutto che furono tutelati da un'apposita magistratura detta "Offizio sopra le selve" (GIAMBASTIANI *et al.* 2004). Fino alla metà del secolo scorso le colline e le montagne lucchesi erano state intensamente abitate e il castagneto da frutto, che aveva occupato le maggiori superfici boschive, estendendosi dai 100 m s.l.m. fino a quote superiori ai 1000 m s.l.m., venne in seguito rapidamente convertito a ceduo. Tali popolamenti, per la maggior parte di proprietà privata, sono attualmente gestiti a ceduo con turni di 12-16 anni, mentre superfici limitate sono state abbandonate o, come nel caso dei cedui oggetto di questo studio, sottoposte all'allungamento del turno.

L'analisi è stata eseguita in popolamenti cedui di castagno, derivanti dalla conversione dei vecchi castagneti da frutto, che il CRA – Centro di ricerca per la Selvicoltura segue dal 1987 con l'obiettivo di definire la modalità e l'intensità degli interventi selviculturali necessari per la produzione di legname di qualità. Ai fini di questo studio sono stati selezionati tre soprassuoli che si diversificano per l'età e gli interventi selviculturali applicati, di cui purtroppo non si conoscono i dettagli (tipo e intensità dei diradamenti). In ciascuna area di studio l'indagine è stata condotta in due parcelle sperimentali permanenti di 1200 m² ciascuna. Le principali caratteristiche stazionali e selviculturali delle aree sono riportate nella tabella 1.

Metodo

Le informazioni relative alla stazione e al popolamento (densità, stratificazione sociale, composizione specifica, presenza di rinnovazione) sono state rilevate nell'estate del 2004. All'interno di ogni area sperimentale è stato rilevato il diametro a 1.30 m e la posizione sociale secondo tre classi (D = dominante, I = intermedia, d = dominata) di tutti i polloni vivi, nonché delle matricine presenti, ed infine è stata identificata la specie.

Tabella 1 - Caratteristiche stazionali delle aree oggetto di studio (Altopiano delle Pizzorne, Lucca).
Site characteristics in the analysed experimental plots (Altopiano delle Pizzorne, Lucca).

Area di studio	Età (anni)	Trattamento	Quota (m s.l.m.)	Esposizione	Pendenza (%)
Renaia	64	4 diradamenti	870	E	10°
Capopescia	43	2 diradamenti	992	N	19°
Crocione	43	1 diradamento	1016	SE	18°

La relazione ipsodiametrica è stata costruita per ogni popolamento e la fertilità stazionale è stata valutata attraverso il calcolo dell'altezza dominante.

L'elaborazione dei dati ha consentito di definire il numero di ceppaie e polloni ad ettaro, separatamente per specie e per classe sociale, l'area basimetrica totale e distinta per classe sociale, il diametro medio e l'altezza media in ciascun popolamento. Ulteriori elaborazioni hanno riguardato la determinazione degli indici di diversità specifica, strutturale e di competizione.

Per quantificare la diversità specifica (tabella 2) delle specie arboree presenti sono stati calcolati l'indice di diversità specifica di Shannon (SHANNON 1948) e di Simpson (SIMPSON 1949). L'indice di Shannon, che assume valori da 0 a ∞ , considera l'abbondanza e la presenza di specie, mentre l'indice di Simpson, che varia da 0 a 1, pondera la dominanza della specie principale rispetto alle altre.

Per misurare la diversità dimensionale del numero di individui nelle diverse classi diametriche è stato calcolato l'indice H' (tabella 2), ossia l'indice di Shannon applicato alla distribuzione del numero di alberi o di area basimetrica; per tale motivo all'interno di ogni popolamento le piante sono state raggruppate in classi diametriche di 10 cm. La diversità risulta massima quando tutte le classi diametriche hanno lo stesso numero di alberi o il medesimo valore di area basimetrica (CORONA *et al. op. cit.*, BUONGIORNO *et al. op.cit.*); in questo caso il valore massimo assunto dall'indice H' sarà pari al logaritmo naturale del numero delle classi diametriche. Il rapporto tra l'indice H' ed il suo valore massimo teorico è chiamato indice di uniformità E (NEUMANN e STARLINGER *op.cit.*, DEL RIO *et al. op.cit.*, CORONA *et al. op. cit.*).

Per definire la distribuzione spaziale degli individui all'interno di ogni area sono stati utilizzati gli indici di COX, PIELOU e di WINKELMASS (tabella 2). I primi due indici prevedono la scomposizione della parcella in una griglia regolare - nel caso di studio le aree sperimentali sono state suddivise in 12 subaree di 100 m² (10*10m) ciascuna - e descrivono a scala diversa la struttura orizzontale. L'indice di Cox descrive la macrostruttura del popolamento e considera quindi i polloni inseriti su una stessa ceppaia come una singola unità; l'indice di Pielou definisce la microstruttura del popolamento e, in questo caso, i polloni inseriti su una stessa ceppaia sono stati considerati come individui singoli. Per entrambi gli indici la soglia discriminante è l'unità; i valo-

Tabella 2 - Caratteristiche degli indici scelti.
Diversity and competition indexes applied.

Descrizione indice	Formula	Legenda
Indice di diversità specifica di Shannon (SH)	$SH = \sum[-\log_2(N_j)] * N_j$	N_j = frequenza relativa di ciascuna specie
Indice di diversità specifica di Simpson (SI)	$SI = 1 - \sum N_j^2 / N$	N_j = frequenza relativa di ciascuna specie
Indice di diversità dimensionale (H')	$H' = \sum[-\ln(n_j/N)] * n_j / N$	n_j = numero di alberi nella j-classe diametrica; N = numero totale di alberi;
Indice di uniformità (E)	$E = H'/\ln(S)$	S = numero delle classi diametriche
Indice di diversità orizzontale Cox (CI)	$CI = S^2 / X$	s^2 = varianza; X = media del numero di piante presenti all'interno delle subaree
Indice diversità orizzontale Pielou (PI)	$PI = \pi^*(N/A^*1/K)^* \sum r^2$	N = numero totale di piante nell'area di studio; A = dimensione dell'area di studio; K = numero delle subaree considerate; r = distanza minima dal punto centrale di ciascuna subarea alla pianta più vicina.
Indice di diversità orizzontale Winkelmaass (W)	$W = 1/n * \sum W_j$	n = numero dei punti di sondaggio; W_j = variabile binaria.
Indice di diversità verticale(VE)	$VE = \sum [\log_2(N_j)] * N_j / \log(n)$	N_j = rapporto tra il numero di individui appartenenti ad una classe di altezza e il numero di individui totali presenti nell'area; n = numero delle classi di altezza considerate.
Indice di competizione di Biging and Dobbertin (BD)	$BD = \sum_n [Cac/Cas^*(Dsc+1)]$	Cac = area della chioma del competitore; Cas = area della chioma dell'albero modello; Dsc = distanza con il competitore; n = numero dei competitori.
Indice di competizione di Hegyi (HY)	$HY = \sum_n Abc/(Abs*Dsc)$	Abc = area basimetrica del competitore; Abs = area basimetrica dell'albero scelto; Dsc = distanza con il competitore; n = numero dei competitori.

ri inferiori ad 1 indicano che i fusti sono regolarmente distribuiti nello spazio, valori maggiori di 1 esprimono una distribuzione aggregata, quelli tendenti ad 1 una distribuzione di tipo casuale. L'indice di WINKELMASS o GADOW (VON GADOW *et al.* 1998) consente di avere una stima della distribuzione spaziale degli individui in corrispondenza di un dato punto di sondaggio (20 nel caso di studio) attraverso la definizione degli angoli di direzione rispetto agli alberi più vicini al punto di sondaggio, senza misurare le distanze. Per il calcolo dell'indice, i polloni inseriti sulla stessa ceppaia sono stati considerati come individui singoli. I valori che può assumere W variano tra 0 e 1; quando l'indice di $W = 0$ la distribuzione degli alberi nello spazio è regolare, se $W = 1$ la distribuzione è a gruppi mentre valori intermedi caratterizzano distribuzioni spaziali che tendono ad essere casuali ($W=0.5$).

La variabilità strutturale lungo il profilo verticale (tabella 2) è stata analizzata mediante la formula del VERTICAL EVENNESS (VE) suddividendo il popolamento in 3 livelli di altezze (0-50%, 50-80%, 80-100% dell'altezza massima), inserendo nel calcolo il numero delle piante appartenenti a ciascun piano. Bassi valori di VE caratterizzano popolamenti monoplani mentre quando $VE = 1$ l'importanza di ciascun piano è equivalente.

Per quantificare il grado di competizione all'interno dei popolamenti sono stati utilizzati gli indici di BIGING E DOBBERTIN (1992) ed HEGYI (1974) poiché, in

un precedente studio (BOLGÈ *op.cit.*), sono risultati quelli in grado di descrivere meglio i rapporti competitivi in atto nei popolamenti cedui di castagno. Per la loro determinazione sono stati scelti, in ogni area di saggio, 19 individui tra quelli che presentavano la migliore conformazione del fusto e della chioma e un maggiore accrescimento diametrico. Per ogni individuo selezionato e per tutti i loro competitori sono stati misurati i parametri necessari per l'applicazione delle formule (tabella 2). Entrambi gli indici sono funzione della distanza con i competitori, con l'area di insidenza delle chiome (BD) e con l'area basimetrica (HY). Per valutare se sussistono differenze significative tra i tre popolamenti in funzione degli indici di competizione, sono stati effettuati l'analisi della varianza e il test di Tukey per confronti multipli (STATISTICA, STATSOFT 2000).

Infine, in ogni popolamento è stato realizzato un transect di struttura, di superficie pari a 630 m^2 (42 x 15) per la visualizzazione della distribuzione individuale dei fusti nello spazio orizzontale e verticale. All'interno del transect si è provveduto a numerare le piante presenti e posizionarle rispetto ad un sistema di assi cartesiani coincidenti con i lati del transect. Per ciascuna pianta è stata rilevata la specie, la posizione sociale, il diametro ad 1.3 m, l'altezza totale, quella d'inserzione del primo ramo verde e l'area d'insidenza della chioma con la misura di quattro raggi ortogonali.

La determinazione dell'indice di copertura e di ricoprimento e la visualizzazione grafica è stata effettuata con il programma AUTOCAD 14.

Risultati

Descrizione dei soprassuoli

I popolamenti esaminati (tabella 3) si differenziano notevolmente per la storia selvicolturale trascorsa (da 1 a 4 diradamenti) che ha condizionato la struttura attuale e la produttività. La minor fertilità stazionale dell'area di Crocione è evidente nel valore di altezza dominante, nettamente e significativamente inferiore rispetto agli altri due popolamenti. I tre soprassuoli analizzati presentano una scarsa densità di ceppaie (da 399 ha^{-1} a 553 ha^{-1}) riconducibile all'unica ceduazione effettuata per la conversione dei vecchi castagneti da frutto, e buone potenzialità di accrescimento evidenziate dai valori di area basimetrica e di diametro medio.

L'analisi dell'articolazione sociale, espressa sia in numero di piante che in area basimetrica (Figura 2) ha permesso di verificare gli effetti degli interventi colturali applicati. In tutte le aree sperimentali la componente attiva del soprassuolo è rappresentata dalla classe sociale dominante, sia in numero (Renaia = 53%, Capopescia = 49% Crocione = 58%) sia soprattutto in area basimetrica (Renaia = 73%, Capopescia = 65%, Crocione = 74%). Nei soprassuoli di Crocione (1 diradamento) e Capopescia (2 diradamenti), si osserva comunque una presenza importante della classe sociale dominata (circa il 30% del numero totale).

I valori di diametro medio si differenziano notevolmente tra le classi sociali, mentre al contrario non si registrano marcate variazioni in altezza, risultato attribuibile alla tendenza della specie a formare strutture monoplano (Figura 3).

La restituzione grafica dei transect (Figura 4) ha permesso di visualizzare l'articolazione della struttura

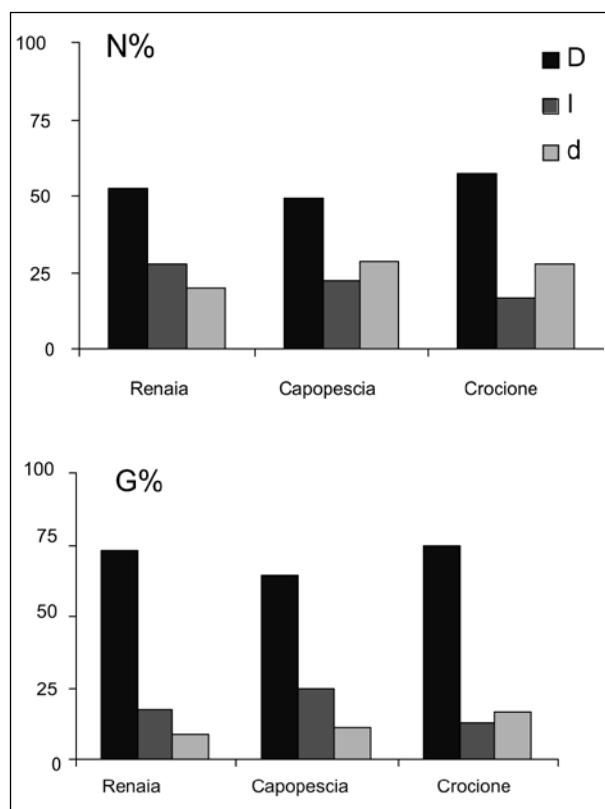


Figura 2 - Distribuzione percentuale del numero di piante e dell'area basimetrica per classi sociali (D = dominante, I = intermedia, d = dominata) nelle tre aree di studio.
Percentage distribution of stem number and basal area by social class (D = dominant, I = intermediate, d = dominated) in the examined plots.

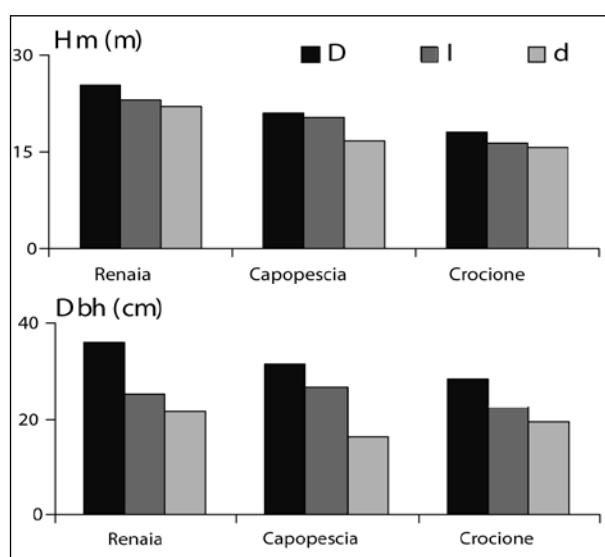


Figura 3 - Altezza media e diametro medio per classe sociale (D = dominante, I = intermedia, d = dominata) nelle tre aree sperimentali.
Mean height and mean dbh by social class (D = dominant, I = intermediate, d = dominated) in the three plots.

Tabella 3 - Principali parametri dendrometrici nei tre popolamenti.
Main dendrometrical parameters of the three stands.

	Renaia	Capopescia	Crocione
Altezza dominante (m)	26.3	22.3	18.8
Ceppe (n ha^{-1})	553	446	399
Polloni (n ha^{-1})	553	683	638
Polloni/ceppaia	1.0	1.5	1.6
Area basimetrica ($\text{m}^2 \text{ ha}^{-1}$)	43.63	33.25	31.56
Diametro medio (cm)	31.7	24.9	25.1
Altezza media (m)	24.2	20.0	17.3

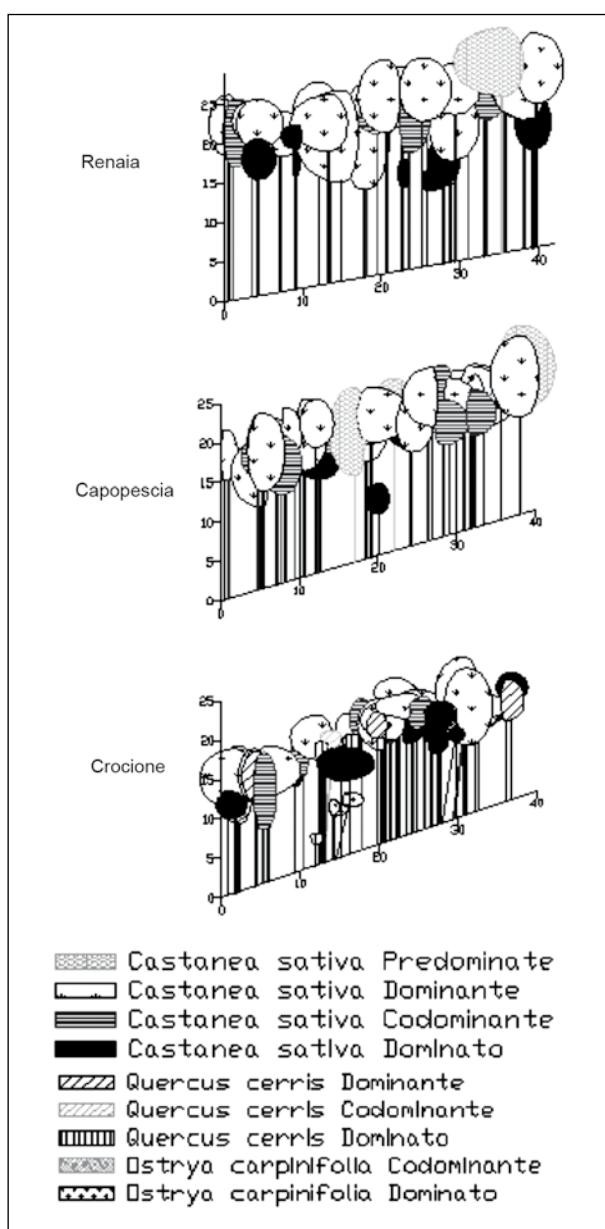


Figura 4 - Profilo grafico della struttura verticale nei tre popolamenti esaminati.

Vertical structure in the three stands examined.

e di quantificare i parametri descrittivi della copertura (tabella 4). La struttura del soprassuolo di Renaia appare monoplana e semplificata, caratterizzata da un buon grado di copertura e di ricoprimento ($C = 74\%$, $R = 109\%$) e da chiome ampie ed equilibrate. L'area di Capopescia presenta una copertura del soprassuolo continua e soddisfacente ($C = 92\%$, $R = 123\%$) con area d'insidenza delle chiome della classe dominante molto elevata (25.3 m^2). Il popolamento di Crocione risente in modo evidente dell'unico intervento colturale eseguito recentemente (2003) e in età tardiva (40 anni)

Tabella 4 - Caratteristiche della chioma e della copertura nelle tre aree sperimentali.
Crown characteristics and canopy cover in the examined areas.

	Area insidenza m^2			Profondità chioma m			Ricoprimento %			Copertura %	
	D	I	d	D	I	d	D	I	d	D	I
Renaia	27.9	10.6	9.9	7.7	6.4	4.5	109			74	
Capopescia	25.3	15.7	3.8	7.4	4.7	3.5	123			92	
Crocione	17.5	6.7	8.0	5.6	4.5	2.9	118			60	

che ha causato una riduzione del grado di copertura ($C = 60\%$), mantenendo però allo stesso tempo un elevato grado di ricoprimento ($R = 118\%$). Tali parametri indicano che, nonostante il diradamento effettuato, il soprassuolo mantiene ancora una discreta complessità strutturale e l'intervento non ha ancora inciso sull'espansione delle chiome (area insidenza media del piano dominante = 17.5 m^2).

Analisi degli indici scelti

Gli indici scelti reperiti in letteratura sono riusciti a registrare i mutamenti sia della struttura arborea sia dei meccanismi di competizione causati dai diversi interventi culturali applicati all'interno dei tre popolamenti esaminati (tabella 5).

Gli indici di biodiversità indicano popolamenti praticamente monospecifici; solo nell'area Crocione l'indice di Shannon, pari a 0.5, evidenzia la presenza di altre specie tra cui il cerro che accede sia al piano dominante come matricina sia nel piano dominato.

L'analisi degli indici di diversità distributiva (H') e di uniformità (E) ha evidenziato che i popolamenti esaminati risultano tendenzialmente uniformi, cioè caratterizzati da una distribuzione regolare dei fusti nelle varie classi diametriche. Poiché tale uniformità è stata registrata anche nel soprassuolo di Crocione recentemente diradato, se ne deduce che il diradamento effettuato è stato di tipo misto e di bassa intensità.

I tre popolamenti, nonostante la diversa età e il differente numero di interventi applicati nel corso del tempo, presentano una distribuzione della microstruttura nello spazio orizzontale tendente alla regolarità, definita dai valori dall'indice di PIELOU inferiori ad 1. La macrostruttura, stabilita dall'indice di Cox, risulta essere regolare per i popolamenti di Renaia e Crocione mentre si osserva una distribuzione delle ceppaie casuale per l'area di Capopescia. L'indice di WINKELMASS, calcolato sui singoli polloni, indica invece una distribuzione casuale in tutte le aree.

La variabilità strutturale lungo il profilo verticale

Tabella 5 - Principali indici di diversità specifica, distributiva e strutturale delle tre aree permanenti.
Main specific diversity, distributive and structural index analysed in the three experimental plots.

	Diversità specifica		Diversità distributiva		Diversità orizzontale			Diversità verticale	
	SH	SI	H'	E	CI	PI	W	VE	
<i>(H' max = 1.8)</i>									
Renaia	0.0	0.0	1.0	0.6	0.6	0.8	0.6	0.6	
Capopescia	0.0	0.0	1.2	0.7	1.0	0.6	0.5	0.7	
Crocione	0.5	0.4	0.9	0.6	0.7	0.8	0.6	0.8	

dei tre soprassuoli è data dai valori dell'indice VE. I popolamenti risultano monoplani e a struttura piuttosto semplificata; solo nell'area Crocione si osserva una distribuzione delle piante leggermente più articolata (VE = 0.8).

Il processo di competizione in atto nei tre popolamenti è ben rappresentato dagli indici utilizzati (Figura 5). All'aumentare del numero degli interventi selvicolturali eseguiti si ha infatti una diminuzione statisticamente significativa di entrambi gli indici di competizione (BD - F = 4.84, p = 0.001; HY - F = 30.23, p = 0.00). L'indice di BIGING e DOBBERTIN, che nella sua formulazione considera come parametro le aree di insidenza delle chiome, è risultato quello che registra meglio gli effetti del trattamento.

L'area di Renaia presenta un grado di competizione molto basso (0.29 e 0.61) sia per la maturità del popolamento sia perché è stata sottoposta a 4 interventi di diradamento. La minor culturalità applicata alle altre due aree si riflette sui processi di competizione e si manifesta nell'aumento dei valori degli indici, significativamente differenti da quelli registrati a Renaia. L'area Crocione, della stessa età rispetto a Capopescia ma sottoposta ad un solo diradamento, mostra indici tendenzialmente più elevati anche se statisticamente le differenze non sono significative.

Discussione

Nelle tre aree sono stati realizzati interventi finalizzati al recupero produttivo del soprassuolo, con lo scopo di costituire popolamenti con fisionomia simile alla fustaia per produrre legname di qualità.

In tutti i soprassuoli gli elevati valori di area basimetrica, la presenza di un piano dominante differenziato e ricco di individui ben conformati, l'alta differenziazione diametrica tra le classi sociali, la copertura del suolo continua e lo sviluppo soddisfacente delle chiome sono gli effetti della culturalità applicata e di una buona fertilità stazionale.

Nell'area Renaia, dove è stato attuato un trattamento selviculturale puntuale (con quattro diradamenti) sono state esaltate le potenzialità e le caratteristiche della specie. In questo popolamento è stata realizzata una condizione strutturale riconducibile ai protocolli gestionali suggeriti da AMORINI e GAMBI (1977), GAMBI (1988), BOURGEOIS (1992), AMORINI *et al.* (2002) i quali prevedevano turni variabili da 40 a 70 anni con l'obiettivo di costituire a fine ciclo un soprassuolo con densità piuttosto ridotta (da 150 a 600 piante ad ettaro), caratterizzato da individui ben conformati e di buone dimensioni diametriche.

Nell'area Capopescia (sottoposta a due interventi culturali) la presenza di un piano dominato e intermedio di buono sviluppo, l'elevata copertura e i numerosi polloni per ceppaia suggeriscono che sarebbe stato necessario eseguire un altro diradamento.

Nell'area Crocione l'unico intervento colturale eseguito è stato di debole intensità e di tipo misto, come si osserva dalla presenza di un piano dominato ancora consistente; il diradamento non ha così contribuito alla semplificazione della struttura e all'esaltazione delle potenzialità della specie.

Gli indici sintetici utilizzati sono riusciti a differenziare e quantificare, in funzione della storia selviculturale pregressa, la complessità strutturale dei tre soprassuoli studiati.

La predominanza della specie nel comprensorio e le condizioni ecologiche che favoriscono il castagno non hanno incoraggiato l'ingresso di altre specie arboree all'interno delle aree sperimentali. Solo nel popolamento di Crocione, in evoluzione naturale fino all'età di 40 anni, è stato osservato un leggero incremento di biodiversità della componente arbo-

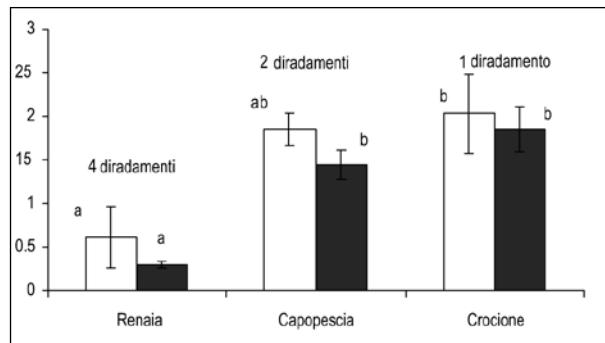


Figura 5 – Valori degli indici di competizione di Biging e Dobbertin (□) ed Hegyi (■) nelle tre aree sperimentali.
Biging and Dobbertin (□) and Hegyi (■) competition indexes in the three stands.

rea. I maggiori valori degli indici di SHANNON e SIMPSON registrati in questa area sono dovuti alla presenza del cerro sia nel piano dominante come matricina sia come rinnovazione affermata nei piani codominante e dominato.

La distribuzione dei diametri è un buon indicatore della struttura del popolamento e un determinante della diversità biologica (BUONGIORNO *et al.* *Op.cit.*). I valori degli indici H' ed E permettono di stabilire la necessità di un intervento culturale nell'area di Capopescia in quanto l'effetto dei diradamenti passati si è già esaurito e si è ricostituito un piano dominato di buono sviluppo. Allo stesso modo nell'area Crocione i valori degli indici indicano che le modalità di esecuzione dell'intervento selviculturale non hanno inciso in modo determinante sul soprassuolo.

La macrostruttura orizzontale dei soprassuoli analizzati presenta una tessitura da casuale (Capopescia) a regolare (Renaia e Crocione), mentre la microstruttura è regolare nelle tre aree. Le informazioni riguardanti il tipo e l'età degli interventi effettuati sono assenti, ma dall'analisi degli indici di struttura orizzontale è interessante rilevare che i tre soprassuoli hanno perso la distribuzione aggregata tipica dei popolamenti cedui ed è quindi avvenuto un miglioramento dello sfruttamento del biospazio. Come già affrontato in letteratura per popolamenti cedui di castagno (MANETTI *et al.* *op.cit.*), diradamenti sporadici e di forte intensità creano strutture di tipo aggregato, mentre a diradamenti regolari nel tempo corrispondono strutture con distribuzioni da casuale a regolare. Dai risultati ottenuti è possibile dedurre che i popolamenti analizzati (Renaia e Capopescia) non sono stati sottoposti ad interventi casuali e di forte intensità ma piuttosto a diradamenti regolari nel tempo. Un caso particolare è invece il soprassuolo di Crocione, in evoluzione naturale fino a tarda età, dove il taglio eseguito non ha ridotto in modo consistente il piano dominato e ha mantenuto un alto livello di competizione; di conseguenza il diradamento in questione non è riuscito ad esaltare le potenzialità della stazione e della specie.

Gli interventi selviculturali incidono anche sulla struttura verticale del soprassuolo; i parametri analizzati indicano tendenzialmente strutture più articolate in funzione del numero dei diradamenti eseguiti.

Gli indici di competizione descrivono in modo sintetico lo stato di competizione esistente tra gli alberi di un determinato popolamento. La maggior

parte delle indagini sugli indici di competizione hanno interessato piantagioni con sesto di impianto regolare, solo poche esperienze hanno riguardato soprassuoli di latifoglie (LIOTTO e TABACCHI *op.cit.*, PRE'VOSTO *op.cit.*). Per quanto riguarda i cedui di castagno quanto più è lungo il turno, tanto più forte è la competizione tra le ceppaie vicine. Valori superiori a 800 ceppaie ad ettaro comportano un'elevata competizione e, di conseguenza, un'altrettanta forte mortalità (DEL FAVERO 2004). Gli indici applicati riescono a descrivere bene sia la competizione a livello individuale sia l'effetto del trattamento selviculturale. In Renaia la competizione è minima, sia per l'effetto dei quattro interventi eseguiti sia per la maturità del soprassuolo, fattori che hanno contribuito a determinare rapporti sociali più definiti. I valori registrati nell'area di Capopescia riflettono la distribuzione spaziale e la disponibilità di risorse non totalmente ottimizzate dal trattamento, per la mancanza di un ulteriore diradamento. Il diradamento tardivo e di debole intensità eseguito nell'area Crocione si è inserito in una fase di elevata concorrenza tanto, da non influire significativamente sulla competizione interindividuale.

Conclusioni

La struttura, la densità e la diversità sono parametri utilizzati per valutare sia la dinamica dei popolamenti sia i processi di competizione in atto. Per tali motivi gli aspetti strutturali non possono essere esclusi nelle scelte gestionali (MALTONI e PACI, 2001). L'introduzione di indici sintetici si rende così utile ai fini della programmazione di interventi culturali, in associazione alle convenzionali metodologie dendrometriche.

Informazioni particolareggiate sul regime dei diradamenti eseguiti nei soprassuoli esaminati, tutti di proprietà privata, non sono risultate disponibili. Nonostante ciò gli indici scelti sono riusciti a descrivere bene l'effetto del trattamento applicato.

La semplicità di calcolo, la facilità e la velocità di rilievo in bosco rendono gli indici sintetici sperimentati adatti ad essere utilizzati sia come parametri descrittivi della struttura e della competizione dei popolamenti forestali, sia come strumenti utili per la pianificazione degli interventi futuri.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il personale tecnico Luigi

Mencacci e Mario Ceccarelli per il prezioso contributo nella fase di raccolta dei dati sperimentali.

Bibliografia

- AGUIRRE O., HUI G., VON GODOW K., JIMENEZ J., 2003 – *An analysis of spatial forest structure using neighbourhood based variables*. Forest Ecology and Management 81 (3): 137 – 145.
- AMORINI E., 1994 – *Evoluzione della struttura, della composizione specifica e della biometria in una cerreta mista di origine cedua, in funzione del trattamento*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXIII (1992):7-40.
- AMORINI E., BRUSCHINI S., MANETTI M.C., 1998 – *La sostenibilità della produzione legnosa di qualità del ceduo di castagno: modello di trattamento alternativo al ceduo a turno breve*. Atti del Convegno Nazionale sul Castagno, Cison di Valmarino (Treviso), 23-25 ottobre 1997: 217-231.
- AMORINI E., CUTINI A., MANETTI M.C., 2002 – *Il ceduo di castagno a turno lungo: una via sostenibile per la produzione di legname di qualità*. Atti del Convegno Nazionale Castagno 2001, Marradi 25-27 ottobre 2001: 317-325.
- BIGING G. S., DOBBERTIN M., 1992 – *A comparison of distance-dependent competition measures for height and basal area growth of individual conifer trees*. For. Sci. 38 (3): 695-720.
- BIGING G. S., DOBBERTIN M., 1995 – *Evaluation of competition indices in individual tree growth models*. For. Sci. 2:360-375.
- BOLGE' R., 2001 – *Studio sullo sviluppo dei polloni di castagno (Castanea sativa Mill.) sottoposti a differenti interventi selvicolturali*. Lavoro di diploma Politecnico Federale di Zurigo Facoltà di Scienze Forestali, Cattedra di Selvicoltura 86 pp.
- BUONGIORNO J., DAHIR S., LU H.C., LIN C.R., 1994 – *Tree size diversity and economic returns in uneven-aged forest stands*. For. Sci. 40 (19): 83-103
- BURGEOIS C., 1992 – *Le chataignier. Un arbre, un bois*. Institut pour le développement forestier, IDF, 367pp.
- CIANCO O., CUTINI A., MERCURIO R., VERACINI A., 1986 – *Sulla struttura della pineta di pino domestico di Albarese*. Ann. Ist. Sper. Selv., Arezzo, XVII: 171 – 231.
- CONEDERA M., STANGA P., OESTER B., BACHMANN P., 2001 – *Competition and dynamics in abandoned chestnut orchards in southern Switzerland*. For. Snow. Landscape. Res. 76: 487 – 492.
- CORONA P., D'ORAZIO P., LAMONACA A., PORTOGHESI L., 2005 – *L'indice di Winkelmaass per l'inventariazione a fini assestamentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali*. Foresta 2 (2): 225 – 232.
- CROW T.R., HANEY A., WALLER D.M., 1994 – *Report on the scientific roundtable on biological diversity*. Technical Report NC-166. USDA Forest Service, N.C. Forest Experimental Station, Saint Paul, Minnesota, USA.
- DEL FAVERO R., 2004 – *I boschi delle regioni Alpine Italiane. Tipologia, funzionamento, selvicoltura*. CLEUP srl, 597p.
- DEL RIO., MONTES F., CANELLAS I., MONTERO G., 2003 – *Diversidad structural en masas forestales*. Invest. Agrar. Sist. Recur. For. 12 (1): 159 – 176.
- FABBIO G., MANETTI M.C., BERTINI G., 2006 – *Aspects of biological diversità in the CONECOFOR plots. Structural and species diversità of the tree community*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 30, Suppl. 2: 17 – 28.
- FONTI P., CHERUBINI P., ANDREAS R., WEBER P., BIGING G., 2006 – *Tree rings show competition dynamics in abandoned Castanea sativa coppices after land-use changes*. Journal of Vegetation Science 17: 103 – 112.
- GAMBI G., AMORINI E., 1977 – *Aspetti particolari nella conversione d'un ceduo di castagno in fustaia a produzione di legno*. Giornata del castagno, Caprese Michelangelo (Arezzo): 253 – 256.
- GIAMBASTIANI M., MALTONI A., CIA M., 2004 – *La vegetazione forestale delle colline e delle montagne lucchesi. Alberi monumentali ed elementi caratteristici*. Ed., Pegaso s.r.l., Lucca, 158 p.
- LADERMANN T., R. STAGE A., 2001 – *Effects of competitor spacing in individual – tree indices of competition*. Can. J. For. Res. 31: 2143 – 2150.
- LIOTTO A., TABACCHI G., 1993 – *Gli indici di competizione nei modelli di previsione della produzione e dell'accrescimento delle formazioni forestali*. ISAFA Comunicazione di ricerca 93/2: 3-20.
- MALTONI A., PACI M., 2001 – “*Strutture spaziali in castagneti abbandonati della Toscana: relazioni con il dinamismo della vegetazione*”. Monti e Boschi n. 6 :14 – 20.
- MANETTI. M.C., AMORINI E., BECAGLI C., 2000 – *Gestione selvicolturale e tipologie strutturali nei popolamenti di castagno del Pratomagno Casentinese*. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo, XXXI: 109-118.
- MANETTI. M.C., AMORINI E., BECAGLI C., 2004 - *Valorizzazione e recupero dei popolamenti di castagno da legno*. Sherwood 106: 5-10
- MANETTI M.C., GUGLIOTTA O.I., 2004 – *Effetto del trattamento di avviamento ad altofusto sulla diversità specifica e strutturale delle specie legnose in un ceduo di cerro*. C. R. A. - Ann. Ist. Sper. Per la Selv. Progetto Arsia-Regione Toscana, Selvicoltura Sostenibile nei Boschi Cedui - Arezzo, XXXIII (2002 – 2004): 105-114.
- NEUMANN M., STARLINGER F., 2001 – *The significance of different indices stand structure and diversity in forest*. Forest Ecology and Management 145 (1-2):91-106.
- OLIVER C.D., LARSON B.C., 1996 – *Forest Stand Dynamics*. Updated ed., Wiley, New York 520 p.
- PACI M., BIANCHI L., MALTONI A., MARIOTTI B., 2003 – *I castagneti da frutto abbandonati della Toscana. Tipologia evolutiva e indirizzi gestionali*. 79pp.
- PIVIDORI M., 1997 – *Dinamica evolutiva di un popolamento ceduo di castagno dell'alto Canevese (TO)*. L'Italia forestale e montana, anno LII, (5): 367 – 384.

- PIVIDORI M., ARMANDO F., CONEDERA M., 2006 – *Dinamiche post-colturali in un ceduo misto di castagno ai suoi limiti ecologici.* Forest@ 3 (1): 86- 90.
- POMMERING A., 2002 – *Approaches to quantifying forest structure.* Forestry, 75 (3): 305-324.
- PRE'VOSTO B., 2005 – *Les indices de compétition en foresterie: exemples d'utilisation, intérêts et limites.* Rev. For. Fr. LVII -5: 413-430.
- PRETZSCH H., 1997 – *Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony.* Forest ecology and Management 97 (3):237-253.
- PRETZSCH H., 1999 – *Structural diversity as a result of silvicultural operations.* In: Management of mixed-species forest: silviculture and economics. Olsthoorn A.F.M., Berelink H.H., Gardiner J.J., Pretzsch H., HeKhuis H.J., Franc A. (Eds.) IBN Scientific Contributions 15:157-174.
- REINEKE L. H., 1933 – *Perfecting a stand density index for even-aged stands.* J. Agric. Res. 46, 627 – 638.
- SHANNON C.E., 1948 – *The mathematical theory of communication.* In Shannon C.E., Weaver W. (Eds.), the Mathematical Theory of Communication. University of Illinois press, Urbana: 29 – 125.
- SIMPSON E. H., 1949 – *Measurement of diversity.* Nature 163, 688 pp.
- STAUDHAMMER C. L, LEMAY V.M., 2001 – *Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity.* Can. J. For. Res. 31: 1105 – 1115.
- STATSOFT., 2000 - *General conventions and statistics I.* 2000.
- TOME' M, VERWIJST T., 1996 – *Modelling competition in short rotation forests.* Biomass and Bioenergy Vol 11, Nos 2/3:177-187.
- VON GADOW K., HUI G.Y., ALBERT M., 1998 – *Das Winkelmaß ein Struktuparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen.* Centralbl. Für das ges. Forstw. (115):1-10.
- ZENNER E. K., HIBBS D.E., 2000 – *A new method for modeling the heterogeneity of forest structure.* Forest Ecology and Management 129 (2000): 75 – 87.