

PIERMARIA CORONA (*) - PAOLO CALVANI (*) - BARBARA FERRARI (*)
ANDREA LAMONACA (*) - LUIGI PORTOGHESI (*) - MANUELA PLUTINO (*)

SPERIMENTAZIONE DI UN SISTEMA INTEGRATO DI INDICI PER IL MONITORAGGIO DELLA DIVERSITÀ STRUTTURALE IN SOPRASSUOLI FORESTALI (1)

La diversità strutturale all'interno dei soprassuoli forestali può essere sinteticamente descritta in funzione di tre componenti principali: la diversità spaziale orizzontale, caratterizzata dalla distribuzione sul terreno dei fusti arborei; la diversità dendrologica, creata dalla mescolanza delle specie arboree; la diversità dimensionale, dovuta alla differenziazione diametrica dei fusti arborei. Negli ultimi anni, vari Autori hanno proposto indici sintetici per la quantificazione di queste componenti. Scopo di questa nota è la presentazione di una sperimentazione condotta in due fustaie di cerro dell'alto Lazio per la caratterizzazione della loro diversità strutturale tramite un sistema integrato di indici di agevole rilevamento basato sulle relazioni tra alberi vicini. I risultati ottenuti indicano che il sistema testato è facilmente applicabile in soprassuoli governati a fustaia e proficuamente utilizzabile ai fini di monitoraggio inventariale e di descrizione particellare analitica in ambito assestamentale, in associazione alle convenzionali metodologie dendrometriche.

Parole chiave: biodiversità dei soprassuoli forestali; diversità spaziale orizzontale; diversità dendrologica; diversità dimensionale; inventari forestali.

Key words: forest stand biodiversity; horizontal spatial diversity; dendrological diversity; tree size diversity; forest inventory.

INTRODUZIONE

La diversità strutturale (α -diversità, *sensu* WHITTAKER, 1972) rappresenta uno dei principali aspetti della biodiversità dei soprassuoli forestali (OLIVER e LARSON, 1996; BARBATI *et al.* 1999; HUNTER, 1999; BOBIEC, 2002; CIANCIO e NOCENTINI, 2002). Da un punto di vista operativo, essa può essere sinteticamente descritta, a scala di soprassuolo forestale, in funzione di tre

(*) Dipartimento di Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse, Università della Tuscia, Viterbo.

¹ Lavoro svolto in parti uguali dagli autori nell'ambito del progetto MIUR PRIN COFIN2003 FOR_BIO «Modelli di gestione sostenibile dei sistemi forestali per la conservazione della complessità e della diversità biologica» (Coordinatore nazionale: O. Ciancio).

componenti principali (VON GADOW, 1999; AGUIRRE *et al.*, 2003): la diversità spaziale orizzontale, caratterizzata dalla distribuzione sul terreno dei fusti arborei; la diversità dendrologica, creata dalla mescolanza delle specie arboree; la diversità dimensionale, dovuta alla differenziazione diametrica dei fusti, a cui è strettamente correlata anche la diversità spaziale verticale.

Negli ultimi anni, vari Autori hanno proposto indici sintetici per la quantificazione delle suddette componenti della diversità strutturale (tra gli altri: PRETZSCH, 1997; NEUMANN e STARLINGER, 2001; STAUDHAMMER e LEMAY, 2001; POMMERENING, 2002; AGUIRRE *et al.*, 2003; DEL RIO *et al.* 2003; KINT *et al.*, 2004). Essi trovano particolare utilità come strumenti per la verifica o la simulazione degli effetti prodotti da interventi colturali, come supporto per la modellizzazione della dinamica evolutiva dei soprasuoli e come strumenti per evidenziare le aree a maggiore diversità strutturale, ai fini di conservazione e gestione della biodiversità forestale.

Gli studi sull'applicazione di questi indici ai boschi italiani sono ancora pochi (a esempio, CORONA *et al.*, 2005). Di qui la necessità di una sperimentazione che evidenzi, in particolare, il rapporto tra le informazioni ritraibili e l'impegno operativo da affrontare e che consenta di mettere a punto adeguate procedure di monitoraggio.

Scopo di questa nota è la presentazione dei risultati di una prova di caratterizzazione della diversità strutturale in due fustaie di cerro (*Quercus cerris* L.) dell'alto Lazio mediante un sistema di indici di agevole rilevamento basato sulle interrelazioni tra alberi vicini (*neighbourhood-based structural indices*). Due degli indici testati (UAI e SM, vd. § 1) sono tra quelli proposti per la sperimentazione nell'ambito del progetto *ForestBiota* (programma *Forest Focus*, Reg. 2151/2003/EC) per il monitoraggio sistematico della biodiversità forestale a livello europeo.

1. INDICI STRUTTURALI

L'insieme di indici considerati è descritto analiticamente in Tabella 1.

L'indice UAI (VON GADOW *et al.*, 1998; AGUIRRE *et al.*, 2003; CORONA *et al.*, 2005) confronta gli angoli α_j formati tra i k alberi più vicini a un dato albero di riferimento rispetto a un valore soglia α_r pari a $0.8 \cdot 360^\circ / k$ (per dettagli, vd. VON GADOW, 1999; HUI e VON GADOW, 2002): questo indice descrive la distribuzione dei fusti arborei nello spazio orizzontale, con valori che variano da 0 (distribuzione di tipo regolare) a 1 (distribuzione a gruppi); valori intorno a 0.5 segnalano distribuzioni di tipo casuale.

L'indice SM (FÜLDNER, 1995; AGUIRRE *et al.*, 2003) quantifica la diversità dendrologica confrontando la specie dell' i -esimo albero di riferimento con la specie dei k alberi più vicini: esso assume valori compresi tra 0 nel

Tabella 1 – Sistema di indici strutturali considerato ai fini della presente sperimentazione.

Indice	Acronimo	Formula	Valori rilevati
Indice Winkelmass	UAI (<i>uniform angle index</i>)	$UAI_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k z_j$	$z_j = \begin{cases} 1, \alpha_j < \alpha_r \\ 0, \alpha_j \geq \alpha_r \end{cases}$
Indice di mescolanza dendrologica	SM (<i>species mingling</i>)	$SM_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k z_j$	$z_j = \begin{cases} 0, spp_j = spp_i \\ 1, spp_j \neq spp_i \end{cases}$
Indice di dominanza diametrica	DBHD (<i>DBH dominance</i>)	$DBHD_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k z_j$	$z_j = \begin{cases} 0, DBH_j < DBH_i \\ 1, DBH_j \geq DBH_i \end{cases}$
Distanza dall'albero più vicino	DIST	$DIST_i = \min z_j $	$z_j = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$

caso di alberi di un'unica specie e 1 nel caso in cui i k alberi siano tutti di specie diverse da quella dell'albero di riferimento.

L'indice *DBHD* (HUI *et al.*, 1998) esprime la diversità dimensionale, confrontando il diametro a petto d'uomo dell'albero di riferimento con quello dei k alberi vicini: i suoi valori variano da 0 a 1, aumentando al diminuire della dominanza dimensionale dell'albero di riferimento rispetto agli alberi vicini.

Ai suddetti indici, è stata aggiunta la distanza tra il punto di sondaggio e l'albero a esso più vicino (*DIST*), che fornisce una semplice indicazione sul grado di densità e aggregazione tra gli alberi: a differenza degli altri indici considerati, che sono adimensionali, *DIST* è espresso in un'unità di misura lineare (in genere, metri).

Gli indici *UAI*, *SM*, *DBHD* possono assumere $1+k$ valori: considerando, a esempio, il calcolo rispetto ai $k = 4$ alberi più vicini, i possibili valori sono cinque: 0 – 0.25 – 0.5 – 0.75 – 1 (in questo caso, il valore soglia α_r per il calcolo di *UAI* è pari a 72°).

Il rilevamento dell'insieme di indici considerati può avvenire non solamente rispetto un dato albero di riferimento (modalità *reference tree*), ma anche rispetto a un dato punto di sondaggio (modalità *reference point*).

In questo secondo caso, per il calcolo di *SM* e *DBHD* si assume come riferimento l'albero più vicino al punto di sondaggio, mentre *DIST* misura la distanza tra il punto di sondaggio stesso e l'albero più vicino. Nell'ambito di applicazioni a scopi inventariali è ovviamente da preferire questa seconda modalità di rilevamento in quanto i punti di sondaggio possono più agevolmente essere selezionati secondo schemi di campionamento rigorosamente probabilistico.

In Figura 1 è illustrato un esempio di calcolo dei quattro indici strutturali rispetto a $k = 4$ alberi più vicini, sia per la modalità *reference tree* che per quella *reference point*.

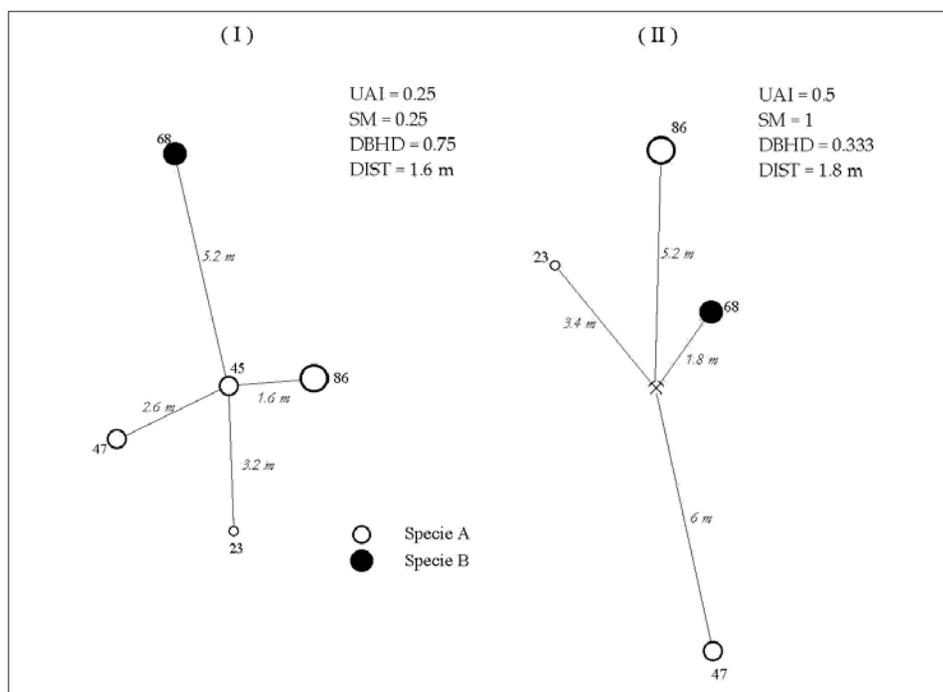


Figura 1 – Rilevamento e calcolo di UAI, SM, DBHD e DIST con $k = 4$: (I) un esempio nella modalità *reference tree* (il reference tree è l'albero di 45 cm di diametro); (II) un esempio nella modalità *reference point* (il simbolo [⊗] indica la posizione del punto di sondaggio prescelto). In entrambe gli esempi, i cerchi individuano la posizione dei fusti arborei, con indicazione del loro diametro a petto d'uomo.

Nel caso di campionamento casuale o sistematico semplice, lo stimatore del valore medio di ciascuno degli indici considerati in un dato soprassuolo forestale è pari a:

$$\hat{I} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n I_i$$

dove: I_i = valore dell'indice misurato in corrispondenza dell' i -esimo punto di sondaggio; n = numero di punti di sondaggio.

La variabilità del valore medio può essere quantificata tramite il suo errore standard, il cui stimatore è pari a:

$$\hat{s}_{\hat{I}} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (I_i - \hat{I})^2}$$

Oltre ai suddetti parametri statistici è, comunque, soprattutto la distribuzione delle frequenze dei valori dei singoli indici che permette di caratterizzare in modo dettagliato la struttura dei soprassuoli inventariati.

2. AREE SPERIMENTALI

La sperimentazione è stata condotta nelle cerrete di Vetralla (VT) e di Manziana (RM), e ha riguardato il soprassuolo principale, cioè gli alberi con diametro a petto d'uomo maggiore di 7.5 cm. Si tratta di popolamenti a netta dominanza di cerro, in cui saltuariamente si rinvencono altre specie, quali aceri (*Acer spp.*) e carpino bianco (*Carpinus betulus L.*), e, nei boschi di Vetralla, anche castagno (*Castanea sativa Miller*) e ciliegio (*Prunus avium L.*).

Le aree oggetto di inventariazione sono state tre: due (A e B), di estensione pari a circa 2.5 ha ciascuna, nella cerreta di Vetralla, a circa 460 m s.l.m. su terreno prevalentemente pianeggiante; la terza area (C), di estensione pari a circa 0.36 ha, si trova invece nella cerreta di Manziana, a una quota di circa 360 m s.l.m., anch'essa su terreno prevalentemente pianeggiante.

In Tabella 2 sono riassunti sinteticamente i principali parametri dendrometrici delle aree inventariate. La distribuzione del numero di alberi per classi diametriche (Figura 2) evidenzia popolamenti di tipo coetaneiforme per la cerreta di Vetralla e una struttura composita (AGRIMI *et al.*, 1991) per il bosco di Manziana. La distribuzione nello spazio orizzontale dei fusti arborei inventariati è riportata in Figura 3.

Tabella 2 – Principali parametri dendrometrici rilevati nelle aree sperimentali.

	Numero alberi [N ha ⁻¹]	Diametro medio dei fusti arborei [cm]	Volume dendrometrico [m ³ ha ⁻¹]
Area A	208	45	532
Area B	196	41	426
Area C	225	42	512

3. ANALISI E RISULTATI

3.1. Caratterizzazione del soprassuolo mediante censimento georeferenziato (modalità reference tree)

Le statistiche degli indici rilevati per ciascuno degli alberi inclusi nelle tre aree sperimentali sono esposte in Tabella 3 e la distribuzione dei valori in ciascuna area è riportata in Figura 4.

I valori medi dell'indice *UAI* segnalano distribuzioni spaziali degli alberi tendenzialmente di tipo casuale in tutte e tre le aree sperimentali, sebbene con differenze statisticamente significative tra l'area B e l'area C. Trattandosi di popolamenti prevalentemente monospecifici risulta evidenziata la bassa mescolanza di specie arboree, seppure con un valore medio di *SM* significativamente maggiore nell'area C rispetto alle altre due aree. Non si riscontra

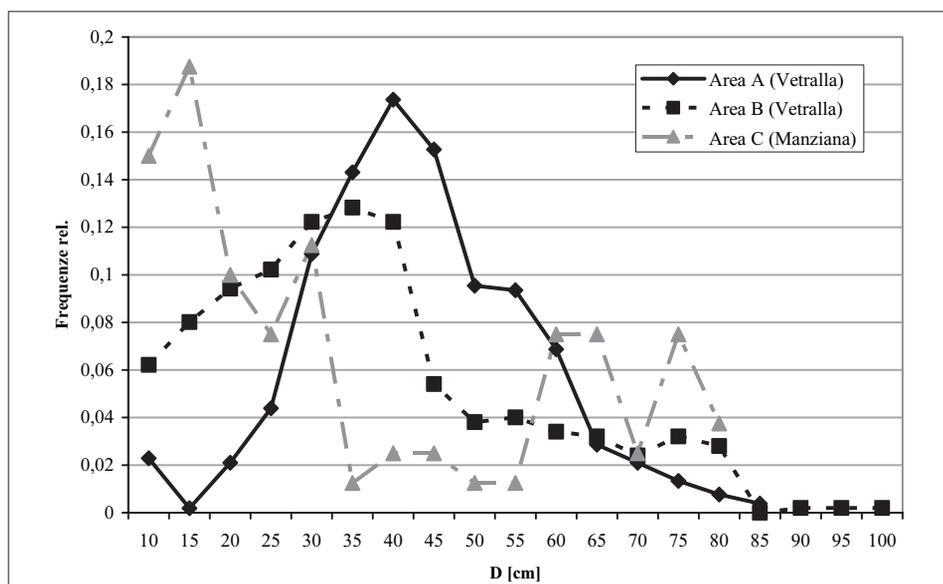


Figura 2 – Distribuzione delle frequenze relative del numero di alberi per classi diametriche nelle aree esaminate.

un'accentuata dominanza dimensionale in nessuna delle tre aree, senza differenze statisticamente significative nei valori medi di *DBHD*. Peraltro, la distribuzione di *DBHD* nell'area C mostra due tendenze opposte con massimi di frequenza per i valori pari a 0.25 e a 1 (Figura 5). La distanza dal primo albero vicino è generalmente prossima a 3.5 m nelle aree A e B, mentre presenta un valore medio significativamente inferiore nell'area C.

Nel complesso, gli indici esaminati nella modalità *reference tree* non risultano tra loro correlati (Tabella 4), tranne una debole associazione statisticamente significativa (al livello di probabilità $p=0.05$) tra *DBHD* e *DIST* nelle aree A e B: a una maggiore dominanza dimensionale corrisponde una minore distanza minima tra alberi, a indicare la tendenza alla costituzione di coorti di alberi grossi con alberi piccoli intorno. Nella sola area A, si osserva, accanto ai soggetti dominanti di cerro, una tendenza a una presenza relativamente maggiore di piccoli alberi di un'altra specie.

3.2. Monitoraggio inventariale (modalità *reference point*)

La sperimentazione della modalità *reference point* è stata condotta nelle aree A e B tramite selezione dei punti di sondaggio con campionamento sistematico a partenza casuale, saggiando tre diverse intensità di campionamento (passo del reticolo sistematico pari a 10 m, 20 m, 30 m).

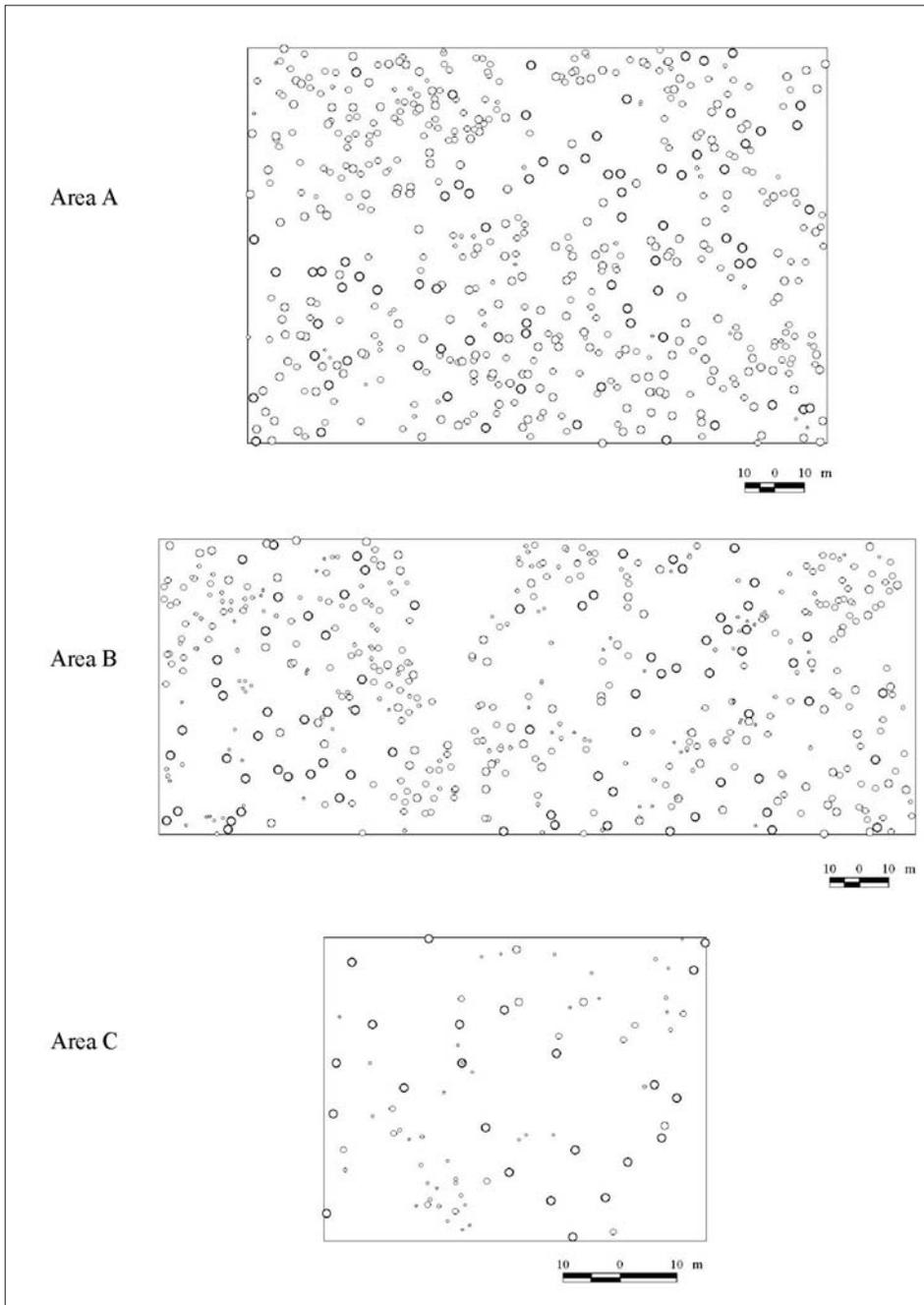


Figura 3 – Distribuzione spaziale dei fusti arborei inventariati in ciascuna delle aree sperimentali. L'ampiezza dei cerchi è approssimativamente proporzionale alle classi dimensionali di cui alla didascalia della Figura 5.

Tabella 3 – Statistiche degli indici UAI, SM, DBHD, DIST nelle aree sperimentali (modalità *reference tree*, con $k = 4$). Sulle righe, valori medi con lettera diversa sono tra loro statisticamente differenti ($p = 0.05$).

	Area A		Area B		Area C	
	Media	Dev. Std.	Media	Dev. Std.	Media	Dev. Std.
UAI	0.501ab	0.18	0.516a	0.19	0.463b	0.17
SM	0.015a	0.10	0.022a	0.12	0.154b	0.28
DBHD	0.513a	0.35	0.479a	0.36	0.489a	0.38
DIST (m)	3.669a	1.66	3.513a	1.97	2.792b	1.51

I risultati, riportati in Tabella 5, sono stati espressi in termini di efficienza relativa, relazionando i costi alla precisione statistica del rilevamento (CORONA, 2000): per ciascuna intensità di campionamento è stato simulato il prodotto tra il tempo totale di rilievo (valore proporzionale al costo totale del rilevamento) e la varianza della media campionaria ottenuta (indicatore della precisione di stima), e tale prodotto è stato poi rapportato al prodotto ottenuto per il disegno campionario con passo pari a 20 m. L'intensità di campionamento più efficiente è risultata diversa nelle due aree (reticolo con passo di 20 m nell'area A, reticolo con passo di 30 m nell'area B), tranne che per DBHD, per il quale l'intensità di campionamento ottimale, tra quel-

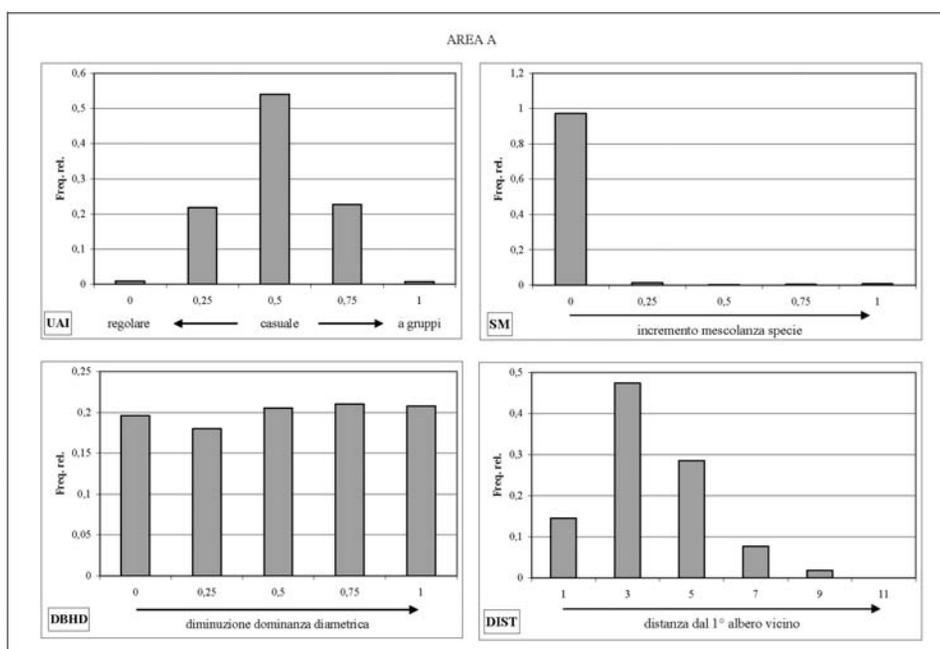
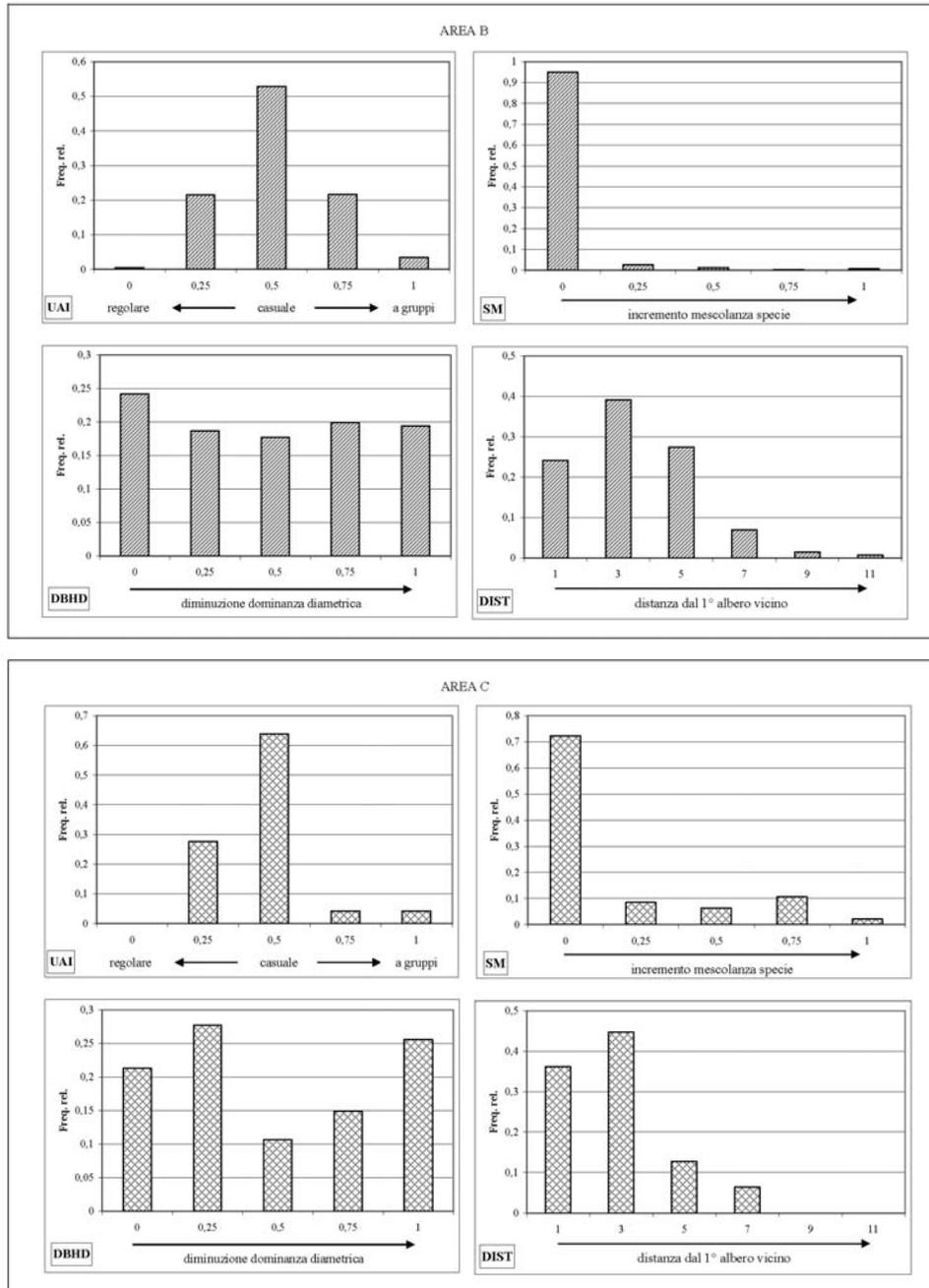


Figura 4 – Distribuzione delle frequenze relative dei valori degli indici UAI, SM, DBHD e DIST in ciascuna delle aree sperimentali (modalità *reference tree*; $k = 4$). (segue)

Segue Figura 4



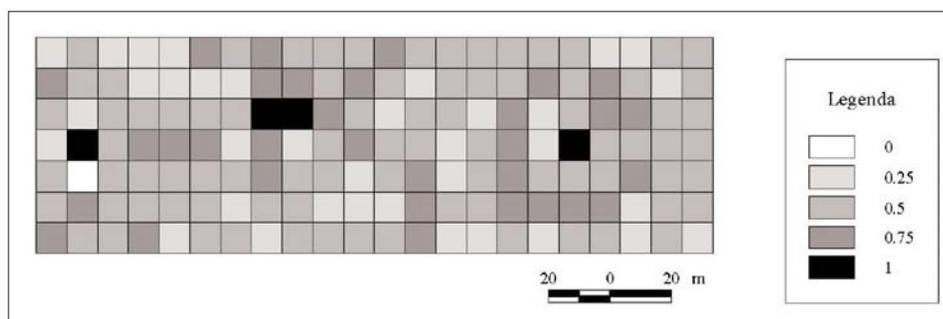


Figura 5 – Esempio di mappatura dell'indice UAI nell'area B (modalità *point reference*; campionamenti sistematici su reticolo con passo di 10 m; $k = 4$).

Tabella 4 – Coefficiente di correlazione di Pearson tra gli indici strutturali testati nelle aree sperimentali (modalità *reference tree*). Con asterisco sono segnalate le associazioni statisticamente significative al livello di probabilità $p = 0.05$.

Area A (numero alberi di riferimento = 428)			
	SM	DBHD	DIST
UAI	0.007	-0.063	0.036
SM		0.097*	-0.042
DBHD			-0.115*
Area B (numero alberi di riferimento = 401)			
	SM	DBHD	DIST
UAI	0.005	-0.091	-0.045
SM		0.048	-0.032
DBHD			-0.216*
Area C (numero alberi di riferimento = 47)			
	SM	DBHD	DIST
UAI	-0.102	0.097	0.113
SM		0.028	0.137
DBHD			-0.037

le testate, si ha con un reticolo con passo di 30 m in entrambe le aree; per *DIST*, sempre nell'area A, l'efficienza del reticolo con passo a 20 m è sostanzialmente uguale a quella del reticolo con passo a 30 m. Nell'ambito di una stessa area, dunque, la maggiore efficienza si raggiunge per lo stesso schema di campionamento, indipendentemente dall'indice considerato (a parte il caso di *DBHD* nell'area A).

In Tabella 6 è riportato il confronto degli indici calcolati per valori di k crescenti, per reticoli con passo pari a 20 m e a 30 m: i valori medi ottenuti

Tabella 5 – Efficienza relativa della stima degli indici esaminati al variare della numerosità campionaria nelle aree sperimentali A e B (modalità *reference point*: campionamento sistematico su reticolo di punti di sondaggio dislocato casualmente): a valore più bassi corrisponde una minore efficienza campionaria.

Area A				
Passo (m)	UAI	SM	DBHD	DIST
10	48	35	45	49
20	100	100	100	100
30	94	69	172	105
Area B				
Passo (m)	UAI	SM	DBHD	DIST
10	39	79	51	58
20	100	100	100	100
30	295	231	161	212

non sono significativamente diversi al variare di k , a conferma che l'analisi di un numero di alberi contigui $k = 4$ è sufficiente ai fini di una caratterizzazione affidabile della diversità strutturale nei soprassuoli forestali con gli indici considerati.

In Tabella 7 sono riportati i valori di correlazione degli indici rispetto ai parametri dendrometrici convenzionali. Nelle condizioni esaminate, nessuno degli indici è correlato al diametro medio e al coefficiente di variazione del diametro dei singoli fusti. L'indice *DBHD* non risulta correlato nemmeno al numero di alberi nè all'area basimetrica, al contrario di quanto avviene invece per *DIST*. Per quanto riguarda *UAI* e *SM*, la loro associazione rispetto a questi ultimi due parametri dipende dall'area sperimentale, seppure rimanga relativamente modesta anche lì dove è statisticamente significativa.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Il sistema di indici testato si basa sull'analisi dei rapporti tra i k alberi più vicini a un dato albero di riferimento o a un dato punto di sondaggio. Nelle condizioni esaminate, gli indici considerati risultano sostanzialmente indipendenti sia tra loro, sia, in buona parte dei casi, nei confronti di parametri dendrometrici convenzionali (a parte *DIST*): ne va pertanto sottolineata la rilevanza applicativa in quanto ciascuno di essi fornisce uno specifico contributo alla descrizione quantitativa dell'eterogeneità strutturale dei soprassuoli forestali, mettendone in risalto determinate peculiarità. Implementato nel

Tabella 6 – Valori medi degli indici sperimentati al variare di k nelle aree sperimentali A e B (modalità *reference point*; campionamento sistematico su reticolo dislocato casualmente).

Passo = 20 m								
Area A								
k	UAI		SM		DBHD		DIST (m)	
	media	ess	media	ess	media	ess	media	Ess
4	0.511	0.024	0.030	0.018	0.386	0.050	3.490	0.264
6	0.504	0.023	0.018	0.011	0.423	0.044	3.490	0.264
8	0.523	0.020	0.013	0.008	0.438	0.039	3.490	0.264
Area B								
k	UAI		SM		DBHD		DIST (m)	
	media	ess	media	ess	media	ess	media	Ess
4	0.473	0.023	0.028	0.022	0.440	0.053	3.811	0.331
6	0.482	0.022	0.026	0.022	0.426	0.047	3.811	0.331
8	0.556	0.019	0.024	0.019	0.413	0.044	3.811	0.331
Passo = 30 m								
Area A								
k	UAI		SM		DBHD		DIST (m)	
	media	ess	media	ess	media	ess	media	Ess
4	0.425	0.045	0.067	0.039	0.567	0.069	3.409	0.453
6	0.467	0.039	0.040	0.023	0.590	0.066	3.409	0.453
8	0.481	0.033	0.029	0.017	0.586	0.069	3.409	0.453
Area B								
k	UAI		SM		DBHD		DIST (m)	
	media	ess	media	ess	media	ess	media	Ess
4	0.500	0.035	0.022	0.022	0.378	0.091	4.346	0.483
6	0.500	0.040	0.040	0.040	0.400	0.083	4.346	0.483
8	0.525	0.033	0.029	0.029	0.410	0.085	4.346	0.483

contesto di un disegno campionario probabilistico (modalità *reference point*), il sistema di indici in questione permette dunque di descrivere in modo agevole e oggettivo le caratteristiche strutturali di soprassuoli forestali governati a fustaia e può essere utilmente impiegato non solamente ai fini di monitoraggio inventariale ma anche di descrizione particellare in ambito assestamentale, in associazione ai convenzionali rilevamenti dendrometrici (a esempio, campionamento con prove relascopiche adiametriche). Inoltre, nella modalità *reference point* l'implementazione in ambiente GIS dei risultati del monitoraggio può permettere la mappatura della struttura dei soprassuoli inventariati, con una risoluzione dettata dalla intensità di campionamento, evidenziando le zone a maggiore o minore diversità (Figura 5).

Tabella 7 – Coefficiente di correlazione di Pearson tra gli indici strutturali considerati (modalità *reference point*; campionamento sistematico su reticolo con passo di 20 m dislocato casualmente; $k = 4$) e parametri dendrometrici convenzionali in aree circolari con raggio pari a 10 m localizzate in corrispondenza degli n punti di sondaggio. Con asterisco sono segnalate le associazioni tra gli indici statisticamente significative almeno al livello di probabilità $p = 0.05$.

	Numero alberi	Area basimetrica	Diametro medio dei fusti arborei	Coefficiente di variazione del diametro
<u>Area A (n = 52)</u>				
UAI	0.005	-0.106	-0.253	0.068
SM	-0.286*	-0.339*	0.086	0.026
DBHD	0.025	-0.051	-0.087	0.016
DIST	-0.488*	-0.492*	0.210	-0.163
<u>Area B (n = 48)</u>				
UAI	-0.317*	-0.504*	-0.057	-0.168
SM	-0.063	-0.073	-0.039	0.189
DBHD	0.063	-0.028	-0.155	-0.194
DIST	-0.584*	-0.550*	-0.016	-0.165

Il sistema di indici proposto (Figura 6) è di facile e veloce rilievo in bosco, non richiedendo, in pratica, né la misura di angoli né di distanze: infatti, l'accertata possibilità di eseguire il rilievo con riferimento a solo quattro alberi all'intorno di ciascun punto di sondaggio rende molto semplificate le procedure operative, dato che i valori della variabile z per i vari indici di cui alla Tabella 1 sono, in questo caso, direttamente e univocamente determinabili a occhio nudo. Ciò non vale per *DIST*, il cui rilevamento comunque, anche alla luce della sua collinearità con gli altri parametri dendrometrici, può essere omesso. Anche l'accertata possibilità di ottimizzare l'efficienza del rilevamento adottando un unico schema di campionamento valido sia per *UAI* che per *SM* che per *DBHD* facilita l'implementazione operativa del sistema proposto, almeno in condizioni analoghe a quelle esaminate.

Nella modalità *reference tree*, gli indici strutturali sperimentati possono essere di diretto ausilio per la verifica o la simulazione degli effetti prodotti da interventi colturali, soprattutto ove si proceda al rilievo della posizione topografica dei singoli fusti arborei. In questi casi, può anche risultare utile, ai fini di una caratterizzazione di dettaglio della diversità strutturale, suddividere la popolazione di alberi in sottopopolazioni (a esempio, per classi dimensionali o per gruppi di specie), confrontando i valori assunti dagli indici stessi per ciascuna di esse. Si ribadisce, peraltro, che l'ambito preferenziale del sistema proposto è quello del rilevamento su punti di sondaggio dislocati secondo un campionamento di tipo sistematico, senza necessità di posizionamento topografico dei singoli fusti arborei.

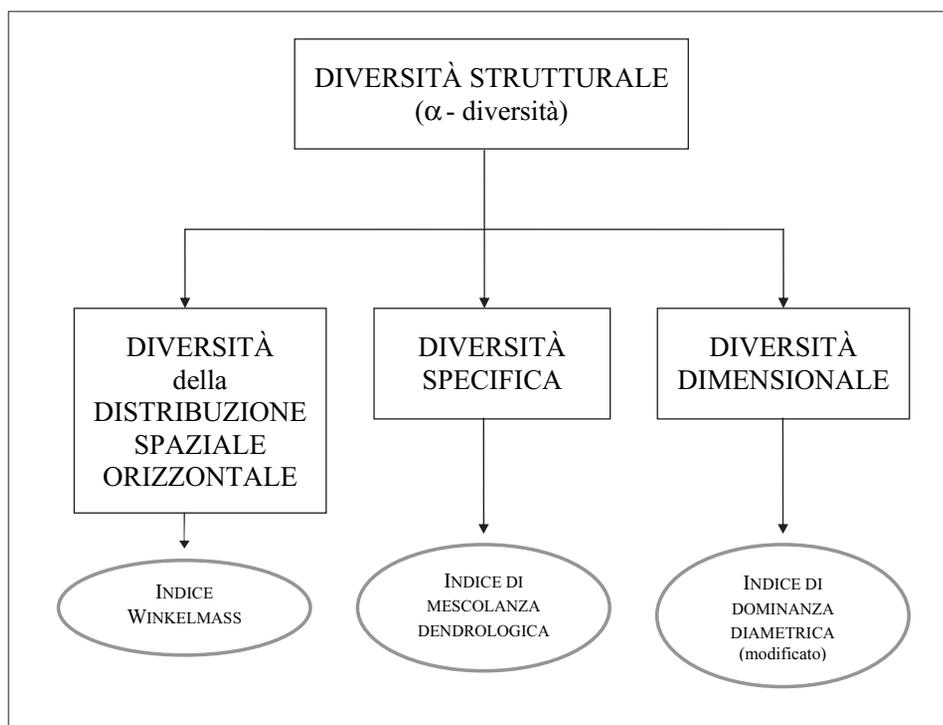


Figura 6 – Principali componenti della diversità strutturale nei popolamenti forestali e corrispondente sistema di indici proposto per il monitoraggio inventariale in soprassuoli governati a fustaia.

Infine, alla luce delle esperienze condotte, si ritiene utile che, a differenza di quanto indicato in letteratura, il calcolo di $DBHD$ sia modificato in modo che $z_j=1$ per $(DBH_{i-x}) > DBH_j$ e $z_j=0$ in tutti gli altri casi, con DBH espresso in cm e x pari, preferenzialmente, a 4 cm (con riferimento a classi diametriche di modulo pari a 5 cm): in questo modo, l'indice di dominanza dimensionale $DBHD$ assume valori tanto maggiori quanto maggiore è la dominanza, e, imponendo una soglia minima di differenza diametrica, appare più sensibile all'effettivo livello di eterogeneità dimensionale tra alberi contigui.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano S. Bollati e G. Clementi per la collaborazione fornita durante i rilievi in campo.

SUMMARY

Testing an integrated set of neighbourhood-based indices for monitoring the structural diversity of forest stands

Structural diversity within forest stands can be synthetically described by three main components: horizontal spatial diversity, in terms of tree spatial distribution; dendrological diversity, created by the mixture of tree species; tree dimensional diversity. In the last years, some Authors have proposed simple indexes for quantifying such components. The aim of this note is to present an experimentation carried out in two Turkey oak high stands in Central Italy for the characterization of their structural diversity by an integrated set of neighbourhood-based indices. The obtained results prove that such indexes can be easily measured in high stands and are suitable for forest inventory and analytical description of forest compartments, along with conventional forest mensuration.

BIBLIOGRAFIA

- AGRIMI M., CIANCIO O., PORTOGHESI L., POZZOLI R., 1991 – *I querceti di cerro e farnetto di macchia grande di Manziana: struttura, trattamento e gestione*. Cellulosa e Carta (5): 25-49.
- AGUIRRE O., HUI G., VON GADOW K., JIMENEZ J., 2003 – *An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables*. Forest Ecology and Management, 183: 137-145.
- BARBATI A., CARRARO G., CORONA P., DEL FAVERO R., DISSEGNA M., LASEN C., MARCHETTI M., 1999 – *Developing biodiversity assessment on a stand forest type management level in north-eastern Italy*. Annali Accademia Italiana di Scienze Forestali, 48: 157-176.
- BOBIEC A., 2002 – *Living stands and dead wood in the Bialowieza forest: suggestions for restoration management*. Forest Ecology and Management, 165: 125-140.
- CIANCIO O., NOCENTINI S., 2002 – *La conservazione della biodiversità nei sistemi forestali. 1. Ipotesi per il mantenimento degli ecosistemi*. L'Italia Forestale e Montana, 6: 505-512.
- CORONA P., 2000 – *Introduzione al rilevamento campionario delle risorse forestali*. Editrice CUSL, Firenze.
- CORONA P., D'ORAZIO P., LAMONACA A., PORTOGHESI L., 2005 – *L'indice Winkel-mass per l'inventariazione a fini assestamentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali*. Forest@, 2: 225-232.
- DEL RIO M., MONTES F., CANELLAS I., MONTERO G., 2003 – *Revision: Indices de diversidad estructural en masas forestales*. Invest. Agrar.: Sist. Recur. For., 12 (1): 159-176.
- FÜLDNER K., 1995 – *Zur Strukturbeschreibung in Mischbeständen*. Forstarchiv, 66: 235-240.
- HUI G.Y., ALBERT M., VON GADOW K., 1998 – *Das Umgebungsmaß als Parameter*

- zur Nachbildung von bestandesstrukturen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 117 (1): 258-266.
- HUI G.Y., VON GADOW K., 2002 – *Das Winkelmaß: Herleitung des optimalen Standardwinkels*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 173 (10): 173-177.
- HUNTER M.L. Jr (a cura di), 1999 – *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge.
- KINT V., DE WULF R., LUST N., 2004 – *Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands*. Ecological Modelling, 180: 461-476.
- NEUMANN M., STARLINGER F., 2001 – *The significance of different indices for stand structure and diversity in forests*. Forest Ecology and Management, 145: 91-106
- OLIVER C.D., LARSON B.C., 1996 – *Forest stand dynamics*. John Wiley & Sons Inc., New York.
- POMMERENING A., 2002 – *Approaches to quantifying forest structure*. Forestry, 75: 305-324.
- 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: 237-253.
- STAUDHAMMER C.L., LEMAY V.M., 2001 – *Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity*. Can. J. For. Res., 31: 1105-1115.
- VON GADOW K., 1999 – *Waldstruktur und diversitaet*. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 170 (7): 117-122.
- VON GADOW K., HUI G.Y., ALBERT M., 1998 – *Das Winkelmaß – ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen*. Centralbl. Fur das ges. Forstw., 115: 1-10.
- WHITTAKER R.H., 1972 – *Evolution and measurement of species diversity*. Taxon, 21: 213-251.