

Sezione Speciale: RI.SELV.ITALIA

(Guest Editor: M. Bianchi)

L'indice *Winkelmass* per l'inventariazione a fini assestamentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali

Corona P*, D'Orazio P, Lamonaca A, Portoghesi L

Dipartimento Scienze dell'Ambiente Forestale e delle sue Risorse (DISAFRI), Università della Tuscia, Via San Camillo de Lellis 00100 Viterbo, Italy - *Corresponding author: piermaria.corona@unitus.it

Abstract: *The Winkelmass index as a forest management tool for inventorying stand structure. Spatial pattern of tree species, sizes and ages affects functional processes and biodiversity of forest ecosystems. Therefore, it is more and more important that stand structural diversity can be assessed through easy-to-implement methodologies at forest management scale. This paper discusses the application of a recently proposed index (the Winkelmass index) of tree spatial aggregation, based on the measurement of the angles between neighboring stems, to a beech (*Fagus sylvatica* L.) forest in Northern Latium (Italy). Results shows that the Winkelmass index can be implemented in a simple and fast way according to objective sampling schemes and allows to produce a raster map of tree aggregation pattern in the forest. Under the stand condition in the test area, only four trees at each sample point were sufficient to characterize prevailing stand horizontal structure.*

Keywords: Forest, Stand structure, Winkelmass index, Lazio, Italy.

Received: Mar 30, 2005 - Accepted: Apr 15, 2005

Citation: Corona P, D'Orazio P, Lamonaca A, Portoghesi L, 2005. L'indice *Winkelmass* per l'inventariazione a fini assestamentali della diversità strutturale di soprassuoli forestali. *Forest@* 2 (2): 225-232. [online] URL: <http://www.sisef.it/>

Introduzione

La diversità strutturale dei popolamenti forestali rappresenta una delle principali componenti della biodiversità degli ecosistemi boschivi (Larsson 2001). Essa dipende dalla fase di sviluppo dei popolamenti (Oliver & Larson 1996, Brokaw & Lent 1999) ed è generalmente collegata con la varietà specifica e genetica complessiva: a esempio, vari studi hanno dimostrato l'esistenza di una correlazione positiva tra la ricchezza di specie ornamentali e l'articolazione della struttura arborea verticale (Mac Arthur & Mac Arthur 1961, Moss 1978, Barbati et al. 1999).

La massima parte dei boschi italiani viene definita, nell'ambito del *Temperate and Boreal Forest Resources Assessment* (TBFRA2000; vd. UN 2000), come "foreste seminaturali", cioè sistemi in cui l'azione antropica ha portato alterazioni della originaria complessità strutturale e compositiva (Ciancio et al. 1999, No-

centini 2001). Ciò è avvenuto soprattutto a causa di una gestione che spesso ha teso a favorire univocamente le specie di maggiore interesse economico, coltivandole in popolamenti il più possibile uniformi quanto a dimensioni ed età degli individui arborei. La biodiversità e i processi funzionali del bosco ne hanno risentito negativamente, e ciò costituisce oggi un dato di fatto a fronte dei sempre più numerosi beni e servizi che le foreste sono chiamate a fornire alla società, molti dei quali legati alla natura complessa dei sistemi boschivi. Peraltro, in Italia, i modelli gestionali proposti in sede di pianificazione, in genere tradizionalmente orientati alla cosiddetta "normalizzazione" del bosco, spesso non sono stati pedissequamente applicati e, dunque, spesso la diversità strutturale risulta, in realtà, sorprendentemente più elevata di quanto ci si potrebbe aspettare (Ciancio et al. 1986, Agrimi et al. 1991).

Le nuove esigenze della gestione forestale e l'importanza acquisita dal cosiddetto "momento strutturale" della coltivazione (Ciancio *et al.* 1986) evidenziano l'importanza di valutare la diversità residuale relativa alle dimensioni degli alberi e al loro disporsi nello spazio. Ciò al fine di confrontare situazioni diverse e trarne informazioni di base per l'applicazione della selvicoltura in chiave sistemica. Alle descrizioni ritraibili dalle classiche elaborazioni dendrometriche, quali la curva di distribuzione delle frequenze dei diametri, delle altezze e delle età degli alberi, si sono oggi affiancate quelle offerte da numerosi indici sintetici (per un'ampia rivista, vedi Neumann & Starlinger 2001, Staudhammer & LeMay 2001, Pommerening 2002, Del Rio *et al.* 2003). Per quanto riguarda la descrizione della struttura nello spazio orizzontale, l'applicazione pratica della gran parte di questi indici si basa su semplici misure di distanza o di posizione reciproca tra alberi vicini, effettuate in corrispondenza dei nodi di una griglia di campionamento.

Da qui la necessità di una sperimentazione, in condizioni che caratterizzano i boschi italiani, che evidenzi il rapporto tra le informazioni ottenibili da questo tipo di indici e l'impegno operativo da affrontare. Il confronto con le informazioni desumibili dai rilievi convenzionali e con altri indici di natura biologica è il primo passo per la valutazione della capacità descrittiva di un indice. Ad esso va associata un'adeguata tecnica campionaria, che ne supporti il ruolo nel descrivere oggettivamente la diversità strutturale di soprassuoli forestali.

Questo lavoro riferisce di una sperimentazione condotta in merito all'applicazione di uno degli indici più semplici e innovativi proposti a livello internazionale negli ultimi anni per la descrizione della struttura di un popolamento forestale nello spazio orizzontale: l'indice Winkelmass (Von Gadow *et al.* 1998, Von Gadow 1999).

L'Indice Winkelmass

L'indice Winkelmass (W) consente di descrivere la modalità di distribuzione spaziale degli alberi in corrispondenza di un dato punto di sondaggio all'interno di un dato popolamento forestale, tramite l'osservazione degli angoli di direzione α_j (con $j = 1, \dots, k$) rispetto ai k alberi più vicini intorno al punto di sondaggio.

Il vertice dell'angolo può essere costituito dall'albero più vicino al punto di sondaggio (*tree-based Winkelmass*; vd. Von Gadow *et al.* 1998, Von Gadow 1999) oppure dal punto di sondaggio stesso (*point-or-area based Winkelmass*; vd. Aguirre *et al.* 2003): sotto il profilo operativo, quest'ultimo approccio è in genere preferibile (Aguirre *et al.* 2003).

L'angolo tra due alberi vicini può essere misurato in senso orario o antiorario: in ogni caso va considerato quello di minore ampiezza. Il confronto tra il valore dell'angolo misurato α_j con un valore di riferimento α_r fornisce una variabile binaria z_j che assume i seguenti valori:

$$z_j = 1 \quad \text{con} \quad \alpha_j < \alpha_r$$

$$z_j = 0 \quad \text{con} \quad \alpha_j \geq \alpha_r$$

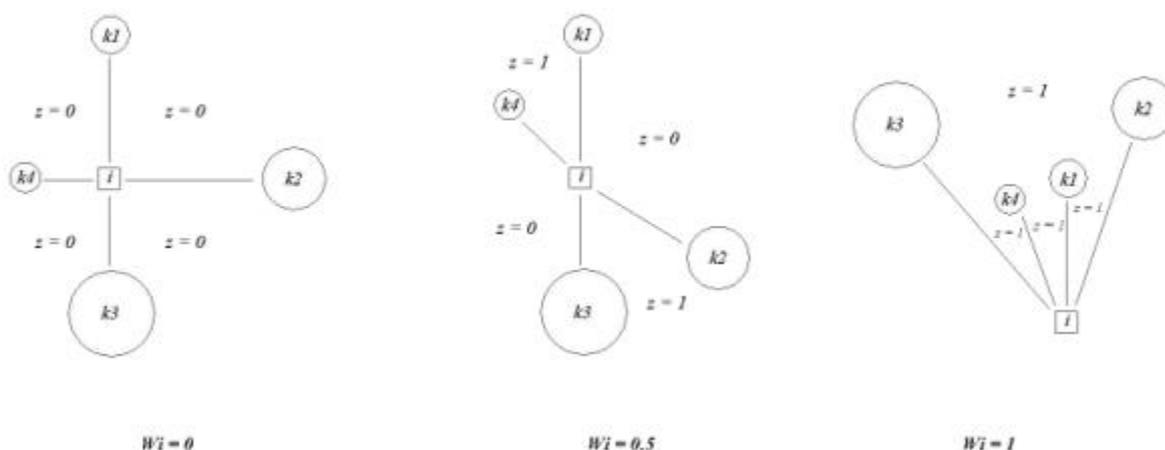


Fig. 1 - Valori assunti dall'indice Winkelmass e dalla variabile z , nel punto di sondaggio i , con $k = 4$ alberi di riferimento

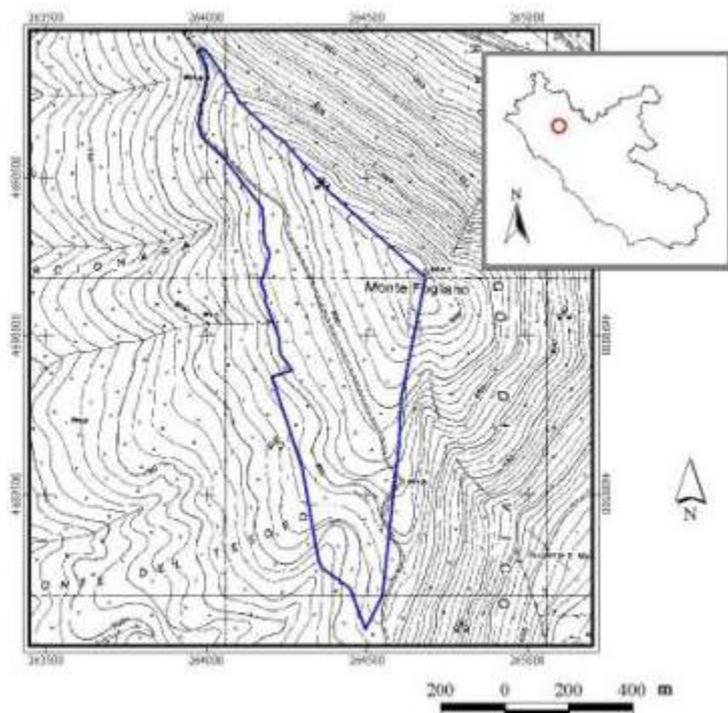


Fig. 2 - Area di studio

L'angolo di riferimento è pari a $1/k$ dell'angolo giro, valore atteso nel caso di distribuzione perfettamente regolare degli alberi.

L'indice W_i , calcolato per l' i -esimo punto di sondaggio, è pari alla media del valore assunto dalla variabile z_j (fig. 1):

$$W_i = \frac{1}{k} \cdot \sum_{j=1}^k z_j$$

In caso di distribuzione regolare, valori di pari a zero si hanno nel caso in cui il punto di sondaggio cada al centro del gruppo di alberi o nelle sue immediate vicinanze, rendendo minimo l'intervallo di valori di W_i che distinguono una distribuzione regolare da una casuale. Per tale motivo, all'angolo di riferimento si applica una percentuale di tolleranza che alcuni studi empirici consigliano porre uguale al 20%, cioè $\alpha_r = 0.8 \cdot \alpha_0$ (Von Gadow 1999), con α_0 pari a $1/k$ dell'angolo giro.

Nell'applicazione di questa procedura non è in realtà richiesta la misura diretta di nessun angolo, ma solamente la verifica della condizione espressa sopra, che può essere eseguita a vista o tramite appositi strumenti tarati sull'angolo di riferimento adottato, rendendo così il rilievo molto speditivo.

I valori che può assumere W_i variano tra 0 e 1. I valori estremi caratterizzano, rispettivamente, distribuzioni degli alberi nello spazio orizzontale di tipo regolare o a gruppi. I valori intermedi caratterizzano

distribuzioni spaziali che tendono a essere casuali ($W_i = 0.5$).

Nel caso di campionamento casuale o sistematico semplice, lo stimatore del valore medio dell'indice Winkelmass in un dato popolamento forestale è pari a:

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n W_j$$

dove: n = numero di punti di sondaggio. La variabilità di \bar{W} può essere stimata tramite il suo errore standard (*ess*), pari a:

$$ess = \sqrt{\frac{1}{n \cdot (n-1)} \sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}$$

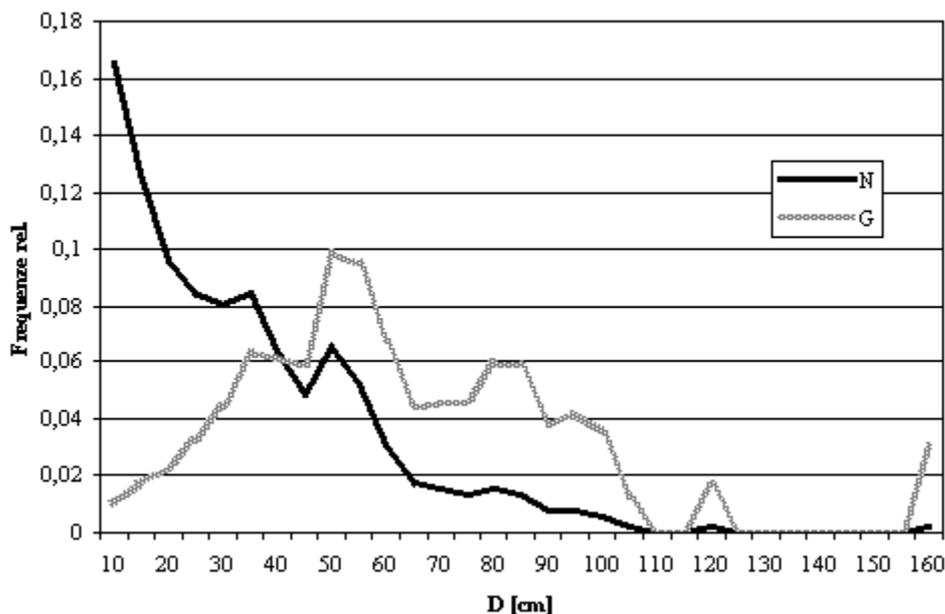
Area sperimentale

L'area oggetto di sperimentazione è situata nell'alto Lazio, sulla parte sommitale del versante occidentale di Monte Fogliano, nel territorio del Comune di Vetralla (VT). È compresa tra le quote di 780 e 960 m s.l.m., e ha una superficie complessiva di circa 50 ettari (fig. 2).

Secondo la carta fitoclimatica del Lazio (Blasi 1994), l'area in questione rientra nella Regione Temperata, Termotipo collinare inferiore/superiore, Ombrotipo subumido superiore/umido inferiore, Regione mesaxerica (sottoregione ipomesaxerica).

La vegetazione forestale è costituita da una faggeta

Fig. 3 - Distribuzione complessiva delle frequenze relative del numero di alberi e dell'area basimetrica per classi diametriche nell'area sperimentale



di quota, inquadrata nel *Corydalidi-Fagetum* (Blasi et al. 1990, Scoppola et al. 1991) o, secondo alcuni autori, nel *Polysticho-Fagetum aceretosum pseudoplatani* (Scoppola & Caporali 1998), dell'alleanza *Fagion sylvaticae*. Tale faggeta, insieme a quella più nota del Monte Cimino, è caratterizzata da termotipi più umidi e freschi rispetto alla restante parte del territorio viterbese (Scoppola & Caporali 1996). Accanto al faggio (*Fagus sylvatica* L.) sono presenti, con frequenze minori, il cerro (*Quercuscerris* L.), soprattutto nelle esposizioni sud-occidentali, il castagno (*Castanea sativa* Miller) e altre latifoglie mesofite (*Acer* spp., *Sambucus nigra* L.).

La gestione dei boschi del Comune di Vetralla si è evoluta attraverso ripetuti piani di assestamento forestale, iniziati circa sessant'anni fa (Giove 1939) con orientamento strettamente produttivo. I successivi piani di assestamento (Patrone 1958, Patrone 1970) inclusero i boschi sommitali del Monte Fogliano in una classe colturale definita "fustaia estetica" (superficie pari a circa 57 ettari), che, soggetta a vincolo paesaggistico, è rimasta nel complesso invariata fino ad oggi.

L'attuale struttura di questi popolamenti è assimilabile al classico tipo disetaneo (fig. 3), con alberi di grosse dimensioni e con scarso sottobosco arbustivo.

Metodologia sperimentale

All'interno dell'area di studio è stato realizzato un campionamento sistematico per il rilevamento dell'indice Winkelmass, su un reticolo con passo di 50 metri appoggiato al sistema di coordinate UTM

33N ED50.

A ciascun nodo del reticolo è stato associato un punto di sondaggio, per un totale di 203 unità campionarie.

Per ciascun punto di sondaggio è stato calcolato il valore dell'indice Winkelmass con $k = 4$ (W_{i4}), ossia considerando i quattro alberi più vicini al punto di sondaggio. Sono stati considerati tutti gli alberi con diametro a petto d'uomo pari o superiore a 7.5 cm. L'indice può assumere cinque valori: 0 - 0.25 - 0.5 - 0.75 - 1. Con i valori calcolati è stata costruita una "mappa del contagio", che evidenzia la struttura del popolamento nello spazio orizzontale (Fig. 4).

Utilizzando lo stesso reticolo, ma adottando un passo di 100 metri (51 unità campionarie), sono stati anche calcolati i valori dell'indice Winkelmass per $k = 6$ (W_{i6}) e per $k = 8$ (W_{i8}). W_{i6} può assumere sette valori (0 - 0.167 - 0.333 - 0.5 - 0.667 - 0.833 - 1) e W_{i8} nove (0 - 0.125 - 0.25 - 0.375 - 0.5 - 0.625 - 0.75 - 0.875 - 1).

Centrata attorno a ciascun punto di sondaggio ottenuto dal reticolo con passo di 100 m è stata anche delimitata un'area campione di forma quadrata, con lato pari a 20 m. In ciascuna area campione è stato eseguito il cavallettamento degli alberi presenti con diametro pari a 7.5 cm o superiore.

I valori dell'indice Winkelmass sono stati posti in correlazione con i parametri dendrometrici derivanti dal cavallettamento e con l'indice di diversità strutturale (Staudhammer & LeMay 2001) determinato in base al numero di alberi e all'area basimetrica di ciascuna classe diametrica:

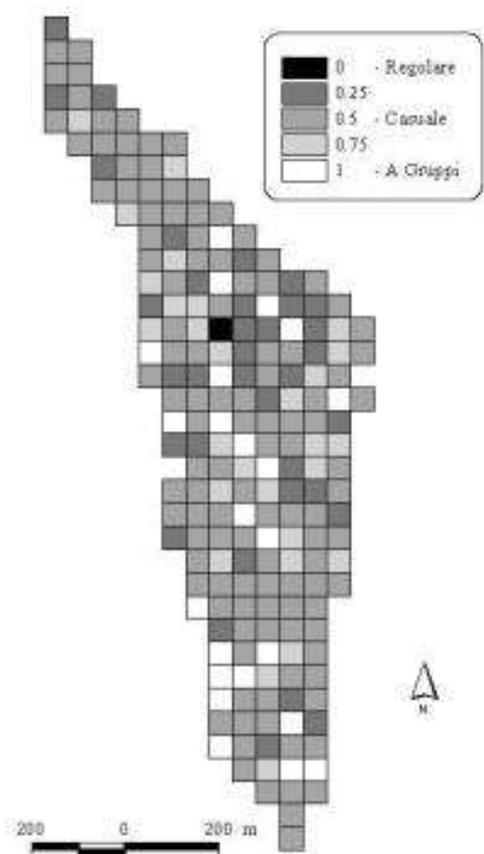


Fig. 4 - Valori dell'indice, nell'area sperimentale.

$$H' = \sum_{i=1}^{s_i} \left(-\ln \frac{n_{ij}}{N_i} \right) \cdot \frac{n_{ij}}{N_i}$$

dove: N_i = numero totale di alberi cavallettati (oppure area basimetrica totale) nell' i -esima area campione; n_{ij} = numero di alberi (o area basimetrica) afferenti alla j -esima classe diametrica nella i -esima area

campione; S_i = numero di classi diametriche nella i -esima area campione.

L'indice H' misura la diversità di distribuzione del numero di alberi (o dell'area basimetrica) nelle diverse classi diametriche. Tale diversità risulta massima quando tutte le classi diametriche hanno lo stesso numero di alberi (o lo stesso valore di area basimetrica): in questo caso, il valore assunto dall'indice H' sarà pari al logaritmo naturale di S . Il rapporto tra l'indice H' e il suo valore massimo teorico viene chiamato indice di uniformità (Neumann & Starlinger 2001; Del Rio et al. 2003):

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

La correlazione tra indici e parametri dendrometrici è stata quantificata tramite il coefficiente di correlazione di Pearson, secondo la seguente formula:

$$r_{xy} = \frac{s_{xy}^2}{s_x s_y}$$

dove:

s_{xy}^2 = covarianza stimata degli attributi;
 s_x = deviazione standard stimata per l'attributo x ;
 s_y = deviazione standard stimata per l'attributo y .

Risultati

Nelle figure 3 e 5 sono evidenziate la distribuzione complessiva del numero di piante per classi diametriche e la distribuzione complessiva del numero di piante e dell'area basimetrica per specie, così come risultano dal cavallettamento delle 51 aree campione. Il numero medio di alberi ad ettaro è pari a 255, con diametro medio pari a 40.6 cm.

Il valore medio dell'indice Winkelmass calcolato con quattro alberi di riferimento ($k = 4$, 203 osservazioni) è risultato pari a 0.546 (ess% = 2.8% - Fig. 6). All'interno del popolamento prevale quindi una

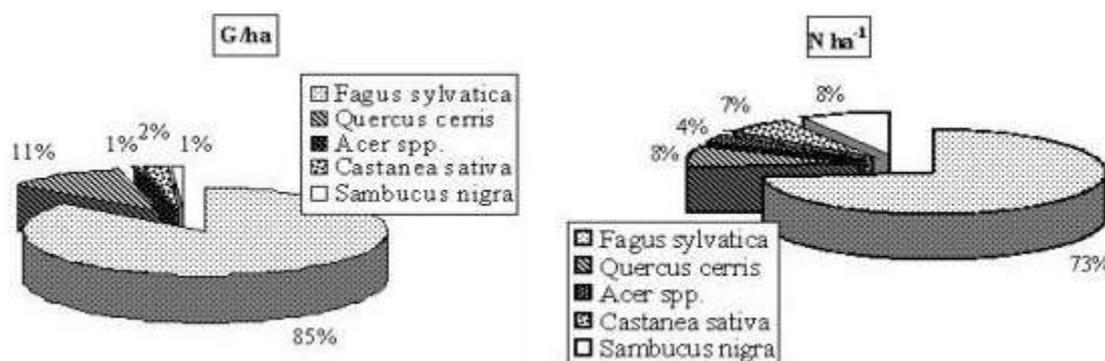


Fig. 5 - Distribuzione percentuale del numero di piante (N) e dell'area basimetrica (G) per specie nell'area sperimentale

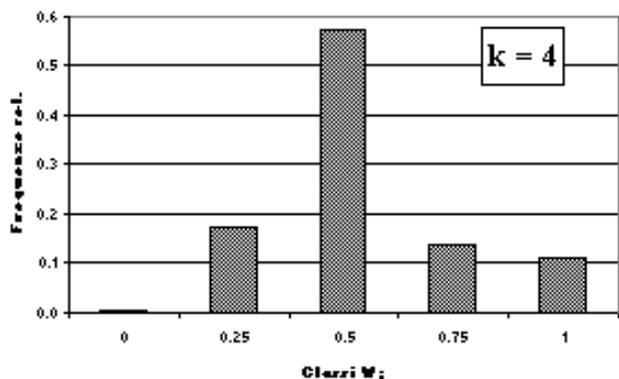


Fig. 6 - Frequenze relative dell'indice nell'area sperimentale

distribuzione degli alberi di tipo casuale; nella parte centrale e verso l'estremità sud dell'area di studio la struttura tende comunque a essere diversa, con distribuzione delle piante a tratti più raggruppata, a tratti più uniforme (fig. 4).

Il confronto tra i valori medi dell'indice Winkelmass calcolato per k pari a 4, 6 e 8 è riportato in tab. 1. L'indice assume valori medi molto simili, senza differenze significative: ciò dimostra che, in condizioni analoghe a quelle esaminate, per la determinazione dell'indice Winkelmass a livello di particella forestale non è necessario utilizzare più di quattro alberi per ciascun punto di sondaggio. Ovviamente, la scelta di 4, 6 o 8 alberi fa variare il valore dell'indice in ciascun punto di sondaggio; le differenze di valori rilevati per l'indice calcolato tra 4 e 6 alberi, tra 6 e 8 alberi e tra 4 e 8 alberi, in ciascun punto di sondaggio, sono però nel 76.5% dei casi inferiori a $|0.25|$ (fig. 7).

Nella tab. 2 sono riportati i valori medi dell'indice Winkelmass (per $k = 4$) calcolati su un numero crescente di unità campionarie (51, 101, 203, corrispondenti rispettivamente a reticoli con passo di 50, 71 e 100 m). Nelle condizioni esaminate, i valori medi dell'indice risultano indipendenti dalla numerosità del campione, e presentano ovviamente valori di errore standard che diminuiscono all'aumentare

Tab. 2 - Valori medi dell'indice Winkelmass (con $k = 4$) nell'area sperimentale al variare della numerosità campionaria.

Numerosità del campione	Valore medio dell'indice W	Errore standard dell'indice W
51	0.559	0.028
101	0.535	0.020
203	0.546	0.015

Tab. 1 - Valori medi dell'indice Winkelmass al variare di k nell'area sperimentale (numero di osservazioni = 51).

Numero di alberi utilizzati (k)	Valore medio dell'indice W	Errore standard dell'indice W
4	0.559	0.028
6	0.526	0.023
8	0.529	0.021

della numerosità del campione.

Il valore medio dell'indice H' calcolato per il numero degli alberi ad ettaro (H'_N), con classi diametriche di ampiezza di 5 cm, è pari a 1.594, mentre il valore medio stimato per l'area basimetrica (H'_G) è pari a 1.388. L'indice di uniformità, calcolato per il numero degli alberi ad ettaro (E_N), è pari a 0.939, mentre il valore stimato per l'area basimetrica (E_G) è pari a 0.817.

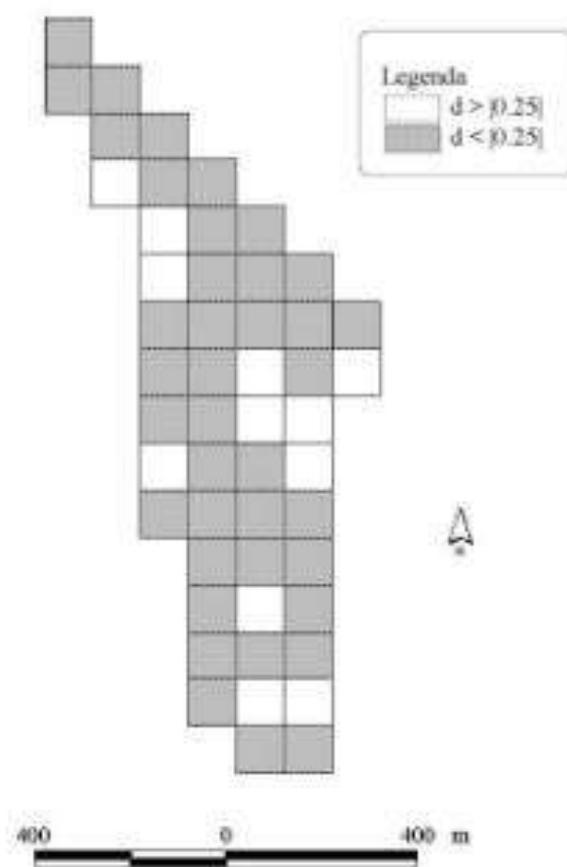


Fig. 7 - Differenza tra i valori dell'indice Winkelmass calcolati per 4, 6 e 8 alberi

Tab. 3 - Coefficiente di correlazione dell'indice Winkelmass rispetto agli altri parametri misurati nell'area sperimentale (numero di osservazioni = 51).

	Indice E_N	Indice E_G	Indice H'_N	Indice H'_G	Numero alberi a ettaro	Area basimetrica a ettaro
Valore	-0.009	-0.033	-0.117	-0.137	-0.040	-0.150

Mediamente, l'indice H' indica una diversità strutturale lievemente maggiore in termini di numero di alberi per classi diametriche; nel complesso, tale diversità risulta elevata, con valori prossimi al massimo teorico, come dimostrato dai valori dell'indice di uniformità.

Dalla tab. 3 risulta evidente la completa indipendenza dell'indice Winkelmass rispetto a tutti gli altri parametri misurati nell'area sperimentale.

Discussione e conclusioni

L'indice di aggregazione Winkelmass descrive il tipo di distribuzione spaziale di k alberi attorno a un dato punto di sondaggio. Implementato nel contesto di un disegno campionario probabilistico, esso permette di descrivere in modo agevole e oggettivo le caratteristiche strutturali dei popolamenti forestali nello spazio orizzontale, utili ai fini di descrizione particellare in ambito assestamentale, in associazione alle convenzionali metodologie dendrometriche.

La possibilità di creare una mappa della struttura spaziale orizzontale dei fusti arborei consente la realizzazione di uno strato informativo *raster* utile anche direttamente a fini gestionali.

La sperimentazione condotta ha evidenziato come l'indice Winkelmass sia di facile e veloce rilievo in bosco, non richiedendo misurazioni dirette né delle distanze, né degli angoli tra i k alberi considerati. L'accertata possibilità di eseguire il rilievo con riferimento a solo 4 alberi intorno a ciascun punto di sondaggio consente, in condizioni analoghe a quelle esaminate, di accelerare ulteriormente i tempi di rilievo.

Come atteso, i valori dell'indice Winkelmass sono risultati indipendenti sia nei confronti di parametri dendrometrici convenzionali, sia nei confronti di indici di diversità strutturale calcolati sulla ripartizione degli alberi per classi diametriche: ne va pertanto sottolineata la rilevanza applicativa in quanto fornisce un differente contributo alla descrizione quantitativa dell'eterogeneità strutturale dei soprassuoli forestali, mettendone in risalto specifiche peculiarità.

Ringraziamenti

Lavoro svolto in parti uguali dagli autori, nell'ambito del progetto Ri.Selv.Italia, sottoprogetto 4.2 "Sistemi Informativi di Supporto per la Gestione Forestale".

Bibliografia

- Agrimi M, Ciancio O, Portoghesi L, Pozzoli R (1991). I querceti di cerro e farnetto di macchia grande di Manzianna: 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 XLVIII*: 157-176.
- Blasi C (1994). *Fitoclimatologia del Lazio*. *Fitosociologia*, 27.
- Blasi C, Filesi L, Abbate G, Cornelini P (1990). La vegetazione forestale dei Monti Cimini. *Doc. Phytosoc., N.S.*, 12: 305-320.
- Brokaw NVL, Lent RA (1999). Vertical structure. In: Hunter M.L. Jr (editor), *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 373-399.
- Ciancio O, Cutini A, Mercurio R, Veracini A (1986). Sulla struttura della pineta di pino domestico di Alberese. *Annali dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura XVII*: 171-231.
- Ciancio O, Corona P, Iovino F, Menguzzato G, Scotti R (1999). Forest management on a natural basis: the fundamentals and case studies. *Journal of Sustainable Forestry* 1/2: 59-72.
- 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.
- Giove D (1939). *I boschi di Vetralla. Consistenza patrimoniale e ordinamento economico*. Officina Poligrafica Laziale. Roma.

- Larsson TB (2001) (ed.). Biodiversity evaluation tools for European forests. A report from the FAIR project indicators for monitoring and evaluation of forest biodiversity in Europe Ecological Bulletins, 50.
- Mac Arthur RH, Mac Arthur JW (1961). On bird species diversity. Ecology 42: 594-598.
- Moss D (1978). Diversity of woodland song-bird populations. Journal of Animal Ecology 47: 521-527.
- Neumann M, Starlinger F (2001). The significance of different indices for stand structure and diversity in forests. Forest Ecology and Management 145: 91-106.
- Nocentini S (2001). La rinaturalizzazione come strumento di recupero dei sistemi forestali semplificati nell'Italia Meridionale. L'Italia Forestale e Montana LVI (5): 344-351.
- Oliver CD, Larson BC (1996). Forest stand dynamics. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Patrone G (1958). Piano di assestamento del Comune di Vetralla per il decennio 1958-67. Tipografia B. Coppini & C. Firenze.
- Patrone G (1970) Piano di assestamento del Comune di Vetralla per il quindicennio 1971-85. Tipografia B. Coppini & C. Firenze.
- Pommerening A (2002). Approaches to quantifying forest structure. Forestry 75: 305-324.
- Scoppola A, Blasi C, Abbate G, Michetti L, Scagliusi E, Kuzminsky E, Anitori F (1991). La vegetazione della caldera del Lago di Vico. Regione Lazio, Ass. Programmazione, Dip. Biologia Vegetale Univ. "La Sapienza", Roma. 43 pp.
- Scoppola A, Caporali C (1996). I boschi caducifogli mesofili con faggio della Provincia di Viterbo: aggiornamento sulla distribuzione. Ann. Acc. It. Sc. For. XLV: 167-188.
- Scoppola A, Caporali C (1998). Mesophilous woods with *Fagus sylvatica* L. of northern Latium (Tyrrhenian Central Italy): synecology and syntaxonomy. Plant Biosystems 132 (2): 151-168.
- Staudhammer CL, LeMay VM (2001). Introduction and evaluation of possible indices of stand structural diversity. Can. J. For. Res. 31: 1105-1115..
- UN (2000). Forest resources of Europe, CIS, North America, Australia, Japan and New Zealand (industrialized temperate/boreal countries). UN/ECE/FAO Contribution to the Global Forest Resources Assessment 2000. Main Report. Geneva Timber and Forestry Study Papers, N° 17. United Nation Publication, New York and Geneva. 445 pp.
- Von Gadow K, Hui GY, Albert M (1998). Das Winkelmaß - ein Strukturparameter zur Beschreibung der Individualverteilung in Waldbeständen. Centralbl. Für das ges. Forstw. 115: 1-10.
- Von Gadow K (1999) Waldstruktur und diversitat. Allgemeine Forst und Jagdzeitung 170 (7): 117-122.