

Effetti della struttura del popolamento sui modelli di stima del volume e della biomassa epigea (Pineta di Castelfusano - Roma)

Cutini A*, Hajny MT, Gugliotta OI, Manetti MC, Amorini E

CRA-SEL, Centro di ricerca per la selvicoltura, v.le Santa Margherita 80, I-52100 Arezzo (Italy) - *Corresponding Author: Andrea Cutini (andrea.cutini@entecra.it).

Abstract: *Effect of stand structure on models for volume and aboveground biomass assessment (Castelfusano pinewood, Roma).* The main purpose of this research was to analyse the effects of stand structure on biomass allocation and on the accuracy of estimation models for volume and aboveground biomass of Italian stone pine (*Pinus pinea* L.). Although the species is widely distributed on Mediterranean coasts, few studies on forest biomass estimation have focused on pinewoods. The research was carried out in the Castelfusano's pinewood (Rome) and concerned the two most common structural types: (a) 50 years-old pinewood originated by broadcast seeding; and (b) 62 years-old pinewood originated by partial seeding alternating worked strips to firm strips. Some 83 sample trees were selected for stem volume estimation and a subset of 32 trees used to quantify the total epigeous biomass, the wooden biomass compartment, including stem and big branches (diameter > 3 cm) and the photosynthetic biomass, including thin branches (diameter < 3 cm) and needles. Collected data were used to elaborate allometric relations for stem volume, total biomass and specific relations for both compartments, based on one (d^2) or two (d^2h) independent variables, for both structural types. Furthermore, pinewood specific biomass expansion factors (BEF) - indexes used to estimate carbon stocks starting from stem biomass data - were obtained. The achieved estimation models were subjected to both parallelism and coincidence tests, showing significant effects of stand structure on the accuracy of the allometric relations. The effects of stand structure and reliability of tree height curves on the accuracy of estimation models for volume and aboveground biomass and on biomass allocation in different compartments are analysed and discussed.

Keywords: *Pinus pinea* L., Structural types, Allometric relations, Biomass allocation, Biomass expansion factors.

Received: Oct 07, 2008; Accepted: Jan 27, 2009

Citation: Cutini A, Hajny MT, Gugliotta OI, Manetti MC, Amorini E, 2009. Effetti della struttura del popolamento sui modelli di stima del volume e della biomassa epigea (Pineta di Castelfusano - Roma). *Forest@* 6: 75-84 [online: 2009-03-25] URL: <http://www.sisef.it/forest@/>.

Introduzione

L'importanza degli ecosistemi forestali nel mitigare gli effetti dei cambiamenti globali mediante la fissazione e lo stoccaggio di grandi quantità di carbonio è ampiamente riconosciuta (Dixon et al. 1994, Brown et al. 1999). Si stima che le foreste, pur ricoprendo circa il 30% delle terre emerse, contengano più dell'80% della biomassa terrestre (Dixon et al. 1994, Dupouey et al. 1999).

Con la ratifica del protocollo di Kyoto il nostro paese si è impegnato in una notevole riduzione delle

emissioni dei gas a effetto serra (CIPE 2002, Ciccamesse & Pettenella 2002). Si tratta di una sfida rilevante che, oltre a riflessioni di politica forestale, necessita di un'attendibile valutazione e quantificazione del carbonio stoccato dalle foreste. In ragione di ciò la stima della biomassa - variabile il cui valore è direttamente proporzionale alla quantità di carbonio contenuta all'interno delle foreste - rappresenta una priorità per il mondo scientifico.

I metodi di stima in linea di principio sono due: diretti e indiretti. I primi presupporrebbero l'abbatti-

mento di tutti gli alberi di un popolamento o, per lo meno, di aree rappresentative dello stesso per poi procedere a misure dirette (Ketterings et al. 2001). Si tratta di un approccio non solo distruttivo ma anche estremamente dispendioso e quindi, di fatto, inapplicabile. Di norma si procede quasi sempre attraverso metodi indiretti basati sull'elaborazione di relazioni allometriche fra la biomassa e alcuni parametri dendrometrici facilmente misurabili come il diametro, l'altezza e, in alcuni casi, il diametro della chioma (Ketterings et al. 2001, Zianis et al. 2005, Anfodillo et al. 2006). In genere, con l'abbattimento di un numero contenuto di alberi modello si riesce a disporre di modelli di stima piuttosto accurati.

Tra i fattori in grado di condizionare il livello di accuratezza di questi modelli rientrano tutti quelli che interagiscono con l'accrescimento dei popolamenti forestali. Fra questi, oltre ai fattori di disturbo di natura diretta e indiretta (Brown et al. 1999), giocano un ruolo di primo piano le caratteristiche strutturali del soprassuolo che, esprimendo la disposizione spazio-temporale degli alberi (Oliver & Larson 1996), condizionano i processi di competizione interindividuale. Nel caso di popolamenti artificiali le combinazioni fra le possibili densità, modalità e sestici di impianto rivestono un ruolo importante per l'accrescimento dei soprassuoli e la ripartizione della sostanza organica nei vari compartimenti. Ciò vale soprattutto per il pino domestico (*Pinus pinea* L.), specie ampiamente diffusa lungo i tratti costieri della nostra penisola e la cui architettura è sensibilmente condizionata dalla struttura del popolamento, con forme variabili dalla caratteristica chioma ad ombrello, nel caso di popolamenti radi, alla forma a candelabro, nelle condizioni di maggiore densità (Ciancio et al. 1986).

A seguito del vasto incendio che ha interessato la pineta di pino domestico di Castelfusano (Roma) nel luglio 2000, il Centro di Ricerca per la Selvicoltura del C.R.A. ha intrapreso un ampio programma di studi finalizzato a individuare forme di trattamento in grado di favorire una gestione razionale sotto il profilo bio-ecologico di questo importante complesso forestale (Amorini et al. 2002, Amorini et al. 2003, Amorini et al. 2005, Cutini et al. 2002). In questo contesto, tenuto conto che il pino domestico è specie diffusa nel bacino del Mediterraneo ma per la quale esistono solo studi sporadici sulla biomassa (Cabannes & Rapp 1981, Rapp 1984), sono state avviate indagini per elaborare relazioni allometriche del volume e della biomassa epigea e valutare l'influenza della struttura arborea sia sui modelli di previsione sia

sull'allocazione della biomassa nei vari compartimenti. Lo studio ha interessato i due tipi strutturali più diffusi all'interno della pineta e ha posto a confronto modelli di previsione basati su una (diametro) e due (diametro e altezza) variabili indipendenti. Nel contempo, la disponibilità di stime accurate della biomassa epigea ha anche consentito di calcolare i valori del *biomass expansion factors* (BEF), indice in grado di fornire, per una data specie e su larga scala, stime speditive dello *stock* di carbonio a partire dai dati disponibili a livello di inventari forestali (Johnson & Sharpe 1983, Schroeder et al. 1997, Fang & Wang 2001, Brown 2002, Löwe et al. 2000).

Materiali e Metodi

L'area di studio

Lo studio è stato condotto nella pineta di Castelfusano, gestita dal Comune di Roma. La pineta, dal 1996 inclusa nella Riserva Naturale Statale del "Litorale Romano", si estende su di un'area di circa 1100 ettari, a ridosso della fascia costiera fra Ostia e la Tenuta Presidenziale di Castelporziano. Il substrato geologico è rappresentato da formazioni dunali derivate dal trasporto fluviale di materiale solido da parte del Tevere che dà origine a suoli a tessitura grossolana, non calcarei in superficie, riferibili agli *Orthieutric Arenosol* (Carta dei suoli del Comune di Roma).

I rilievi sono stati condotti nei due tipi strutturali più diffusi, che si differenziano sia per l'età che per la diversa tecnica di impianto utilizzata:

- pineta di 62 anni originata da semina su fasce lavorate alternate a fasce salde (*Tipo B*).
- pineta di 50 anni originata da semina andante ad integrazione dei nuclei di leccio (*Quercus ilex* L.) e macchia mediterranea preesistenti (*Tipo C*);

I due tipi presentano differenze sotto il profilo strutturale, conseguenti alla differente modalità di impianto. L'assenza di un organico trattamento selvicolturale ha contribuito a mantenere e incrementare nel tempo le diversità e le anomalie strutturali. Nel *Tipo B* le chiome del pino sono fortemente asimmetriche, compresse e con ridotta porzione verde per l'elevata concorrenza laterale; nel *Tipo C* le modalità di semina hanno portato ad una aggregazione delle piante di pino per ciuffi o per gruppi compatti, limitando lo spazio individuale a disposizione e determinando chiome scadenti. Le principali caratteristiche dei due tipi strutturali sotto il profilo dendrometrico sono riassunte nella Tab. 1, mentre le distribuzioni delle piante in classi diametriche sono riportate in

Tab. 1 - Principali indicatori dendrometrici relativi a ciascun tipo strutturale.

Tipo strutturale	Età	Densità (n ha ⁻¹)	Area basimetrica (m ² ha ⁻¹)	Diametro medio (cm)	Altezza media (m)
B	62	338	38.83	38.2	18.0
C	50	370	33.08	33.7	15.2

Fig. 1. In entrambi i casi i dati derivano da rilievi condotti in aree di ricerca permanenti, di forma rettangolare e superficie pari a un ettaro, prima degli interventi sperimentali di diradamento (autunno-inverno 2002-2003). Per maggiori dettagli sulle caratteristiche dei popolamenti studiati si rimanda a Amorini et al. (2002, 2003).

Le differenze osservate, tenuto conto dell'omogeneità dei suoli e della prossimità delle due aree di ricerca, sono da attribuire alla differenza di età e alla diversa modalità di impianto.

Il campionamento

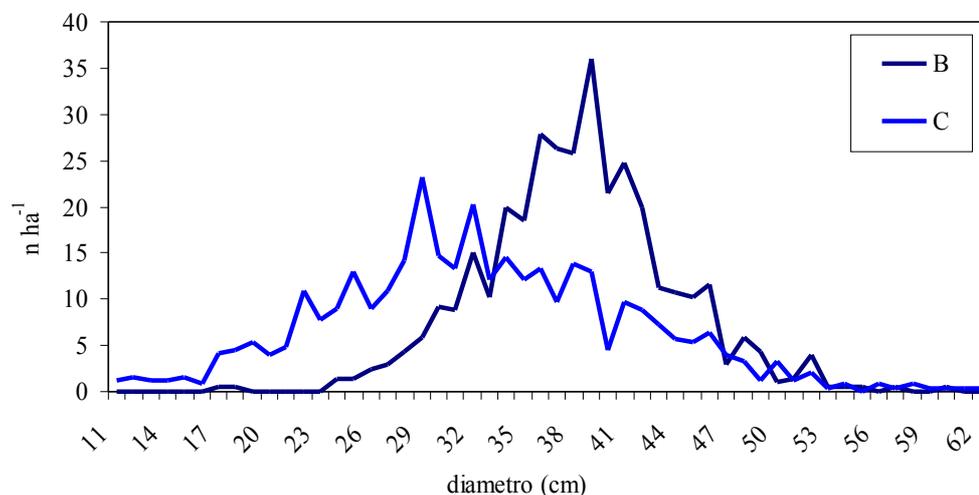
In concomitanza con gli interventi sperimentali di diradamento sono stati abbattuti 83 alberi modello (*Tipo B*: 44 piante; *Tipo C*: 39 piante) distribuiti in maniera proporzionale e ponderata per ogni classe diametrica.

Dopo l'abbattimento di ogni albero modello è stato misurato il diametro a 1.30 metri, il diametro ogni metro a partire dalla sezione a 0.50 metri, l'altezza totale e l'altezza di inserzione della chioma. I dati raccolti hanno consentito di calcolare il volume corometrico comprensivo di cimale utilizzando la formula di Heyer di cubatura per sezioni e di elaborare curve ipsometriche distinte per ciascun tipo strutturale.

La misura della biomassa è stata invece eseguita su

un sottocampione di 32 alberi (15 piante del *Tipo B* e 17 del *Tipo C*) considerando, oltre alla biomassa totale, due componenti principali: la biomassa legnosa, composta da fusto e rami grossi (diametro > 3 cm), e la biomassa fotosintizzante, composta da rami

fini (diametro < 3 cm) e aghi. Sia problemi logistici che di autorizzazioni (la pineta è inserita nella Riserva del Litorale Romano) non hanno consentito di misurare la biomassa ipogea. Oltre al volume del fusto è stato determinato, direttamente in campo, il peso fresco totale dei rami grossi e dei rami fini. Sono stati poi prelevati campioni legnosi di fusto (in prossimità della base, a metà e in prossimità dell'inserzione chioma), rami grossi e rami fini per la determinazione della densità basale (ρ) del fusto e del rapporto peso fresco/peso secco (θ) per i rami grossi e i rami fini. La densità basale di ciascun campione è stata calcolata misurando con il metodo dell'immersione il volume fresco dei campioni raccolti e, successivamente, determinando il loro peso secco ponendoli in stufa ventilata a 80 ± 2 °C fino al raggiungimento del peso costante. Le variabili densità basale e rapporto peso fresco/ peso secco state utilizzate per la stima della biomassa totale e delle singole componenti. In particolare, per il fusto è stata applicata la formula $P_{sf} = V_{ff} \cdot \rho$ (P_{sf} = peso secco del fusto in Kg, ρ = densità basale in Kg·m⁻³ e V_{ff} = volume fresco del fusto in m³), mentre per i rami grossi e i rami fini la formula $P_{sr} = P_f \cdot \theta$ (P_{sr} e P_f rispettivamente peso secco e peso fresco dei rami grossi/fini in Kg e θ = rapporto tra peso secco e fresco per rami grossi/fini). Dalla somma dei pesi secchi dei vari comparti è stata ottenuta la biomassa totale di ciascuna pianta.

Fig. 1 - Distribuzione di frequenza del pino domestico per i tipi strutturali B e C.

I modelli di previsione

Per l'elaborazione dei modelli di previsione si è proceduto sia con il metodo della *stepwise regression* sia costruendo una matrice di correlazione tra le variabili dipendenti volume e peso secco (totale e per componenti) e le variabili indipendenti diametro (d), altezza totale (h), d^2 , h^2 , dh, d^2h , dh^2 e d^2h^2 . Si è così potuto discriminare le variabili indipendenti maggiormente correlate con le variabili dipendenti analizzate e, di conseguenza, scegliere quelle più idonee alla costruzione di modelli sia a una che a due entrate.

Per verificare gli effetti delle differenze strutturali sui modelli di previsione del volume e della biomassa è stata eseguita sia l'analisi grafica, mettendo a confronto l'andamento delle curve relative al tipo strutturale B con quelle relative al tipo strutturale C, sia una dettagliata analisi statistica attraverso il test F e i test di coincidenza e parallelismo (Cunia 1973, Cunia 1987, Sottovia & Tabacchi 1996). Visti i risultati delle matrici di correlazione, i test sono stati eseguiti utilizzando d^2 e d^2h come covariate, il tipo strutturale come variabile indipendente e i valori di volume e peso secco come variabili dipendenti. I valori di densità basale (ρ), relativi a ciascun tipo strutturale, sono stati sottoposti al test t di Student per escludere una eventuale influenza di questa variabile sui risultati ottenuti. Per l'elaborazione dei modelli e i relativi test statistici è stato utilizzato il software *Systat* (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

Biomass expansion factor (BEF)

Avendo a disposizione i dati relativi alle caratteristiche dendrometriche dei popolamenti e modelli accurati di stima della biomassa è stato possibile calcolare i valori del BEF per ciascun tipo strutturale. Come è noto il BEF è il risultato di un rapporto fra due variabili, la variabile "target" oggetto di studio al numeratore e quella invece da "espandere" (variabile nota) al denominatore.

In letteratura sono stati proposti diversi tipi di BEF in funzione della variabile target e della variabile nota (Johnson & Sharpe 1983, Schroeder et al. 1997, Fang & Wang 2001, Lehtonen et al. 2004). In questo studio, secondo la linea recentemente più adottata (Gracia et al. 2002, Gracia & Sabatè 2002), si è scelto di calcolare il BEF come rapporto tra la biomassa totale e la biomassa dei fusti ad ettaro (BEF = biomassa totale / biomassa fusti).

Risultati

Nella Tab. 2 sono riportati il numero, le caratteristiche dendrometriche e i valori di volume del fusto e di biomassa epigea degli alberi modello campionati distinti per tipo strutturale. Il set di dati relativo agli alberi modello ha consentito non solo di elaborare accurati modelli di previsione del volume del fusto e della biomassa ma anche di fare alcune considerazioni sull'allocazione della biomassa tra i vari comparti.

Ponendo a confronto la percentuale di biomassa allocata nel fusto, nei rami grossi e nei rami fini e aghi nei due tipi strutturali emergono alcune differenze (Fig. 2). Se la percentuale allocata nella parte fotosintetizzante è praticamente identica, maggiori scarti si osservano a livello di fusto e rami grossi, con valori in quest'ultimo caso significativamente differenti (test t = -2.965; p = 0.0058). Il test t di Student sui valori di densità basale non ha fatto emergere differenze significative tra i due tipi strutturali (*Tipo B* = 0.53 ± 0.1 ; *Tipo C* = 0.49 ± 0.1).

I valori di altezza, misurati a terra sul campione di alberi modello, hanno evidenziato differenze ipso-diametriche tra i due tipi strutturali (Fig. 3). Nel *Tipo C*, la minore età e un livello di competizione meno omogeneo hanno condotto ad una più marcata differenziazione delle altezze e, di conseguenza, ad una maggiore pendenza della curva. Il valore del coefficiente di determinazione R^2 , benché non raggiunga valori elevati ($R^2 = 0.22$), è risultato comunque signi-

Tab. 2 - Principali caratteristiche degli alberi modello di pino domestico utilizzati per la stima del volume e della biomassa, distinti per tipo strutturale.

Tipo strutturale	N. oss.	Diametro (cm)			Altezza (m)			Volume (m ³)		
		Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
B	44	24.0	49.0	35.9	16.3	19.3	18.0	0.423	1.566	0.959
C	39	15.5	48.0	29.9	13.0	17.8	14.9	0.122	1.380	0.531
Tipo strutturale	N. oss.	Diametro (cm)			Altezza (m)			Biomassa totale (kg)		
		Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med
B	15	27.3	49.0	40.4	16.3	18.9	17.9	266.1	1714.1	844.1
C	17	15.5	45.8	31.0	14.1	16.7	14.9	66.0	910.7	423.6

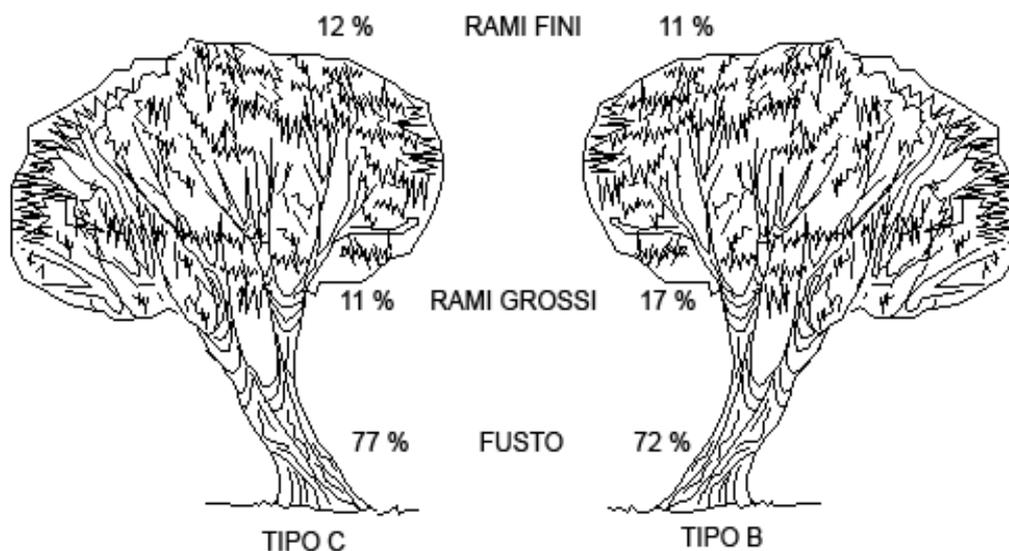


Fig. 2 - Allocazione della biomassa epigea del pino domestico nei comparti fusto, rami grossi e rami fini.

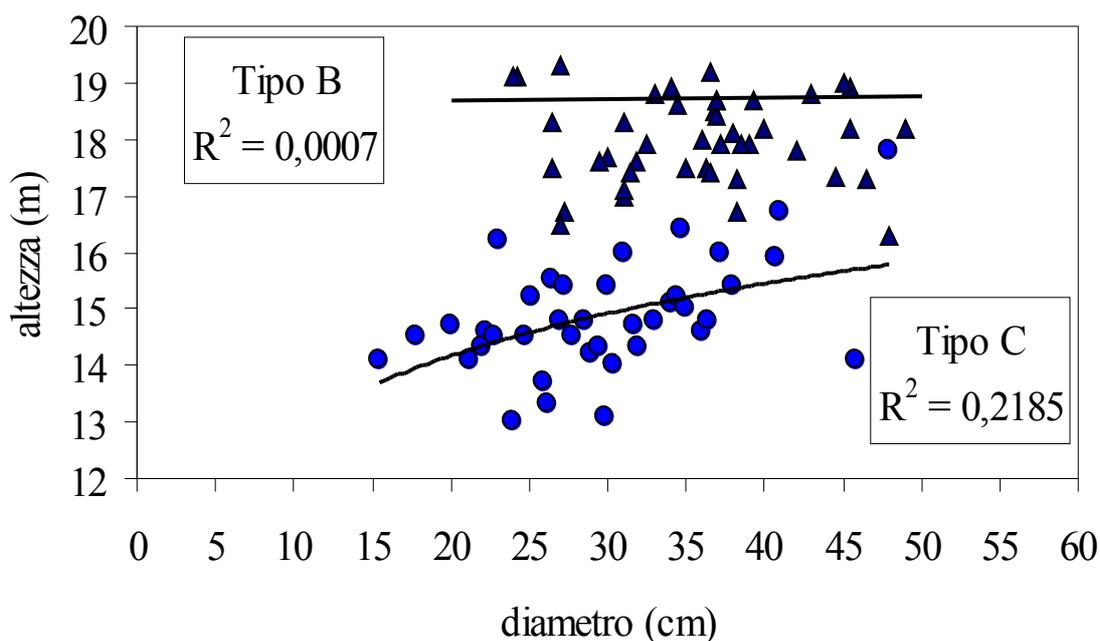
ficativo al test di p di Pearson. Al contrario, nel *Tipo B* la relazione ipso-diametrica è aleatoria come dimostra il forte appiattimento della curva.

Dall'analisi della matrice di correlazione emerge uno stretto rapporto tra gran parte delle variabili indipendenti testate e i valori di volume e biomassa epigea (Tab. 3). Fanno eccezione h^2 e dh^2 che a causa dei bassi valori di r non vengono riportate in tabella. Tale analisi, ancor più dell'approccio *stepwise*, consente in maniera efficace e sintetica di apprezzare, non solo il legame tra la singola variabile indipendente e la singola variabile dipendente, ma anche di fornire un quadro di insieme sulle capacità di ciascuna variabile indipendente di essere un buon predittore.

Entrando più nello specifico, nel caso dell'utilizzo di una sola variabile indipendente, quella maggiormente correlata è il d^2 ; tra le possibili combinazioni di due variabili indipendenti, d^2h è invece quella con R^2 più elevato. A fronte di ciò l'elaborazione dei possibili modelli di previsione del volume e della biomassa, basati su una variabile indipendente (una entrata) e su due variabili indipendenti (due entrate), ha preso in considerazione rispettivamente d^2 e d^2h .

Gli effetti della struttura del popolamento sull'accuratezza dei modelli di previsione è messa in evidenza dai risultati del test F (Tab. 4). La scelta della covariata, ad una o due entrate, è determinante ai fini della significatività della differenza fra i due tipi di pineta. Selezionando come variabile indipendente

Fig. 3 - Curve ipsometriche per i tipi strutturali B [triangoli: $y = 0.1089 \cdot \ln(x) + 18.384$] e C [cerchi: $y = 1.8399 \cdot \ln(x) + 8.6621$].



Tab. 3 - Matrice di correlazione fra variabili predittrici e biomassa, nelle sue varie componenti, e volume del fusto. Con (*) sono evidenziate le variabili con la correlazione più elevata. Il livello di significatività per tutte le correlazioni è di $p < 0.001$.

Variabile indipendente		Biomassa legnosa	Biomassa fotosintetizzante	Biomassa totale	Volume
1 entrata	d	0.923	0.844	0.919	0.944
	h	0.668	0.479	0.646	0.644
	d ²	0.939*	0.885*	0.939*	0.945*
2 entrate	dh	0.936	0.820	0.927	0.977
	d ² h	0.957*	0.880*	0.954*	0.979
	d ² h ²	0.948	0.853	0.942	0.980*

Tab. 4 - Verifica delle ipotesi di coincidenza e parallelismo per discriminare gli effetti della struttura sui modelli lineari predittivi prescelti.

Covariata	Variabile dipendente	N. campione	F	Ipotesi	
				Coincidenza	Parallelismo
d ²	Volume	83	53.75	Rifiutata	Rifiutata
d ²	Biomassa totale	32	4.27	Rifiutata	Rifiutata
d ²	Biomassa legnosa	32	3.49	Rifiutata	Rifiutata
d ²	Biomassa fotosintetizzante	32	8.46	Rifiutata	Rifiutata
d ² h	Volume	83	4.65	Rifiutata	Accettata
d ² h	Biomassa totale	32	2.27	Accettata	Accettata
d ² h	Biomassa legnosa	32	1.14	Accettata	Accettata
d ² h	Biomassa fotosintetizzante	32	7.41	Rifiutata	Rifiutata

il d², si ottengono differenze significative per tutti i comparti, con le ipotesi di coincidenza e parallelismo sempre rifiutate. Utilizzando come variabile indipendente d²h non emergono invece differenze significative fra il Tipo B e il Tipo C per la biomassa totale e

per quella legnosa (ipotesi di coincidenza accettata), mentre queste permangono per la biomassa fotosintetizzante ed in parte per il volume (ipotesi di coincidenza rifiutata ma ipotesi di parallelismo accettata).

Quanto ora esposto trova conferma anche nell'ana-

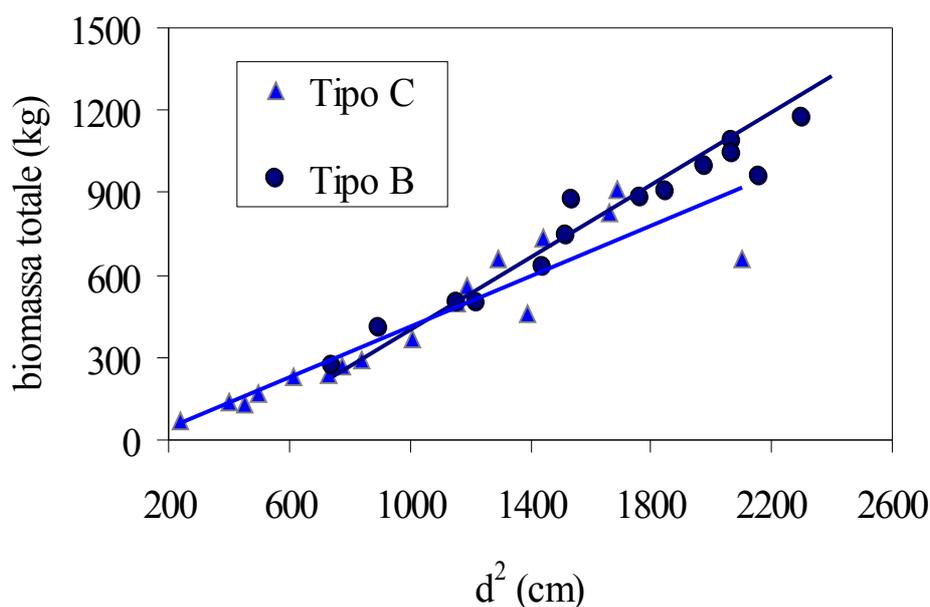
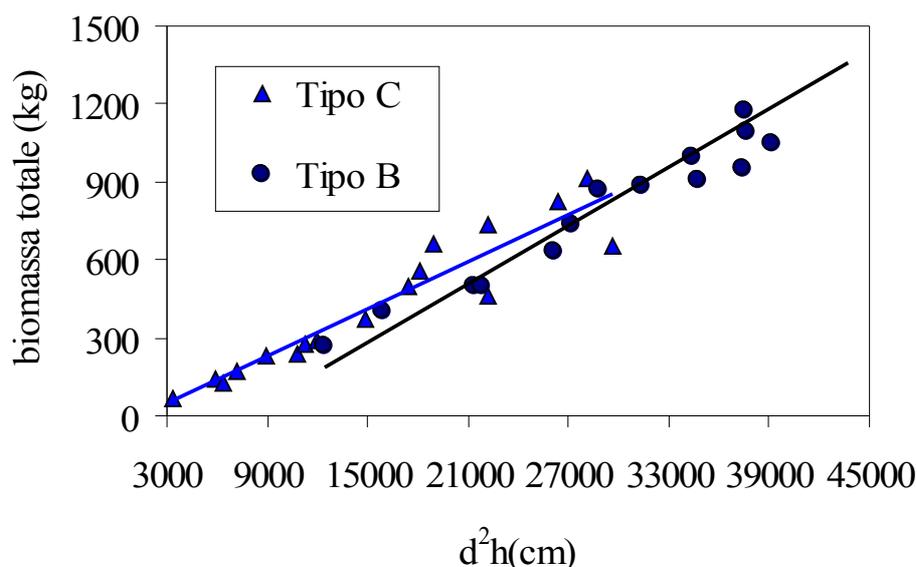


Fig. 4 - Biomassa totale del pino domestico in funzione della variabile d² e del tipo strutturale.

Fig. 5 - Biomassa totale del pino domestico in funzione della variabile $d^2 h$ e del tipo strutturale.



lisi grafica delle *trendline* del volume e della biomassa in funzione delle variabili indipendenti selezionate. A titolo di esempio si riportano gli andamenti della biomassa totale in funzione di d^2 (Fig. 4) e di d^2h (Fig. 5). Si nota che, con d^2 , i modelli relativi ai due tipi strutturali tendono a divergere in maniera più netta, al contrario di quanto si osserva utilizzando d^2h .

Ciò premesso sono stati elaborati una serie di modelli di previsione del volume del fusto e della bio-

massa epigea mediante regressioni allometriche ad una e due entrate (d^2 e d^2h). Le funzioni predittrici sono state tenute distinte per i due tipi strutturali. Come tipo di funzione è stata scelta quella lineare $y = a + bx$ che, tenendo costante la forma dell'equazione, garantisce l'additività tra le componenti rispetto al totale. In Tab. 5 vengono riportati i coefficienti a e b della funzione predittrice, i coefficienti di determinazione corretti (*adjusted R*²) e l'errore standard delle stime (ESS).

Tab. 5 - Coefficienti e indici statistici dei modelli di previsione a una (d^2) e a due entrate (d^2h) del volume del fusto, della biomassa totale e delle sue due principali componenti.

Modello	Comparto	Tipo strutturale	a	b	R ²	ESS
$y = a + d^2 * b$	Volume (dm ³)	B	-9.484	0.732	0.997	0.057
	Volume (dm ³)	C	-20.623	0.584	0.992	0.071
	Biomassa totale (kg)	B	-198.236	0.620	0.993	0.064
	Biomassa totale (kg)	C	-54.463	0.462	0.986	0.070
	Biomassa fotosintetizzante (kg)	B	-61.386	0.095	0.965	0.016
	Biomassa fotosintetizzante (kg)	C	-6.723	0.054	0.983	0.009
	Biomassa legnosa (kg)	B	-136.850	0.526	0.993	0.055
	Biomassa legnosa (kg)	C	-47.740	0.408	0.985	0.065
$y = a + d^2h * b$	Volume (dm ³)	B	-14.214	0.041	0.998	0.003
	Volume (dm ³)	C	-4.198	0.038	0.995	0.004
	Biomassa totale (kg)	B	-170.371	0.034	0.993	0.004
	Biomassa totale (kg)	C	-41.906	0.030	0.989	0.004
	Biomassa totale (kg)	B+C	-42.009	0.029	0.990	0.004
	Biomassa fotosintetizzante (kg)	B	-54.357	0.005	0.959	0.001
	Biomassa fotosintetizzante (kg)	C	-5.102	0.003	0.987	0.001
	Biomassa legnosa (kg)	B	-116.014	0.029	0.994	0.003
	Biomassa legnosa (kg)	C	-36.805	0.026	0.988	0.004
	Biomassa legnosa (kg)	B+C	-36.305	0.026	0.990	0.003

Tab. 6 – Caratteristiche dei popolamenti studiati e *expansion factor* per la biomassa epigea (BEF).

Tipo strutturale	Età	Densità (n ha ⁻¹)	Comparto	Biomassa secca (Mg*ha ⁻¹)	B.E.F.
B	62	338	Fusto	173.1	1.39
			Totale	240.8	
C	50	370	Fusto	132.4	1.33
			Totale	176.1	

La Tab. 6, oltre alcune variabili dendrometriche qualificanti i popolamenti oggetto di studio, riporta i valori di BEF relativi a ciascun tipo strutturale. Da notare come il *Tipo B* presenti valori superiori al *Tipo C*, mentre la media dei due valori è pari a 1.36.

Discussioni e Conclusioni

I risultati ottenuti e, in particolare la serie di modelli di previsione della biomassa totale e per componenti, seppure relativi ad uno specifico caso di studio, costituiscono non solo uno strumento di notevole utilità sotto il profilo tecnico, ma anche un contributo non trascurabile in termini conoscitivi. La rilevanza di ciò è accresciuta sia dalla sporadicità degli studi e dall'esiguità di strumenti di stima ad oggi disponibili per il pino domestico, che dalla diffusione assolutamente non trascurabile di questa specie nel bacino del Mediterraneo.

Detto ciò, i risultati ottenuti consentono di fare alcuni approfondimenti sulle relazioni tra struttura del popolamento e allocazione della biomassa da un lato, e sull'accuratezza dei modelli di previsione dall'altro.

La differente pressione competitiva, evidenziata dagli indicatori dendrometrici relativi ai due tipi strutturali esaminati, ha condizionato in primo luogo l'accrescimento longitudinale e, in secondo luogo, l'allocazione della biomassa. Nella pineta caratterizzata da semina su fasce lavorate alternate a fasce salde (*Tipo B*) si è instaurata nel tempo una pressione competitiva più uniforme rispetto al *Tipo C*, dove la giustapposizione di nuclei di pino e di leccio ha determinato una competizione spazialmente più disomogenea. Questo ha indotto uno sviluppo in altezza più uniforme, peraltro tipico della specie allorché allevata in condizioni di elevata densità. Al contrario nel *Tipo C*, dove il pino domestico è stato seminato in maniera andante e a integrazione di nuclei di latifoglie preesistenti, con conseguente maggiore variabilità da punto a punto dei livelli di competizione, si è registrata una maggiore differenziazione delle altez-

ze, con valori distribuiti in un intervallo di circa quattro metri (13-17 m).

Quanto sopra descritto ha trovato puntuale riscontro nelle relazioni ipsodiametriche relative a ciascun tipo strutturale. Relazione ipsodiametrica praticamente inesistente nel caso del *Tipo B* e, al contrario, statisticamente significativa nel *Tipo C*. Risultati questi che, peraltro, pongono non pochi problemi sotto il profilo metodologico, dal momento che l'impiego di modelli di previsione del volume e della biomassa a due entrate, notoriamente ritenuti molto più accurati di quelli a una entrata, presuppongono l'elaborazione o l'utilizzo di relazioni ipsodiametriche. Relazioni ipsodiametriche che, qualora aleatorie come nel *Tipo B*, possono introdurre errori non trascurabili o comunque superiori all'aumento di accuratezza ottenuto con la scelta del modello a due entrate. La rilevanza di questo risultato è accresciuta dal fatto che questo studio è esente dagli errori che in genere affliggono le misure di altezza su piante in piedi, dal momento che la base dei dati su cui si è operato è costituita da misure di altezze raccolte a terra sugli alberi campione abbattuti. Da ciò ne consegue che nel caso del pino domestico, più che in altre specie, l'opzione a favore dei modelli di previsione a due entrate dovrebbe avvenire non in maniera pregiudiziale, ma dopo un attento esame della robustezza delle relazioni ipsodiametriche disponibili e della loro rispondenza alle reali caratteristiche del popolamento.

Oltre agli effetti sullo sviluppo longitudinale sono emerse alcune differenze tra i due tipi strutturali relativamente all'allocazione della biomassa. Mentre la componente rami fini e aghi ha valori praticamente uguali nei due tipi strutturali, si registrano invece differenze significative tra biomassa del fusto e dei rami grossi. Nel *Tipo B* il fusto costituisce il 72% del totale, mentre nel *Tipo C* il 77%. Al contrario la biomassa dei rami grossi è pari al 17% nel *Tipo B* e all'11% nel *Tipo C*. Anche in questo caso è lecito ritenere che le differenze nei livelli di competizione, conseguenza delle iniziali modalità di impianto e dell'assenza di un organico trattamento nelle fasi successive, abbiano condizionato l'occupazione dello spazio da parte del popolamento, con un conseguente diverso sviluppo delle chiome.

Tutto ciò spiega gli esiti dei test statistici sui modelli di previsione del volume e della biomassa. Test che hanno messo in luce effetti significativi della struttura del popolamento sui modelli di previsione, sia a una che a due entrate. Nel caso dei modelli a una entrata gli effetti sono tali da suggerire sempre l'utilizzo di modelli di previsione specifici per cia-

scun tipo strutturale. Nel caso dei modelli a due entrate l'inserimento dell'altezza come variabile indipendente mitiga gli effetti della struttura: per la stima della biomassa legnosa e totale è infatti statisticamente accettabile l'utilizzo di un'unica relazione allometrica, ovviamente tenendo distinte le equazioni ipsometriche per ciascun tipo strutturale.

Inevitabilmente quanto sopra riportato ha condizionato anche il BEF, che peraltro, nel caso di Castelfusano, mostra valori in linea con quelli riportati per il genere *Pinus* in diversi paesi europei (Löwe et al. 2000). Le differenze osservate tra i due tipi strutturali vanno a sostegno e integrazione di quanto emerso in studi recenti, che hanno evidenziato differenze nei valori di BEF non solo a livello di specie ma anche di età del popolamento (Lehtonen et al. 2004, Hajny 2003) e, quindi, di caratteristiche strutturali.

Nel complesso i modelli di previsione del volume e della biomassa e i valori di BEF proposti rappresentano, oltre che strumenti di interesse tecnico-applicativo e una valida base per le ricerche attualmente in corso nella pineta di Castelfusano, un contributo utile a colmare l'attuale vuoto di conoscenze sul pino domestico e su formazioni di notevole valenza come le pinete litoranee. Ben lungi da mettere in dubbio l'utilità di strumenti di stima validi su ampia scala e gli sforzi per arrivare ad una semplificazione dei modelli predittivi (Zianis & Mencuccini 2004, Somogyi et al. 2008), quanto emerso nel presente studio richiama la necessità di non sottovalutare gli effetti della struttura sullo sviluppo longitudinale e, quindi, sulle relazioni ipsodiametriche, sull'allocazione della biomassa nei vari compartimenti, sull'accuratezza dei modelli di previsione e sui valori di BEF, soprattutto laddove si miri a stime particolarmente accurate o distinte per i vari compartimenti. Le peculiarità del pino domestico, fanno sì che una superficiale analisi della struttura, più che per altre specie, possa indurre errori rilevanti sotto il profilo scientifico e assolutamente non trascurabili anche sotto il profilo tecnico.

Ringraziamenti

La ricerca è stata finanziata dal Comune di Roma, Dipartimento X Politiche Ambientali e Risorse Agricole nell'ambito della convenzione "Gestione delle pinete di pino domestico (*Pinus pinea* L.) della Riserva Naturale Statale di Castelfusano" e dal Mi.P.A.F. nell'ambito del progetto Ri.SELV.ITALIA - sottoprogetto 3.1 - Selvicoltura, funzionalità e difesa degli ecosistemi forestali - 3.1.1 Conservazione e miglioramento delle pinete litoranee.

Si ringrazia sentitamente il dott. Alessandro De Michelis, direttore della Tenuta Presidenziale di Castelporziano, per la disponibilità assicurata nel corso della ricerca.

Si ringrazia altresì il personale del CRA - Centro di Ricerca per la Selvicoltura che a vario titolo ha collaborato alla realizzazione della ricerca, con una menzione particolare per i collaboratori Umberto Cerofolini, Andrea Ciofini, Luigi Mencacci, e Maurizio Piovisi.

Particolarmente sentito è il ringraziamento che va al dott. Giovanni Tabacchi per i consigli, l'assistenza e l'aiuto per l'elaborazione delle relazioni allometriche e la metodologia ad esse correlata.

Bibliografia

- Amorini E, Cutini A, Gugliotta OI, Hajny MT, Manetti MC (2005). Evoluzione della componente arboreo-arbustiva in un'area percorsa da incendio nella pineta di Castel Fusano. Atti del V Congresso della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Grugliasco (TO) 27-29 September 2005, pp. 119-126.
- Amorini E, Cutini A, Manetti MC (2002). Indagini ecologico - strutturali e indicazioni per la gestione selvicolturale. In: "Il recupero ambientale della pineta di Castel Fusano" (Blasi C et al. eds). Comune di Roma e Riserva del Litorale Romano, Palombi editori, Roma, pp. 24-28.
- Amorini E, Cutini A, Manetti MC (2003). La pineta di Castel Fusano dopo l'incendio del 4 luglio 2000. Indagini ecologiche, strutturali e proposte di gestione selvicolturale. Atti del III congresso della Società Italiana di Selvicoltura ed Ecologia Forestale, Viterbo (VT) 15-18 October 2001, pp. 119-126.
- Anfodillo T, Pilli R, Carrer M, Cararo V, Rossi S (2006). Stima della biomassa forestale: le nuove potenzialità delle relazioni allometriche. In: "Stima del carbonio in foresta: metodologie ed aspetti normativi" (Pilli R, Anfodillo T, Dalla Valle E eds.) Pubblicazione del Corso di Cultura in Ecologia, Atti del 42° corso, Università degli Studi di Padova, pp. 11-22.
- Brown S (2002). Measuring carbon in forests: current status and future challenger. *Environmental Pollution* 116: 363-372.
- Brown S, Schroeder P, Kern JS (1999). Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management* 123: 81-90.
- Cabanettes A, Rapp M (1981). Biomasse, minéralomasse et productivité d'un écosystème à Pins pignon *Pinus pinea* L. du littoral méditerranéen. IV Production. *Acta Oecologica/Oecologia Plantarum* 2 (16), 4: 381-394.
- Ciancio O, Cutini A, Mercurio R, Veracini A. (1986). Sulla struttura della pineta di pino domestico di Alberese. An-

- nali Istituto Sperimentale per la Selvicoltura Arezzo XVII: 169-236.
- Ciccarese L, Pettenella D (2002). Il Protocollo di Kyoto dopo Marrakesh. *Sherwood* 108: 5-9.
- CIPE (2002). Revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni dei gas serra (Legge 120/2002). Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica, Deliberazione n. 123 del 19 dicembre 2002.
- Cunia T (1973). Dummy variables and some of their uses in regression analysis. In: "Proceedings of the IUFRO Meeting Subject Group S4.02", Nancy (France) June 1973, vol. 1.
- Cunia T (1987). Use of dummy variables techniques in the estimation of biomass regressions. In: "Proceedings of the Workshop on the tree biomass regression functions and their contribution to the error of forest inventory estimates", NE-GTR-117, Northeastern Forest Exp. Station, Broomall, Pennsylvania, USA.
- Cutini A, Amorini E, Manetti MC (2002). Sul ruolo della gestione e del trattamento selvicolturale nella vicenda della Pineta di Castel Fusano. *Monti e Boschi* 3/4: 4-9.
- Dixon RK, Brown S, Houghton RA, Solomon AM, Trexler MC, Wisniewski J (1994). Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science* 263: 185-190.
- Dupouey JL, Pignard G, Badeau V, Thimonier A, Dhote JF, Nepveu G, Berges L, Augusto L, Belkacem S, Nys C (1999). Stocks et flux de carbone dans les forêts françaises. *C.R. Acad. Agric. Fr.* 85: 293-310.
- Fang JY, Wang ZM (2001). Forest biomass estimation at regional and global levels, with special reference to China forest biomass. *Ecological Research* 16: 587-592.
- Gracia C, Sabatè S (2002). Report of COST E21 Expert meeting on biomass expansion factors (BEF).
- Gracia C, Sabatè S, Vayreda J (2002). Aboveground biomass expansion factors and biomass equations of forests in Catalonia. Presentation at the COST E21 Meeting, Besalu (Spain) July 2002.
- Hajny M (2003). Analisi della biomassa forestale e del contenuto di carbonio nelle principali specie forestali europee. Tesi di dottorato di ricerca in ecologia forestale, Università della Tuscia, Viterbo, Italy.
- Johnson WC, Sharpe DM (1983). The ratio of total to merchantable forest biomass and its application to the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research* 13: 372-383.
- Ketterings QM, Coe R, Van Noordwijk M, Ambagaù Y, Palm CA (2001). Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *Forest Ecology and Management* 146 (1-3): 199-209.
- Lehtonen A, Mäkipää R, Heikkinen J, Sievänen R, Liski J (2004). Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management* 188: 211-224.
- Löwe H, Seufert G, Raes F (2000). Comparison of methods used within member states for estimating CO₂ emissions and sinks. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 4 (4): 315-319.
- Oliver CD, Larson BC (1996). *Forest stand dynamics* (updated edn). Wiley, New York, USA, pp. 520.
- Rapp M (1984). Répartition et flux de matière organique dans un écosystème à *Pinus pinea* L. *Annals of Forest Sciences* 41 (3): 253-272.
- Schroeder P, Brown S, Mo J, Birdsey R, Cieszewski C (1997). Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science* 43 (3): 424-434.
- Somogyi Z, Teobaldelli M, Federici S, Matteucci G, Pagliari V, Grassi G, Seufert G (2008). Allometric biomass and carbon factors database. *iForest* 1: 107-113.
- Sottovia L, Tabacchi G (1996). Tavole per la determinazione diretta della massa legnosa in piedi dei boschi cedui del Trentino. Comunicazione di Ricerca dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura 96/1: 5-30.
- Zianis D, Mencuccini M (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187 (2-3): 311-332.
- Zianis D, Muukkonen P, Mäkipää R, Mencuccini M (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica Monographs* 4, pp. 63.