

Modelli di previsione delle masse legnose e delle biomasse per i cedui di cerro della Toscana centro-meridionale*

Emilio Amorini⁽¹⁾, Piergiorgio Brandini⁽²⁾, Gianfranco Fabbio^{** (1)}, Giovanni Tabacchi⁽²⁾

Accettato il 19 Giugno 1999

Riassunto - Le formazioni pure ed a prevalenza di cerro sono la tipologia forestale più diffusa in Toscana. I cedui rappresentano l'84% della copertura in un'ampia serie di ambienti della zona retrostante la costa tirrenica, attraverso l'area collinare interna fino ai rilievi appenninici. La rilevanza delle superfici occupate e le trasformazioni dendro-strutturali in atto per la progressiva sospensione delle utilizzazioni dagli anni '50 e '60, suggerirono l'installazione di una serie di protocolli sperimentali su aree permanenti nella Toscana centro-meridionale, fino dall'inizio degli anni '70. I numerosi campioni di alberi modello raccolti nel periodo, consentono oggi di produrre una serie di modelli estimatori delle masse legnose e delle diverse componenti la biomassa arborea epigea. Le stime proposte riguardano: (a) il volume del fusto svettato; (b) il peso fresco della massa utilizzata come legna (a+rami grossi); (c) il peso secco della massa legnosa epigea (b+rami sottili); (d) il peso fresco e secco della biomassa epigea totale (c+massa fogliare). Questi modelli trovano applicazioni diverse dalle stime direttamente collegate alla gestione del bosco, alla previsione della capacità di stoccaggio della componente arborea dell'ecosistema.

Parole chiave: *cerro, ceduo, modelli di previsione, volume, biomassa.*

Abstract - Volume and biomass prediction models for Turkey oak coppice stands in Central and Southern Tuscany. Turkey oak forests are the most diffuse forest type in Tuscany (240.000 ha); coppice is the most representative management system (84%). Its cover ranges from the Tyrrhenian border, throughout the inner hilly area up to the Apennine mountain range. The wide cover concerned and the dendrometrical changes occurring in stand structure because of harvesting suspension between '50 and '60, suggested the establishment of a series of exp-trials based on permanent plots in Central and Southern Tuscany, since the early '70. The large number of sample trees collected in the meanwhile, allow now the implementation of a series of predictive models of standing wooden mass and of the components of aboveground tree biomass. The proposed estimates concern: (a) the stemwood volume; (b) the fresh weight of wooden mass harvested as fuelwood (a+thick branches); (c) the dry weight of aboveground wooden biomass (b+thin branches); (d) the fresh and dry weight of total aboveground biomass (c+foliage mass). They can find application in the ordinary forest management as well as in the assessment of stocking capacity in the tree component of the ecosystem.

Key words: *Turkey oak, coppice forests, prediction models, stem volume, tree biomass.*

F.D.C. 222: 524: 537: 176.1 Quercus cerris: (450.52)

Secondo il recente inventario forestale della Toscana (Autori vari 1999), le formazioni di cerro (*Quercus cerris* L.) occupano oltre 240.000 ettari di superficie, dei quali ben 172.688 classificati come boschi densi secondo la definizione inventariale adottata. Tali formazioni, alle quali il cerro partecipa in purezza o come specie principale, risultano così fra le più estese nel territorio toscano.

Il cerro è specie essenzialmente produttiva e la forma di governo largamente più diffusa è quella del ceduo (144.944 ha); le fustaie occupano 16.480 ha, mentre soltanto 11.184 ha sono classificati boschi di protezione e governati sia a ceduo che a fustaia.

La presenza sul territorio regionale è concentrata nelle aree collinari e montane e particolarmente elevata nelle province di Siena, Grosseto, Arezzo, Pisa e

Firenze. Se i dati inventariali certificano la rilevanza della specie in termini di superficie, gli ambienti di diffusione - dalla zona collinare retrostante la costa tirrenica, attraverso la Toscana centrale fino ai rilievi preappenninici ed a caratterizzare la fascia medio montana nell'Appennino - ne confermano la plasticità ecologica.

Il cerro trova infatti condizioni idonee di vegetazione in un ampio gradiente di quota e di regimi termo-pluviometrici, anche per la capacità di utilizzare i microclimi formati dalla combinazione favorevole di orografia ed esposizioni fresche. Il carattere ubiquitario nei confronti del suolo, la tolleranza dei terreni argillosi diffusi in Toscana, l'apparato radicale precocemente sviluppato e fittonante, contribuiscono a rendere competitivo il cerro nei confronti delle altre lati-

* Il lavoro è stato svolto dagli autori in parti uguali.

** Autore corrispondente

⁽¹⁾ Istituto Sperimentale per la Selvicoltura. Viale S.Margherita, 80 - 52100 Arezzo (Italy). T. +39 0575 353021, Fax +39 0575 353490, E-mail: issar@ats.it

⁽²⁾ Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura. Piazza Niccolini, 6 - 38050 Villazzano - Trento (Italy). T. +39 0461 381111, Fax +39 0461 381131, E-mail isafa@tqs.it

foglie del medesimo piano di vegetazione e ad ampliare le digressioni nei piani superiore ed inferiore.

La predominanza del governo a ceduo su quello a fustaia è il probabile determinante della netta prevalenza del cerro nella composizione dei boschi formati, per la resistenza alla ceduzione ripetuta espressa dall'elevata capacità di ricaccio e dalla rapidità di accrescimento già nella fase giovanile, che incrementano le possibilità di colonizzazione e di esclusione delle altre specie arboree.

L'interesse per i soprassuoli di cerro nasce non soltanto dall'entità delle superfici occupate, ma anche dalle vicende colturali che negli ultimi decenni hanno progressivamente coinvolto, a partire dalla fascia superiore del faggio, l'ampia area dei cedui di quercia, soprattutto nel Demanio pubblico. Questi i motivi per cui, fino dall'inizio degli anni Settanta, furono realizzati in Toscana protocolli di ricerca artico-

lati su aree permanenti in boschi cedui a prevalenza di cerro e faggio: GUIDI (1975), AMORINI e GAMBÌ (1977), AMORINI (1992), AMORINI e FABBIO (1983, 1986, 1987), AMORINI *et al.* (1979, 1996), CUTINI (1992, 1997), FABBIO (1992).

Il problema più immediato in tale periodo era quello della gestione culturale dei soprassuoli che, sospesa l'utilizzazione tradizionale, venivano a trovarsi nella inedita fase di "invecchiamento". Sulle aree permanenti, realizzate in diversi ambienti dell'areale regionale - dalla zona retrostante la costa alla serie collinare fino alla fascia appenninica - sono stati impostati una serie di studi mirati a determinare la dinamica strutturale ed auxonomica del bosco nel periodo successivo alla normale rotazione ed il ruolo svolto dal trattamento, attraverso il confronto tra varie tesi di diradamento del ceduo e la sua evoluzione naturale. I protocolli più recenti hanno preso in considerazione

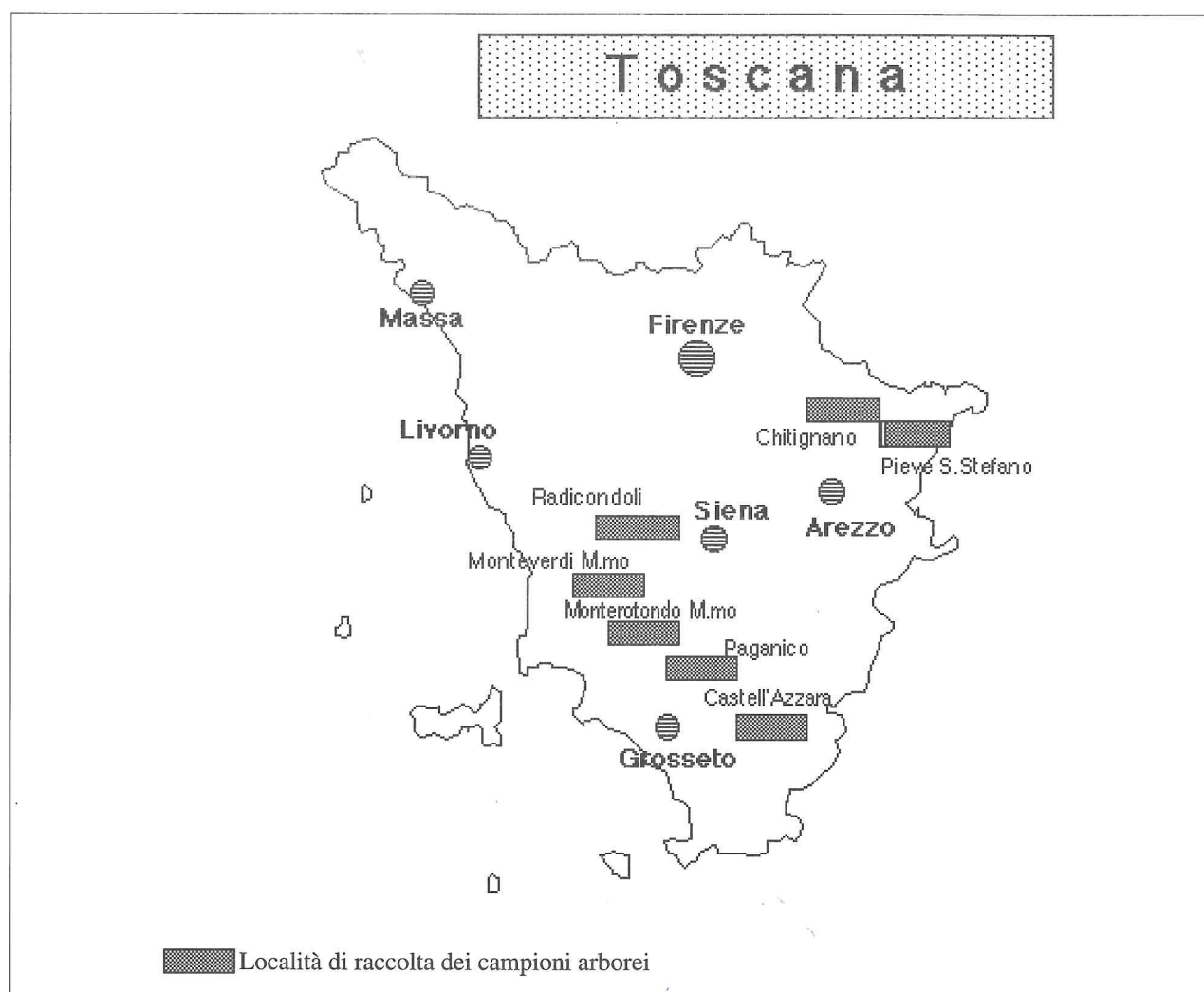


Figura 1 - Distribuzione spaziale dei siti di raccolta dei campioni di alberi in Toscana.
Location of sampling sites in Tuscany.

anche la gestione tradizionale del ceduo, con particolare attenzione ai criteri di rilascio, intensità e forma della matricinatura.

La necessità di addivenire a stime sufficientemente precise ed accurate delle masse presenti ai periodici rilievi condotti nelle aree sperimentali, impose la raccolta di numerosi insiemi di alberi modello per approntare equazioni di previsione del volume e della biomassa arborea a valenza locale. Ulteriori campioni furono raccolti dalla società DREAM Italia, nell'ambito dei lavori di pianificazione forestale condotti nel territorio regionale.

Data la consistenza delle informazioni disponibili e la loro distribuzione spaziale (Figura 1), si è ritenuto di riunire tutto il materiale raccolto e di sviluppare un'analisi complessiva delle relazioni tra la biomassa arborea e le dimensioni dei polloni di cerro, con l'intento di approntare strumenti estimativi, a diversa valenza territoriale, impiegabili per la determinazione delle masse legnose e non legnose sia ai fini inventariali che per valutazioni quantitative di carattere biologico e funzionale.

Materiali e metodi

I soprassuoli di provenienza dei campioni

Rimandando alla bibliografia citata in premessa l'illustrazione dei caratteri stazionali e dei cedui originari in termini di composizione specifica, struttura e parametri descrittivi dei soprassuoli, si riassumono in

Tabella 1, per tutte le località dove esistono aree permanenti, i valori dendrometrici alle età di estrazione dei campioni di alberi (periodo 1979-94).

Le osservazioni disponibili all'ISS sono state integrate con quelle provenienti dalla Società DREAM Italia per le località di Radicondoli (Siena) - 186 osservazioni - e Castell'Azzara (Grosseto) - 286 osservazioni -. Il numero di osservazioni per campione varia da un minimo di 101 alberi (*sito 3*) ad un massimo di 358 (*sito 1*); il campo di età è compreso tra 16 e 40 anni e copre quindi un periodo di evoluzione strutturale del bosco che va dalla prima fase di invecchiamento del ceduo, tradizionalmente utilizzato con turni di 12-16 anni, fino ad una età circa tripla della rotazione minima. Nei tipi presi in esame, il numero elevato di ceppaie sull'unità di superficie - riportato tra parentesi quando riferito al soprassuolo di origine della fustaia da polloni - indica copertura omogenea del suolo e ridotta densità di matricine. L'area basimetrica, funzione dell'età e della fertilità stazionale, che esprime valori consistenti nei cedui e nei cedui in invecchiamento e valori giudicati ottimali nelle fustaie da polloni, ha un incremento medio compreso tra 0,78 ed 1,00 m² ha⁻¹ anno⁻¹ e un campo di variazione relativamente piccolo.

Il ridotto gradiente di fertilità è confermato dall'andamento dei valori di altezza dominante in funzione dell'età (Figura 2). Nella figura sono riportati anche i valori rilevati sulle aree permanenti in occasione di inventari precedenti e successivi agli anni di prelievo dei campioni. Questi ultimi mostrano, al di là delle differenze relative, un trend auxonomico comune fino

Tabella 1 - Numerosità campionarie e parametri dendrometrici dei popolamenti di provenienza alle età di prelievo dei campioni (dati riferiti ad ettaro).
Sample sizes and dendrometrical parameters of the stands at the ages of samples extraction. (Data per hectare).

	n° oss.ni	tipologia	età	n° ceppaie	n° polloni	G m ²	ImG m ² anno ⁻¹	d medio cm	h media m	h dom. m
1- Paganico (Grosseto) 42°38'N11°41'E	358	ceduo	16 23	2569	4759 4225	14,03 22,89	0,88 1,00	6,1 8,2	8,3 11,1	12,1 13,2
2- Pieve S. Stefano (Arezzo) 43°30'N12°03'E	108	fust. poll.	32	(2554)	2097	25,48	0,80	12,5	15,6	19,6
3- Monterotondo M.mo (Grosseto) 43°11'N10°51'E	101	ceduo	35	2680	4069	30,87	0,88	9,9	11,5	17,4
4- Monte Verdi M.mo (Pisa) 43°12'N10°50'E	213	fust. poll.	40	(2339)	1164	31,30	0,78	18,5	19,3	21,8
5- Chitignano (Arezzo) 43°38'N11°56'E	153	fust. poll.	40	n.d.	1202	37,77	0,94	n.d.	n.d.	23,4

n.d. = dato non disponibile

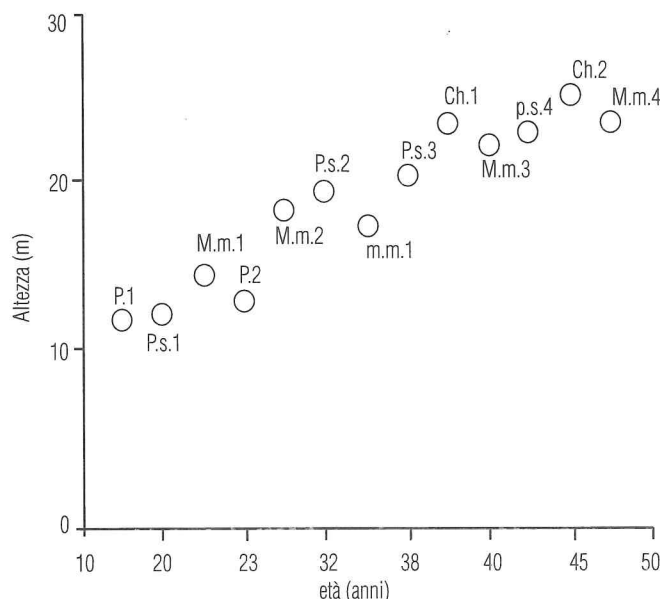


Figura 2 - Valori di altezza dominante in funzione dell'età nei siti di prelievo dei campioni. Ch.=Chitignano; p.s.=Pieve S. Stefano; M.m.=Monteverdi M.mo; m.m.=Monterotondo M.mo; P.=Paganico. I numeri indicano i successivi inventari.
Top height values at the ages of samples extraction in the sites tested. Numbers mark the subsequent inventories.

alle età massime osservate.

Il metodo di raccolta degli alberi modello e l'organizzazione dei campioni

Gli alberi, rappresentativi delle diverse classi sociali presenti, sono stati individuati sia all'interno delle aree permanenti nell'occasione di diradamenti di tipo misto (alberi da subdominanti a dominati) che sulle superfici circostanti le parcelle (alberi dominanti), o prelevati al momento di tagli di utilizzazione del ceduo.

Di ogni albero selezionato sono stati misurati: il diametro a 1,3 m, l'altezza totale e quella di inserzione della chioma, la circonferenza del fusto ad intervalli di un metro, a partire da 0,5 m dal suolo e fino ad un diametro di svettamento pari a 3-4 cm. Per le osservazioni relative alle componenti della biomassa arborea, le diverse frazioni (fusto svettato, rami grossi, rami sottili con e senza foglie + cimale) sono state separate e pesate in bosco. Sono stati poi determinati in laboratorio: volume, peso fresco e secco di campioni del fusto (terzo inferiore, medio e superiore), peso fresco e secco dei rami grossi e dei rami sottili senza foglie, peso fresco dei rami con foglie, peso fresco e secco della massa fogliare. Questo ha consentito il calcolo della massa volumica (peso/volume), della densità

basale (peso secco/volume), del rapporto ponderale (peso secco/peso fresco) e dell'indice fogliare specifico (SLA) per ciascun insieme di alberi modello.

Le informazioni disponibili, in parte riassunte nella Tabella 2, hanno consentito di utilizzare 1405 osservazioni per la stima del volume del fusto svettato (v_{3-4}), distribuite sui campioni provenienti da tutti i soprassuoli presi in esame. Con le 101 osservazioni relative alla località di Monterotondo M.mo è stato costituito il campione per la stima del peso fresco del fusto svettato (w_{fr}), comprensivo di rami fino a 3-4 cm di diametro, e del peso secco della massa legnosa epigea (foglie escluse) (w_{sl}). Le 431 osservazioni provenienti da Paganico hanno formato il campione per la previsione del peso fresco della biomassa epigea totale (compresa la massa fogliare) (w_{ft}).

Le Tabelle 3, 4 e 5 illustrano la ripartizione degli alberi modello per classi dimensionali. Nelle Figure 3, 4 e 5 sono rappresentate le distribuzioni delle osservazioni del volume in funzione del diametro, dell'altezza, e la dispersione dei valori di altezza secondo la variazione di diametro. Le Figure 6, 7 e 8 riportano infine l'andamento dei pesi in funzione del diametro per i campioni di Monterotondo M.mo e Paganico.

Le variabili dipendenti

Le stime proposte riguardano espressioni diverse della massa arborea che definiscono:

- a) il volume del fusto svettato al diametro tradi-

Tabella 2 - Statistiche descrittive per alcune grandezze relative agli alberi campione.

Descriptive statistics of the growth variables in the different sample sets.

Toscana			
	min	medio	max
d (cm)	3,2	12,5	37,6
h (m)	4,6	13,8	24,9
v_{3-4} (dm ³)	0,6	115,8	914,5
Monterotondo M.mo			
	min	medio	max
d (cm)	3,8	10,1	18,5
h (m)	5,0	11,2	17,5
w_{fr} (kg)	3,9	57,9	209,1
w_{sl} (kg)	3,7	44,1	152,4
Paganico			
	min	medio	max
d (cm)	3,2	9,0	21,2
h (m)	4,6	10,0	18,5
w_{ft} (kg)	2,8	58,6	308,8

d = diametro del fusto a 1,3 m dal suolo
h = altezza totale
 v_{3-4} = volume del fusto svettato a 3-4 cm
 w_{fr} = peso fresco del fusto svettato e dei rami grossi (fino a 3-4 cm)
 w_{sl} = peso secco della massa legnosa epigea
 w_{ft} = peso fresco della massa epigea totale

Tabella 3 - Ripartizione degli alberi modello del volume per classi dimensionali (Toscana).
Distribution of volume sample trees per size classes (Tuscany).

d(cm)/h(m)	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	20,5	22,5	24,5	totale
3,5	16	34	2									52
5,5		53	84	12	3							152
7,5		4	68	74	15	2						163
9,5			9	79	70	24						182
11,5			1	24	75	69	18	3				190
13,5				8	36	60	59	19	3			185
15,5				2	20	39	42	46	18			167
17,5					1	18	22	21	36	7		105
19,5					3	6	16	22	24	15	1	87
21,5						3	3	9	21	15	4	55
23,5						-	4	3	12	9	-	28
25,5						1	3	4	4	3	1	16
27,5							1	1	4	3	-	9
29,5							1	-	1	4	1	7
31,5									3	1	-	4
33,5										-	2	2
35,5										-	-	0
37,5										1	-	1
totale	16	91	164	199	223	222	169	128	126	58	9	1405

Tabella 4 - Ripartizione degli alberi modello del peso fresco e del peso secco per classi dimensionali (Monterotondo M.mo).
Distribution of fresh and dry weight sample trees per size classes (Monterotondo M.mo).

d(cm)/h(m)	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	totale
3,5	1							1
5,5		9	6	1				16
7,5			12	6	5			23
9,5			1	12	8			21
11,5				1	8	4		13
13,5				1	5	4	1	11
15,5					3	5	4	12
17,5					1	-	3	4
totale	1	9	19	21	30	13	8	101

Tabella 5 - Ripartizione degli alberi modello del peso fresco per classi dimensionali (Paganico).
Distribution of fresh weight sample trees per size classes (Paganico).

d(cm)/h(m)	4,5	6,5	8,5	10,5	12,5	14,5	16,5	18,5	totale
3,5	20	29	2						51
5,5	3	34	50	5					92
7,5		3	44	34	3				84
9,5		1	10	38	14				63
11,5			1	11	31	5			48
13,5				5	21	10	1		37
15,5					12	17	2	1	32
17,5					-	10	2	-	12
19,5					2	1	7	1	11
21,5								1	1
totale	23	67	107	93	83	43	12	3	431

zionalmente utilizzato per distinguere legna e fascina (3-4 cm);

- b) il peso fresco del fusto e dei rami grossi che costituisce la frazione utilizzabile come massa legnosa;

- c) il peso secco della massa legnosa epigea;

- d) il peso fresco della biomassa epigea totale.

Tali espressioni hanno un uso diverso e complementare. Per il volume arboreo, facilmente trasformabile in peso (fresco e secco) attraverso il calcolo degli opportuni indici di conversione (massa volumica e densità basale), si dispone di un campione di osservazioni molto numeroso. La sua composizione con provenienze da tutti i siti, distribuiti su un'ampia superficie dell'areale regionale, attribuisce alla stima di questa grandezza il campo di applicazione più generale come strumento previsionale delle provvigioni e delle masse intercalari e finali. Le stime del peso fresco e secco di frazioni diverse dei componenti la biomassa arborea, prodotte su campioni con numerosità inferiori per gli elevati costi di determinazione in bosco e in laboratorio, hanno applicazioni di maggiore dettaglio, che consentono comunque ancora valutazioni direttamente collegate alla gestione (es. peso fresco della massa legnosa corrispondente al prodotto legna), fino a previsioni della biomassa legnosa e totale epigea per stime della capacità di stoccaggio della sostanza organica nella componente arborea dell'ecosistema.

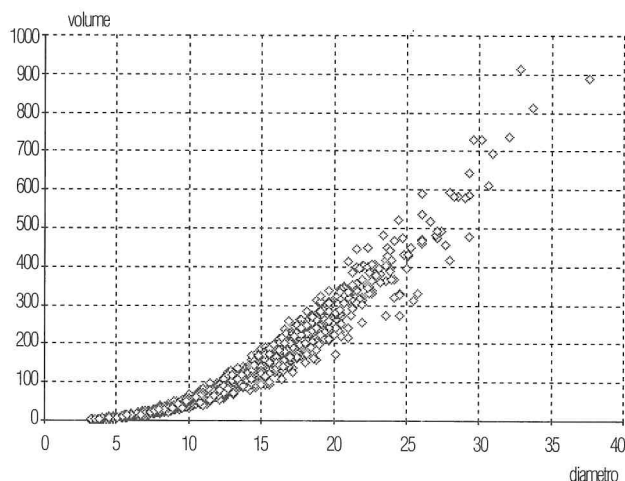


Figura 3 - Distribuzione delle osservazioni del volume del fusto (decimetri cubi) degli alberi, svettati a 3-4 cm, in funzione del diametro (centimetri) a 1,3 m (Toscana).
Stem volume treetop excepted (dm³) vs. dbh (cm): distribution of the observed values (Tuscany).

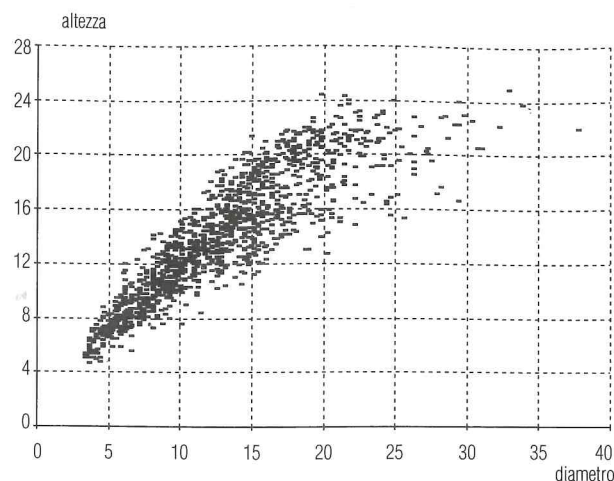


Figura 5 - Distribuzione delle osservazioni dell'altezza totale (metri) degli alberi modello in funzione del diametro (centimetri) a 1,3 m (Toscana).
Tree height (m) vs dbh (cm): distribution of the observed values (Tuscany).

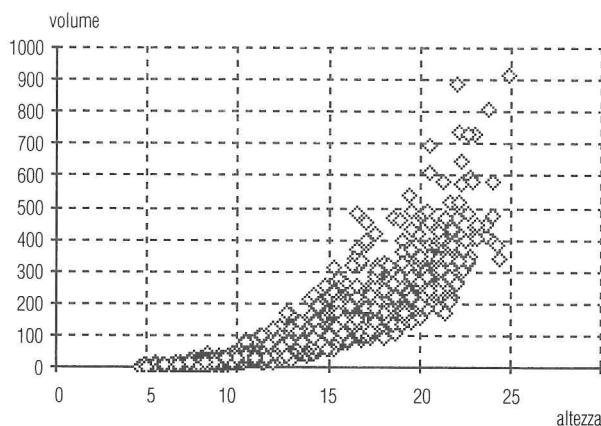


Figura 4 - Distribuzione delle osservazioni del volume del fusto (decimetri cubi) degli alberi, svettati a 3-4 cm, in funzione dell'altezza totale (metri) (Toscana).
Stem volume treetop excepted (dm³) vs. tree height (m): distribution of the observed values (Tuscany).

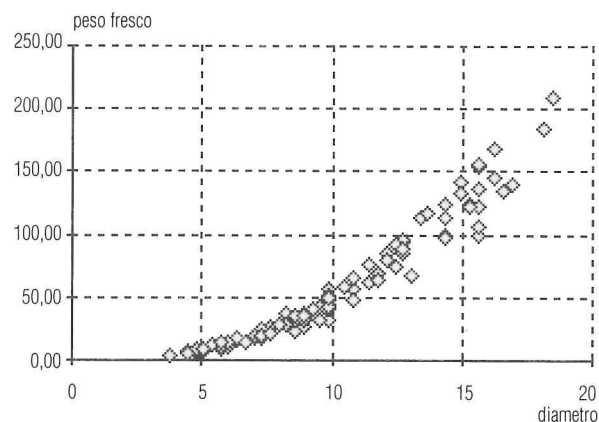


Figura 6 - Distribuzione delle osservazioni del peso fresco del fusto e dei rami grossi (Kilogrammi) degli alberi, in funzione del diametro (centimetri) a 1,3 m (Monterotondo M.mo).
Stem + thick branches fresh weight (Kg) vs. dbh (cm): distribution of the observed values (Monterotondo M.mo).

I modelli previsionali

Anche se formati con procedure di campionamento non completamente aderenti alle indicazioni metodologiche disponibili per questa fase piuttosto delicata della formulazione di modelli previsionali attendibili (CUNIA, 1965 e 1979a,b), i campioni di alberi raccolti nelle formazioni forestali descritte sono stati impiegati nell'analisi di regressione con i minimi quadrati ponderati condotta secondo l'ipotesi del campionamento casuale semplice (CROW e SCHLAEGEL 1988; CUNIA 1987; SNOWDON 1985).

I vari aspetti metodologici di tali procedure sono già stati esposti e discussi in lavori diversi (MENGUZZA-

TO e TABACCHI 1990; TABACCHI 1985 e 1989a,b; TABACCHI e TOSI 1993), in particolare per quanto attiene alla formulazione del modello matematico e alla stima delle varie statistiche connesse. Di seguito sono quindi illustrate solamente alcune caratteristiche specifiche dello studio ed i principali risultati ottenuti.

Risultati

Il modello di previsione del volume

L'analisi preliminare più importante che è necessario condurre in questi casi è certamente quella relativa al controllo della omogeneità della varianza

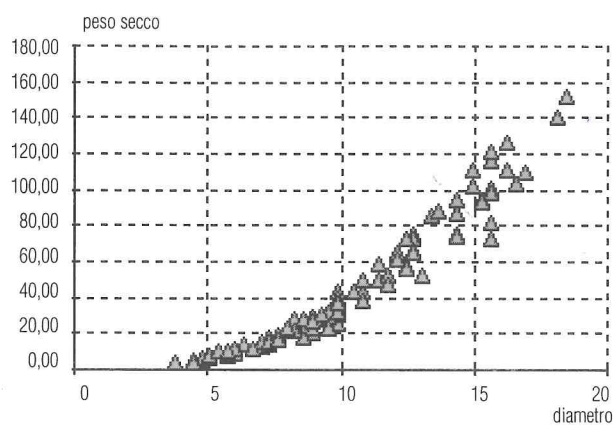


Figura 7 - Distribuzione delle osservazioni del peso secco del fusto e dei rami, sia grossi che sottili escluse le foglie (Kilogrammi) degli alberi, in funzione del diametro (centimetri) a 1,3 m (Monterotondo M.mo).
Stem + all branches (foliage excepted) dry weight (Kg) vs. dbh (cm): distribution of the observed values (Monterotondo M.mo).

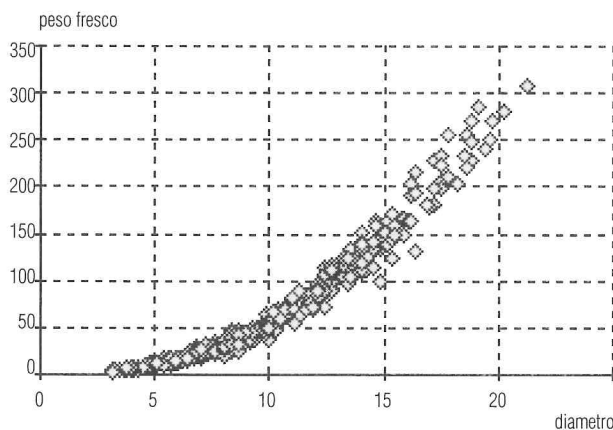


Figura 8 - Distribuzione delle osservazioni del peso fresco del fusto e di tutta la chioma, foglie comprese, (Kilogrammi) degli alberi, in funzione del diametro (centimetri) a 1,3 m (Paganico).
Aboveground tree biomass fresh weight (Kg) vs. dbh (cm): distribution of the observed values (Paganico).

della variabile dipendente e quindi alla eventuale necessità di correzione attraverso una procedura di ponderazione delle osservazioni.

Per quanto riguarda la prima variabile dipendente qui in esame, e cioè il volume del fusto sveltato a 3-4 cm, la distribuzione delle osservazioni in funzione delle dimensioni degli alberi è risultata di tipo eteroschedastico sulla base di tre test statistici appositamente condotti. Il primo test (di Goldfeld-Quandt) segna un valore della variabile aleatoria Q , distribuita come la variabile F di Fisher, pari a 91,99 a fronte di

un valore critico di 1,15 al livello probabilistico del 95 %; parimenti, il test di White esprime un valore della variabile aleatoria, distribuita come un χ^2 , pari a 410,73 contro un valore critico di 5,99. Il test di Szroeter, infine, fornisce un valore della variabile aleatoria, distribuita normalmente, pari a 86,61 contro un valore critico di 1,64, allo stesso livello probabilistico citato (PER-SICO e VINCI 1981; MARSHALL *et al.* 1995).

La funzione di ponderazione adottata, nella forma già ampiamente collaudata $S^2 = k (d^2 h)^l$, nel presente caso con i valori stimati $k = 2,2636 \times 10^{-3}$ e $l = 1,7327$, mette in relazione la varianza del volume con le dimensioni degli alberi e permette di assegnare agevolmente un peso alle osservazioni relative a ciascun albero; la ponderazione in parola rende omogenea la varianza della variabile dipendente e permette di condurre l'analisi di regressione con i minimi quadrati ordinari, ottenendo stime corrette ed efficienti dei coefficienti numerici del modello previsionale.

I risultati dell'analisi regressiva sono riportati in Tabella 6, con l'indicazione del modello risultante, della stima dei suoi coefficienti, dell'aliquota di devianza del volume legata alle variabili esplicative, della stima della varianza residua e della connessa matrice di varianza e covarianza dei coefficienti. Nella Tabella 7 sono invece riportati i valori medi attesi di volume per l'intero campo di escursione dimensionale, mentre in Tabella 8 sono riportati i valori attesi, medi e di singolo albero, per alcune classi dimensionali, corredati dei corrispondenti intervalli fiduciali calcolati per il livello di sicurezza statistica del 95 %. Infine nelle Figure 9 e 10 sono evidenziati gli andamenti del volume medio atteso al variare del diametro e dell'altezza.

La media degli scostamenti con segno tra valori attesi e valori osservati è risultata pari a $0,7 \text{ dm}^3$, la media quadratica dei valori senza segno degli stessi scostamenti è pari a $15,2 \text{ dm}^3$, mentre la media quadratica degli scostamenti percentuali senza segno è risultata essere uguale a 11,0. Alcuni test statistici condotti sui residui (test dei segni, test delle sequenze di segno uguale per dimensioni crescenti e test χ^2 di omogeneità dei segni per classi dimensionali) non hanno evidenziato particolari situazioni di scarso adattamento del modello perequativo alle osservazioni sperimentali; nella Figura 11 è riportata la distribuzione degli scostamenti tra valori attesi e osservati del volume del fusto in funzione dei corrispondenti valori attesi.

I modelli di previsione delle biomasse

Analogamente a quanto osservato per il volume, anche la massa arborea - espressa in termini di peso fresco o di peso secco - presenta la caratteristica

Tabella 6 - Risultati dell'analisi di regressione tra il volume e le dimensioni degli alberi (Toscana).

Estimates of regression coefficients, squared R, residual variance, var-cov. matrices and t values for the stem volume prediction model (Tuscany).

Numero di osservazioni = 1405												
modello previsionale	$v_{3-4} = b_1 + b_2 d^2 h + b_3 d$	con	$b_1 = -3,86197$ $b_2 = 3,35918 \times 10^{-2}$ $b_3 = 1,08449$									
devianza regressione su devianza totale = 0,991												
varianza residua = $4,67559 \times 10^{-2}$												
matrice di varianza-covarianza dei coefficienti	<table><tr><td>0,04597</td><td>$3,66969 \times 10^{-5}$</td><td>$-1,09094 \times 10^{-2}$</td></tr><tr><td></td><td>$4,85614 \times 10^{-8}$</td><td>$1,00139 \times 10^{-5}$</td></tr><tr><td></td><td></td><td>$2,76945 \times 10^{-3}$</td></tr></table>			0,04597	$3,66969 \times 10^{-5}$	$-1,09094 \times 10^{-2}$		$4,85614 \times 10^{-8}$	$1,00139 \times 10^{-5}$			$2,76945 \times 10^{-3}$
0,04597	$3,66969 \times 10^{-5}$	$-1,09094 \times 10^{-2}$										
	$4,85614 \times 10^{-8}$	$1,00139 \times 10^{-5}$										
		$2,76945 \times 10^{-3}$										
valori del t di Student per i coefficienti per $\alpha = 0,05$ e 1402 gradi di libertà												
$t_1 = -18,01$	$t_2 = 152,44$	$t_3 = 20,61$										
$(v_{3-4} \text{ [dm}^3\text{]}, d \text{ [cm]}, h \text{ [m]}, S^2_{res} \text{ [dm}^6\text{]})$												

di una diversa varianza in funzione delle dimensioni degli alberi.

Per l'insieme di alberi misurati nella stazione di Monterotondo M.mo, tutti i test di controllo dell'omoschedasticità hanno permesso di rifiutare l'ipotesi nulla di varianza omogenea, sia quando la variabile dipen-

dente era pari alla somma del peso fresco del fusto e dei rami grossi, sia quando è stato osservato il peso secco totale del fusto e della chioma in assenza di foglie. Nel caso del peso fresco, la funzione di ponderazione è risultata essere $S^2 = 2,0228 \times 10^{-3}(d^2h)^{1,6698}$, mentre per il peso secco arboreo - al netto delle foglie - tale equazione diventa $S^2 = 9,7451 \times 10^{-4}(d^2h)^{1,6966}$.

Dopo aver eseguito la ponderazione delle osservazioni con queste equazioni, è stata condotta l'analisi di regressione i cui risultati sono esposti in Tabella 9, sia per il modello previsionale del peso fresco (del fusto e dei rami grossi) che per quello relativo al peso secco (del fusto e di tutti i rami al netto delle foglie). Nella Tabella 10 sono elencati i valori medi attesi di tali variabili dipendenti per alcune classi dimensionali; infine in Tabella 11 sono riportati i valori attesi, medi e di singolo albero, del peso fresco e secco per alcune classi dimensionali, corredati dei corrispondenti intervalli fiduciari calcolati per il livello di sicurezza statistica del 95 %.

La media degli scostamenti con segno tra valori attesi e valori osservati è risultata pari a 0,7 kg nel caso del peso fresco e pari a 0,1 kg in quello del peso secco; la media quadratica dei valori senza segno degli stessi scostamenti è, nei due casi, pari a 8,4 e 5,9. Infine la media quadratica degli scostamenti percen-

Tabella 7 - Valori medi attesi del volume del fusto sveltato (in decimetri cubi) per classi di diametro e di altezza (Toscana).
Estimated mean values of stem volume treetop excepted (dm³) per dbh and height classes (Tuscany).

d (cm)/h (m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
4	3,2	3,7	4,2	4,8	5,3																
5	5,8	6,6	7,4	8,3	9,1	10,0	10,8														
6	8,7	9,9	11,1	12,3	13,5	14,7	15,9	17,2	18,4												
7		13,6	15,3	16,9	18,5	20,2	21,8	23,5	25,1												
8		17,7	19,9	22,0	24,2	26,3	28,5	30,6	32,8	34,9	37,1										
9		22,2	24,9	27,7	30,4	33,1	35,8	38,5	41,3	44,0	46,7										
10			30,5	33,9	37,2	40,6	43,9	47,3	50,7	54,0	57,4	60,7	64,1								
11			36,5	40,6	44,6	48,7	52,8	56,8	60,9	65,0	69,0	73,1	77,2								
12				47,8	52,7	57,5	62,4	67,2	72,0	76,9	81,7	86,5	91,4	96,2	101,1						
13				55,7	61,3	67,0	72,7	78,4	84,0	89,7	95,4	101,1	106,7	112,4	118,1						
14				70,6	77,2	83,7	90,3	96,9	103,5	110,1	116,7	123,2	129,8	136,4	143,0	149,6					
15				80,4	88,0	95,5	103,1	110,7	118,2	125,8	133,3	140,9	148,5	156,0	163,6	171,1					
16					99,5	108,1	116,7	125,3	133,9	142,5	151,1	159,7	168,3	176,9	185,5	194,1	202,7	211,3			
17					111,7	121,4	131,1	140,8	150,5	160,2	169,9	179,6	189,3	199,0	208,7	218,4	228,2	237,9			
18						135,4	146,3	157,1	168,0	178,9	189,8	200,7	211,6	222,4	233,3	244,2	255,1	266,0	276,9	287,8	
19						150,1	162,3	174,4	186,5	198,6	210,8	222,9	235,0	247,1	259,3	271,4	283,5	295,7	307,8	319,9	
20							179,1	192,5	205,9	219,4	232,8	246,3	259,7	273,1	286,6	300,0	313,4	326,9	340,3	353,7	
21							196,7	211,5	226,3	241,1	255,9	270,7	285,6	300,4	315,2	330,0	344,8	359,6	374,4	389,3	
22								231,4	247,6	263,9	280,1	296,4	312,6	328,9	345,2	361,4	377,7	393,9	410,2	426,5	
23								269,9	287,6	305,4	323,2	340,9	358,7	376,5	394,3	412,0	429,8	447,6	465,3		
24								293,0	312,4	331,7	351,1	370,4	389,8	409,1	428,5	447,8	467,2	486,5	505,9		
25								317,2	338,2	359,2	380,2	401,2	422,2	443,1	464,1	485,1	506,1	527,1	548,1		
26								342,2	365,0	387,7	410,4	433,1	455,8	478,5	501,2	523,9	546,6	569,3	592,0		
27								368,3	392,7	417,2	441,7	466,2	490,7	515,2	539,7	564,2	588,7	613,1	637,6		
28									421,5	447,9	474,2	500,6	526,9	553,2	579,6	605,9	632,2	658,6	684,9		
29									451,3	479,6	507,8	536,1	564,4	592,6	620,9	649,1	677,4	705,6	733,9		
30										512,4	542,6	572,9	603,1	633,3	663,6	693,8	724,0	754,3	784,5		
31										546,3	578,5	610,8	643,1	675,4	707,7	740,0	772,2	804,5	836,8		
32											718,8	753,2	787,6	822,0	856,4	890,8					
33												763,6	800,1	836,7	873,3	909,9	946,5				
34														887,3	926,1	965,0	1.003,8				
35															939,4	980,5	1.021,7	1.062,8			

Tabella 8 - Valori medi attesi e singoli valori attesi di volume del fusto svettato, con indicazione dei corrispondenti intervalli fiduciari, per alcune classi di diametro e di altezza (Toscana).

Estimated mean and individual values and confidence limits of stem volume treetop excepted per dbh and height classes (Tuscany).

d	h	$\hat{V}$	int.fid. ($\hat{V}$) per $\alpha=0,05$		int.fid. ($\hat{V}$) per $\alpha=0,05$	
(cm)	(m)	(dm ³)	(dm ³)	(%)	(dm ³)	(%)
4	5	3,2	0,1	3,3	0,9	28,6
5	6	6,6	0,1	1,7	1,6	23,5
6	7	11,1	0,2	1,4	2,4	21,9
7	8	16,9	0,2	1,2	3,6	21,1
8	8	22,0	0,3	1,2	4,5	20,4
9	9	30,4	0,3	1,0	6,1	20,1
10	10	40,6	0,3	0,8	8,0	19,8
11	10	48,7	0,4	0,8	9,5	19,4
12	11	62,4	0,4	0,6	11,9	19,1
13	12	78,4	0,4	0,6	14,8	18,9
14	12	90,3	0,5	0,6	16,8	18,6
15	13	110,7	0,6	0,5	20,3	18,4
16	14	133,9	0,7	0,6	24,2	18,1
17	14	150,5	0,9	0,6	26,9	17,9
18	15	178,9	1,1	0,6	31,5	17,6
19	15	198,6	1,2	0,6	34,6	17,4
20	16	232,8	1,5	0,7	40,0	17,2
21	17	270,7	1,9	0,7	45,9	17,0
22	18	312,6	2,3	0,7	52,3	16,7
23	18	340,9	2,6	0,8	56,5	16,6
24	19	389,8	3,1	0,8	63,7	16,4
25	19	422,2	3,4	0,8	68,4	16,2
26	20	478,5	4,0	0,8	76,6	16,0
27	20	515,2	4,4	0,9	81,7	15,9
28	21	579,6	5,1	0,9	90,8	15,7
29	22	649,1	5,9	0,9	100,5	15,5
30	22	693,8	6,3	0,9	106,6	15,4
31	23	772,2	7,2	0,9	117,3	15,2
32	24	856,4	8,2	1,0	128,6	15,0
33	24	909,9	8,8	1,0	135,6	14,9
34	25	1003,8	9,9	1,0	148,0	14,7
35	25	1062,8	10,6	1,0	155,6	14,6

tuali senza segno è risultata essere, sempre nei due casi, uguale a 10,2 e 9,9. Anche per questi modelli previsionali i test statistici condotti sui residui non hanno evidenziato situazioni di scarso adattamento del modello perequativo alle osservazioni sperimentali; nelle Figure 12 e 13 sono riportate le distribuzioni degli scostamenti tra valori attesi e osservati del peso fresco e del peso secco in funzione dei corrispondenti valori

attesi.

Anche per l'insieme di alberi misurati nella stazione di Paganico, i test di controllo dell'omoschedasticità hanno permesso di rifiutare l'ipotesi nulla di varianza omogenea per la variabile dipendente "peso fresco arboreo epigeo"; in questo caso, la funzione di ponderazione è risultata essere $S^2 = 1,3625 \times 10^{-3}(d^2h)^{1,8299}$.

Dopo aver eseguito la ponderazione delle os-

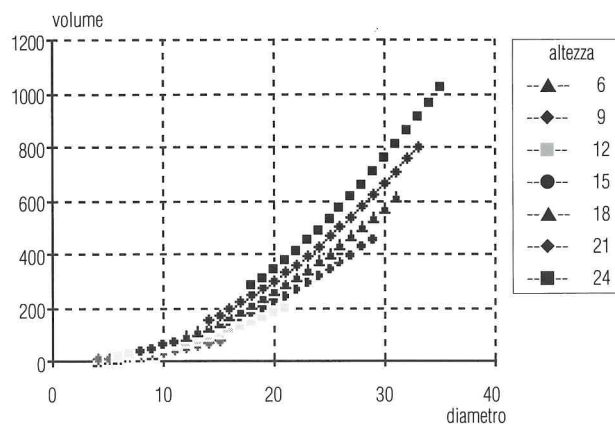


Figura 9 - Andamento del volume medio atteso del fusto (dm³) svettato a 3-4 cm, in funzione del diametro (cm), per alcune classi di altezza totale (m) (Toscana).
Course of estimated stem volume values (dm³) vs. dbh (cm) per tree height classes (m) (Tuscany).

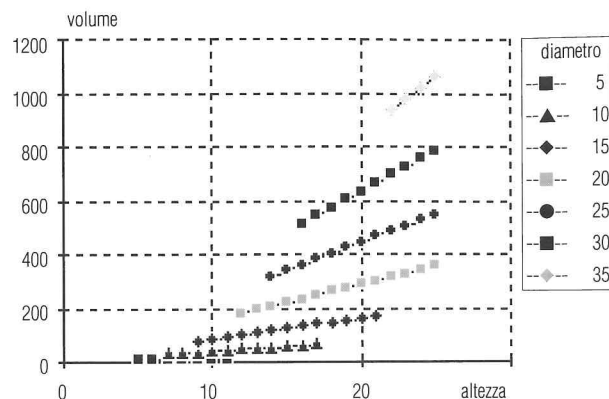


Figura 10 - Andamento del volume medio atteso del fusto (dm³) svettato a 3-4 cm, in funzione dell'altezza totale (m), per alcune classi di diametro (cm) (Toscana).
Course of estimated stem volume values (dm³) vs. tree height (m) per dbh classes (cm) (Tuscany).

Tabella 9 - Risultati dell'analisi di regressione tra il peso fresco (del fusto e dei rami grossi) e secco (del fusto e di tutti i rami) e le dimensioni degli alberi (Monterotondo M.mo).
Estimates of regression coefficients, squared R, residual variance, var.-cov. matrices and t values for the fresh weight (stemwood+thick branches) and dry weight (stemwood+all branches) prediction models (Monterotondo M.mo).

Numero di osservazioni = 101

modello $w_f = b_1 + b_2 d^2 h$ con $b_1 = 1,3868$
previsionale peso fresco $b_2 = 3,8750 \times 10^{-2}$

devianza regressione su devianza totale = 0,990

varianza residua = $8,71557 \times 10^{-2}$

matrice di varianza-covarianza dei coefficienti $\begin{bmatrix} 6,75449 \times 10^{-2} & -8,31465 \times 10^{-5} \\ & 2,73601 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$

valori del t di Student per i coefficienti per $\alpha = 0,05$ e 99 gradi di libertà

$t_1 = 5,34$

$t_2 = 74,08$

modello $w_{sl} = b_1 + b_2 d^2 h + b_3 d^2 h^2$ con $b_1 = 0,9568$
previsionale peso secco $b_2 = 3,4354 \times 10^{-2}$
 $b_3 = -3,7628 \times 10^{-4}$

devianza regressione su devianza totale = 0,990

varianza residua = $8,60297 \times 10^{-2}$

matrice di varianza-covarianza dei coefficienti $\begin{bmatrix} 8,56348 \times 10^{-2} & -5,78004 \times 10^{-4} & 3,91829 \times 10^{-5} \\ & 5,96938 \times 10^{-8} & -4,28743 \times 10^{-7} \\ & & 3,16309 \times 10^{-8} \end{bmatrix}$

valori del t di Student per i coefficienti per $\alpha = 0,05$ e 98 gradi di libertà

$t_1 = 3,27$

$t_2 = 14,06$

$t_3 = -2,12$

$(w_f, w_{sl}, d \text{ [cm]}, h \text{ [m]}, S^2_{res} \text{ [kg²]})$

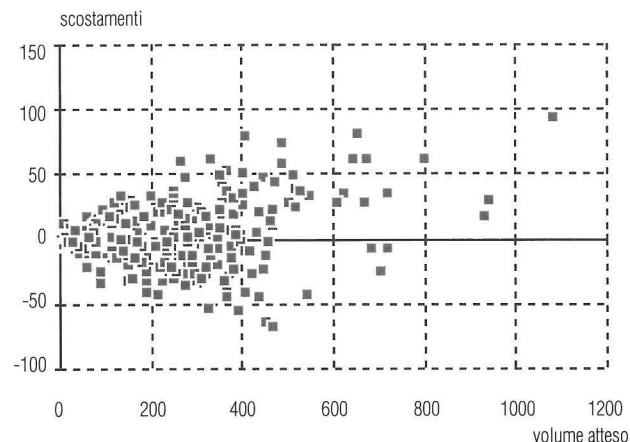


Figura 11 - Scostamenti (in dm³) tra volumi attesi e volumi osservati, in funzione dei valori di volume atteso forniti dal modello di previsione (Toscana).
Distribution of stem volume residuals (dm³) as a function of the estimated values of the variable (Tuscany).

Tabella 10 - Valori medi attesi del peso fresco (del fusto e dei rami grossi) e del peso secco (del fusto e di tutti i rami), entrambi espressi in kg, per classi di diametro e di altezza (Monterotondo M.mo).
Estimated mean values of fresh (stemwood + thick branches) and dry weight (stemwood + all branches) (Kg) per dbh and height classes (Monterotondo M.mo).

d(cm)/h(m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
4	4,5 3,6	5,1 4,0	5,7 4,5											
5	6,2 5,0	7,2 5,8	8,2 6,5	9,1 7,2	10,1 7,9									
6		9,8 7,9	11,2 9,0	12,5 10,0	13,9 11,0	15,3 12,0								
7			14,7 11,8	16,6 13,2	18,5 14,6	20,4 15,9	22,3 17,2	24,2 18,5						
8				21,2 17,0	23,7 18,8	26,2 20,5	28,7 22,2	31,1 23,9	33,6 25,5					
9				26,5 21,3	29,6 23,5	32,8 25,7	35,9 27,9	39,1 30,0	42,2 32,0	45,3 33,9				
10					36,3 28,8	40,1 31,5	44,0 34,2	47,9 36,8	51,8 39,3	55,6 41,7	59,5 44,0			
11						48,3 38,0	53,0 41,2	57,7 44,3	62,3 47,3	67,0 50,2	71,7 53,1	76,4 55,8		
12						57,2 45,0	62,8 48,8	68,3 52,5	73,9 56,1	79,5 59,6	85,1 63,0	90,7 66,2	96,2 69,4	
13							73,4 57,1	80,0 61,5	86,5 65,7	93,1 69,8	99,6 73,7	106,2 77,6	112,7 81,3	
14							84,9 66,1	92,5 71,1	100,1 76,0	107,7 80,8	115,3 85,4	122,9 89,8	130,5 94,1	
15								106,0 81,5	114,7 87,1	123,4 92,6	132,2 97,9	140,9 103,0	149,6 107,9	
16								120,4 92,6	130,3 99,0	140,3 105,2	150,2 111,2	160,1 117,0	170,0 122,6	
17									147,0 111,6	158,2 118,6	169,4 125,4	180,6 132,0	191,8 138,3	
18										164,6 125,1	177,2 132,9	189,7 140,5	202,3 147,8	214,8 154,9

servazioni con tale equazione, è stata condotta l'analisi di regressione i cui risultati sono esposti in Tabella 12. Nella Tabella 13 sono elencati i valori medi attesi del peso fresco arboreo epigeo per alcune classi dimensionali; infine in Tabella 14 sono riportati i valori attesi, medi e di singolo albero, di tale peso fresco per alcune classi dimensionali, corredati dei corrispondenti intervalli fiduciari calcolati per il livello di sicurezza statistica del 95 %.

La media degli scostamenti con segno tra valo-

ri attesi e valori osservati di peso fresco arboreo epigeo è risultata pari a -0,1 kg; la media quadratica dei valori senza segno degli stessi scostamenti è pari a 8,7 kg, mentre la media quadratica degli scostamenti percentuali senza segno è risultata essere uguale a 11,9. Anche per questo modello previsionale i test statistici condotti sui residui non hanno evidenziato situazioni di scarso adattamento del modello perequativo alle osservazioni sperimentali; nella Figura 14 è riportata la distribuzione degli scostamenti tra valori

Tabella 11 - Valori medi attesi e singoli valori attesi del peso fresco (del fusto e dei rami grossi) e del peso secco (del fusto e di tutti i rami), con indicazione dei corrispondenti intervalli fiduciari, per alcune classi di diametro e di altezza (Monterotondo M.mo).
Estimated mean and individual values and confidence limits of fresh (stemwood + thick branches) and dry weight (stemwood + all branches) per dbh and height classes (Monterotondo M.mo).

peso fresco						
d	h	$\hat{w}_f = \hat{w}_r$	int.fid. ($\hat{w}_f$) per $\alpha = 0,05$		int.fid. ($\hat{w}_f$) per $\alpha = 0,05$	
(cm)	(m)	(kg)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
4	5	4,5	0,5	10,3	1,1	24,8
5	6	7,2	0,4	6,0	1,8	24,5
6	7	11,2	0,4	3,6	2,7	23,9
7	8	16,6	0,4	2,5	3,8	23,1
8	9	23,7	0,5	2,1	5,3	22,2
9	10	32,8	0,7	2,0	7,0	21,4
10	10	40,1	0,8	2,0	8,4	20,8
11	11	53,0	1,1	2,1	10,6	20,1
12	12	68,3	1,5	2,2	13,2	19,3
13	13	86,5	2,0	2,3	16,2	18,7
14	13	100,1	2,3	2,3	18,3	18,3
15	14	123,4	2,9	2,4	21,9	17,7
16	15	150,2	3,6	2,4	25,8	17,2
17	16	180,6	4,4	2,5	30,2	16,7
18	17	214,8	5,4	2,5	35,0	16,3

peso secco						
d	h	$\hat{w}_s = \hat{w}_{st}$	int.fid. ($\hat{w}_s$) per $\alpha = 0,05$		int.fid. ($\hat{w}_s$) per $\alpha = 0,05$	
(cm)	(m)	(kg)	(kg)	(%)	(kg)	(%)
4	5	3,6	0,4	11,1	0,8	23,5
5	6	5,8	0,3	5,6	1,3	22,5
6	7	9,0	0,3	3,7	2,0	22,2
7	8	13,2	0,4	3,4	2,9	21,7
8	9	18,8	0,6	3,2	4,0	21,2
9	10	25,7	0,8	2,9	5,3	20,7
10	10	31,5	1,0	3,2	6,4	20,2
11	11	41,2	1,1	2,8	8,1	19,7
12	12	52,5	1,3	2,4	10,1	19,2
13	13	65,7	1,5	2,3	12,4	18,8
14	13	76,0	1,8	2,3	14,0	18,5
15	14	92,6	2,4	2,6	16,8	18,2
16	15	111,2	3,6	3,3	20,0	18,0
17	16	132,0	5,5	4,2	23,7	18,0
18	17	154,9	8,1	5,3	28,0	18,0

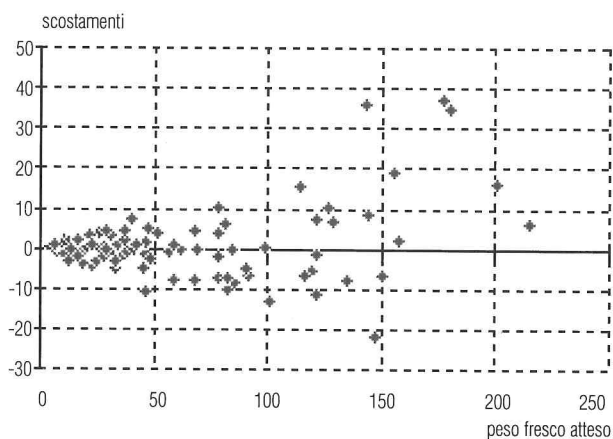


Figura 12 - Scostamenti (in kg) tra valori attesi e osservati del peso fresco, in funzione dei valori attesi forniti dal modello di previsione (Monterotondo M.mo).
Distribution of fresh weight residuals (Kg) as a function of the estimated values of the variable (Monterotondo M.mo).

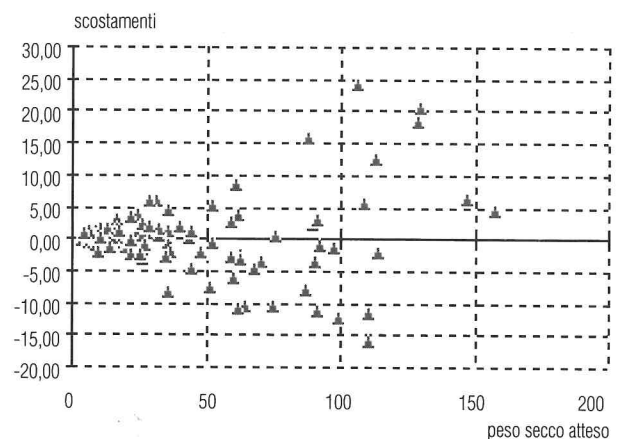


Figura 13 - Scostamenti (in kg) tra valori attesi e osservati del peso secco, in funzione dei valori attesi forniti dal modello di previsione (Monterotondo M.mo).
Distribution of dry weight residuals (Kg) as a function of the estimated values of the variable (Monterotondo M.mo).

Tabella 12 - Risultati dell'analisi di regressione tra il peso fresco arboreo epigeo e le dimensioni degli alberi (Paganico).
Estimates of regression coefficients, squared R, residual variance, var.-cov. matrices and t values for the aboveground tree biomass (fresh weight) prediction model (Paganico).

Numero di osservazioni = 431			
modello previsionale	$w_h = b_1 + b_2 d^2 h + b_3 d^2$	con	$b_1 = 0,6559$ $b_2 = 3,7333 \times 10^{-2}$ $b_3 = 0,1265$
devianza regressione su devianza totale = 0,985			
varianza residua = $9,27318 \times 10^{-2}$			
matrice di varianza-covarianza dei coefficienti	$3,34653 \times 10^{-2}$	$2,51532 \times 10^{-4}$ $2,91717 \times 10^{-6}$	$-3,27389 \times 10^{-3}$ $-3,36536 \times 10^{-5}$ $4,08199 \times 10^{-4}$
valori del t di Student per i coefficienti per $\alpha = 0,05$ e 428 gradi di libertà			
$t_1 = 3,59 \quad t_2 = 21,86 \quad t_3 = 6,26$			
$(w_h \text{ [kg] , } d \text{ [cm] , } h \text{ [m] , } S^2_{res} \text{ [kg}^2\text{]})$			

Tabella 13 - Valori medi attesi del peso fresco arboreo, espresso in kg, per classi di diametro e di altezza (Paganico).
Estimated mean values of aboveground tree biomass (fresh weight in Kg) per dbh and height classes (Paganico).

d(cm)/h(m)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
4	5,7	6,3	6,9	7,5										
5	8,5	9,4	10,4	11,3	12,2	13,2								
6	11,9	13,3	14,6	16,0	17,3	18,6	20,0							
7		17,8	19,7	21,5	23,3	25,1	27,0	28,8						
8			25,5	27,9	30,3	32,6	35,0	37,4	39,8					
9				35,1	38,1	41,1	44,2	47,2	50,2	53,2				
10				43,2	46,9	50,6	54,4	58,1	61,8	65,6	69,3			
11					56,6	61,1	65,7	70,2	74,7	79,2	83,7	88,2		
12						72,6	78,0	83,4	88,8	94,1	99,5	104,9	110,3	
13							91,4	97,7	104,1	110,4	116,7	123,0	129,3	135,6
14							105,9	113,3	120,6	127,9	135,2	142,5	149,8	157,2
15								129,9	138,3	146,7	155,1	163,5	171,9	180,3
16								147,7	157,3	166,8	176,4	186,0	195,5	205,1
17									177,5	188,3	199,1	209,8	220,6	231,4
18									198,9	211,0	223,1	235,2	247,3	259,4
19										235,0	248,5	262,0	275,4	288,9
20										260,3	275,3	290,2	305,1	320,1
21											303,4	319,9	336,3	352,8

Tabella 14 - Valori medi attesi e singoli valori attesi del peso fresco arboreo, con indicazione dei corrispondenti intervalli fiduciari, per alcune classi di diametro e di altezza (Paganico).

Estimated mean and individual values and confidence limits of aboveground tree biomass per dbh and height classes (Paganico).

d (cm)	h (m)	$\hat{W}_R = \hat{W}_R$ (kg)	int.fid. ($\hat{W}_R$) per $\alpha = 0,05$		int.fid. ($\hat{W}_R$) per $\alpha = 0,05$	
			(kg)	(%)	(kg)	(%)
4	5	5,7	0,2	2,7	1,2	21,6
5	6	9,4	0,2	2,4	2,2	23,0
6	7	14,6	0,3	2,3	3,5	23,8
7	8	21,5	0,4	1,9	5,2	24,3
8	8	27,9	0,6	2,3	6,7	23,9
9	9	38,1	0,7	1,8	9,2	24,1
10	10	50,6	0,8	1,5	12,3	24,2
11	11	65,7	0,9	1,4	15,9	24,3
12	12	83,4	1,2	1,5	20,2	24,3
13	12	97,7	1,4	1,5	23,4	24,0
14	13	120,6	2,0	1,7	28,9	24,0
15	14	146,7	2,8	1,9	35,1	23,9
16	15	176,4	3,9	2,2	42,1	23,9
17	15	199,1	4,3	2,2	47,1	23,6
18	16	235,2	5,8	2,5	55,5	23,6
19	17	275,4	7,5	2,7	64,8	23,5
20	18	320,1	9,5	3,0	75,1	23,5

attesi e osservati del peso fresco arboreo epigeo in funzione dei corrispondenti valori attesi.

Per avere la possibilità di fare valutazioni in termini di peso secco arboreo epigeo, sono stati raccolti alcuni campioni per le diverse categorie in cui è possibile ripartire la massa arborea [fusto, rami con diametro maggiore di 3 cm (chiamati rami grossi), rami con diametro inferiore a 3 cm (chiamati rami sottili) e foglie (comprese infiorescenze e infruttescenze)]; i risultati dei rilievi di campagna e di laboratorio sono

riassunti nella Tabella 15 in termini di rapporto ponderale. Con le informazioni relative a tutti gli alberi campione raccolti nell'area di Paganico, è stato infine calcolato un rapporto medio tra peso secco e peso fresco per l'intera massa arborea epigea, ponderando i singoli rapporti osservati per categoria assortimentale con i corrispondenti valori di peso fresco. Con il valore ottenuto, pari a 0,60, è possibile trasformare i valori di peso fresco indicati in Tabella 13, ottenendo una stima del peso secco arboreo in funzione delle dimensioni.

Figura 14 - Scostamenti (in kg) tra valori attesi e osservati del peso fresco arboreo, in funzione dei valori attesi forniti dal modello di previsione (Paganico).

Distribution of tree biomass residuals (fresh weight) (Kg) as a function of the estimated values of the variable (Paganico).

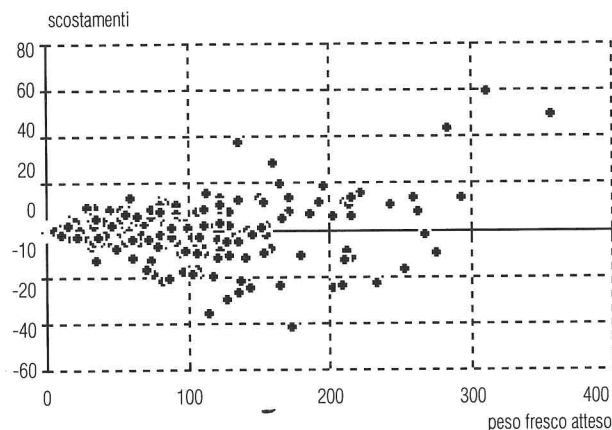


Tabella 15 - Statistiche sulle determinazioni del rapporto tra peso secco e peso fresco di componenti della biomassa, per un campione di alberi di Paganico.

Statistics on dry/fresh weight ratio for tree biomass components (Paganico).

statistiche	fusto	rami grossi (d > 3 cm)	rami sottili (d < 3 cm)	foglie
min	0,59	0,49	0,64	0,37
max	0,66	0,61	0,71	0,58
media	0,63	0,57	0,68	0,47
dev. standard	0,02	0,03	0,03	0,06
CV %	3,7	5,3	4,0	12,8
n. osservazioni	14	14	13	27

Conclusioni

L'albero è la componente fisionomica prevalente ed il soggetto funzionale più complesso dell'ecosistema forestale. L'architettura dell'albero ed il volume definito dal suo spazio di crescita sono habitat, veicolo e supporto alle numerose altre popolazioni che compongono il sistema. La densità ed il tipo di aggregazione originano la struttura verticale ed orizzontale, differenziano i dendrotipi e creano ulteriori nicchie ecologiche per le altre forme viventi.

La possibilità di determinare con un prestabilito livello di errore la massa arborea dal livello individuale a quello di popolamento, rimane quindi un punto essenziale del processo di conoscenza. In passato questa stima è stata utilizzata soprattutto per quantificare la produzione primaria netta in termini di massa legnosa utilizzabile nel *bosco produttore*, oggi sempre più per definire la stessa grandezza intesa come indice di efficienza biologica e capacità funzionale nel *bosco bene ambientale*, in grado di garantire nel tempo benefici multipli attraverso un uso compatibile.

Il passaggio da una concezione finalizzata della risorsa rinnovabile ad una visione olistica del bosco non cambia quindi la valenza conoscitiva degli strumenti di previsione delle masse arboree. Ne aumenta anzi, attraverso l'affinamento delle stime alle frazioni della biomassa, la capacità interpretativa del dinamismo delle componenti il sistema biologico.

Anche indicatori sintetici e multivalenti come l'indice di area fogliare (*LAI*) necessitano, per esprimere completamente il loro valore di analisi, del supporto di conoscenza della composizione e struttura della massa arborea nello spazio del bosco. Vale a dire della espressione quantitativa e qualitativa insieme dell'accrescimento, sia esso il risultato della coltivazione che della evoluzione a seguito dell'interruzione del trattamento. L'applicazione irregolare della selvicoltura è una condizione comune ai boschi del nostro Paese; ne derivano strutture disformi che richiedono una gestione flessibile ed una culturalità attenta, quindi anche strumenti di stima sempre più mirati e costruiti per funzioni specifiche.

In ultimo, il tema di rilevante attualità della determinazione della quantità di carbonio immobilizzata nel bosco e nel ciclo della coltura forestale rende ancora più pressante la ricerca nel settore biometrico per il ridotto livello di conoscenze quantitative sui più diffusi tipi forestali dal piano basale a quello montano dell'area mediterranea.

Bibliografia citata

- AAVV, 1999 - *L'inventario forestale*. Boschi e macchie di Toscana. Regione Toscana, Giunta Regionale, Firenze.
- AMORINI E., 1992 - *Evoluzione della struttura, della composizione specifica e della biometria di una cerreta mista di origine cedua, in funzione del trattamento*. Ann. Ist. Sper. Selv. XXIII, Arezzo: 7-40.
- AMORINI E., GAMBI G., 1977 - *Il metodo dell'invecchiamento nella conversione dei cedui di faggio*. Ann. Ist. Sper. Selv. VIII, Arezzo: 21-42.
- AMORINI E., FABBIO G., GAMBI G., 1979 - *Sistema di diradamento del bosco ceduo per l'avviamento all'altofusto. Sperimentazione in prospettiva dell'uso multiplo con il pascolo*. Ann. Ist. Sper. Selv. X, Arezzo: 3-23.
- AMORINI E., FABBIO G., 1983 - *Studio auxometrico in un ceduo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano: Primo contributo*. Ann. Ist. Sper. Selv. XIV, Arezzo: 283-328.
- AMORINI E., FABBIO G., 1986 - *L'avviamento all'altofusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Primo contributo*. Ann. Ist. Sper. Selv. XVII, Arezzo: 7-101.
- AMORINI E., FABBIO G., 1987 - *L'avviamento all'altofusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Secondo contributo*. Ann. Ist. Sper. Selv. XVIII, Arezzo: 19-70.
- AMORINI E., DI LORENZO M.G., FABBIO G., 1996 - *Intensity of standards release and shoots dynamics in a Turkey oak (Q. cerris L.) coppice. First contribution*. Ann. Ist. Sper. Selv. 27, Arezzo: 105-111.
- AMORINI E., BRUSCHINI S., CUTINI A., DI LORENZO M.G., FABBIO G., 1996 - *Treatment of Turkey oak (Q. cerris L.) coppices. Structure, biomass and silvicultural options*. Ann. Ist. Sper. Selv. 27, Arezzo: 121-129.
- CROW T.R., SCHLAEGEL B.E., 1988 - *A Guide to Using Regression Equations for Estimating Tree Biomass*. Northern Journal Applied Forestry 5: 15-22.
- CUNIA T., 1965 - *Some Theory on Reliability of Volume Estimates in a Forest Inventory Sample*. Forest Science 11 (1): 115-128.
- CUNIA T., 1979a - *On Tree Biomass Tables and Regression: Some Statistical Comments*. Workshop Proceedins on Forest Resource Inventories, Colorado State University, Fort Collins.
- CUNIA T., 1979b - *On Sampling Tree for Biomass Table Construction: Some Statistical Comments*. Workshop Proceedins on Forest Resource Inventories, Colorado State University, Fort Collins.
- CUNIA T., 1987 - *Construction of Trees Biomass Tables by Linear Regression Techniques*. In "Estimating Tree Biomass Regressions and Their Error" Proceedings of the Workshop on Tree Biomass Regression Functions and their Contribution to the Error of Forest Inventory Estimates, NE-GTR-117.

- CUTINI A., 1992 - *Indice di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione*. Ann. Ist. Sper. Selv. XXIII, Arezzo: 147-166.
- CUTINI A., 1997 - *Drought effects on canopy properties and productivity in thinned and unthinned Turkey oak stands*. Plant Biosystems, 131 (1):59-65.
- FABBIO G., 1992 - *Dinamica della popolazione arborea in un ceduo di cerro in invecchiamento*. Ann. Ist. Sper. Selv. XXIII, Arezzo: 41-72.
- GUIDI G., 1975 - *Primi risultati di una prova di conversione in un ceduo matricinato di cerro (Q. cerris L.)*. Ann. Ist. Sper. Selv. VI, Arezzo: 253-278.
- MARSHALL P., SZIKSZAI T., LEMAY V., KOZAK A., 1995 - *Testing the distributional assumptions of least squares linear regression*. The Forestry Chronicle 71 (2): 213-218.
- MENGUZZATO G., TABACCHI G., 1990 - *Modelli di previsione del peso fresco, della biomassa e del volume per pino insignie ed eucalitti nell'Azienda Massanova (Salerno)*. Annali dell'Istituto Sper. Selvicoltura, vol. 19, Arezzo.
- PERSICO P., VINCI S., 1981 - *Principi di econometria*. Liguori Editore, Napoli.
- SNOWDON P., 1985 - *Alternative Sampling Strategies and Regression Models for estimating Forest Biomass*. Australian Forest Research 15: 353-366.
- TABACCHI G., 1985 - *Scelta e determinazione del modello perequativo per la costruzione di tavole di cubatura a singola ed a doppia entrata*. Annali dell'Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura, vol. 9, Trento.
- TABACCHI G., 1989a - *I minimi quadrati ponderati nella stima dei coefficienti delle equazioni stereometriche*. Annali dell'Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura, vol. 10, Trento.
- TABACCHI G., 1989b - *Sulla precisione delle stime condotte con tavole di cubatura costruite con metodo analitico*. Annali dell'Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura, vol. 11, Trento.
- TABACCHI G., TOSI V., 1993 - *Modelli di previsione delle masse legnose del pino silvestre nell'Italia settentrionale*. Comunicazioni di Ricerca dell'Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura 92/1, Trento.