

Equazioni di previsione della fitomassa arborea per i soprassuoli di cerro in avviamento ad altofusto in Toscana

Nocetti M* ⁽¹⁾, Bertini G ⁽²⁾, Fabbio G ⁽²⁾, Tabacchi G ⁽³⁾

(1) CNR - Istituto per la Valorizzazione del Legno e delle Specie Arboree, v. Madonna del Piano 10, I-50019 Sesto Fiorentino (Firenze); (2) CRA - Istituto Sperimentale per la Selvicoltura, v.le S. Margherita 80, I-52100 Arezzo; (3) CRA - Istituto Sperimentale per l'Assessment Forestale e per l'Alpicoltura, p.za Nicolini 6, I-38050 Villazzano, Trento - *Corresponding author: Michela Nocetti (nocetti@ivalsa.cnr.it).

Abstract: Equations for the prediction of tree phytomass in *Quercus cerris* stands in Tuscany, Italy. The paper reports the development of allometric equations to estimate tree phytomass in Turkey oak stands in Tuscany. Biomass estimation is a basic tool to study the ecosystem, which is currently taking on a greater importance due to the commitments provided by the Climate Convention and the Kyoto Protocol. The high costs of the field measurements of tree biomass calls for the application of indirect methods, such as the largely-applied biomass equations, allowing to calculate phytomass values using variables easily measurable in the field, such as tree diameter and height. The equations described here have been developed for Turkey oak coppices undergoing conversion into high forests. Such stands are nowadays more and more common because of the progressive suspension of timber harvesting on an increased part of the original coppice area. We report five equations: the first one to estimate stem volume, and the followings to estimate each phytomass component (stem, branches, and slash) and the total tree above-ground phytomass. Tree diameter at breast height and total tree height were used as independent variables (predictors). All equations were developed on the same model and the additivity of the phytomass components in respect to the total phytomass was achieved. Equation parameters showed a fairly good accuracy in the estimation of the dependent variables.

Keywords: *Quercus cerris*, Stand biomass, Allometric equation, Biomass prediction.

Received: Jan 23, 2007 - Accepted: Mar 21, 2007.

Citation: Nocetti M, Bertini G, Fabbio G, Tabacchi G, 2007. Equazioni di previsione della fitomassa arborea per i soprassuoli di cerro in avviamento ad altofusto in Toscana. Forest@ 4 (2): 204-212. [online] URL: <http://www.sisef.it/>.

Introduzione

Le procedure di misurazione e di stima dell'accrescimento e della massa arborea (tavole stereometriche) si sono sviluppate in parallelo alle esigenze di gestione e di pianificazione dei soprassuoli forestali, fino ai modelli di previsione della loro dinamica nel tempo (tavole allometriche), espressione più matura dell'interesse economico per il bosco produttore di legno (Assmann 1970). Il passaggio da una gestione orientata alla produzione ad una gestione di tipo multifunzionale e sostenibile (Farrell et al. 2000, Andersson et al. 2005) ha allargato l'attenzione alla stima della produttività biologica in termini di energia o di sostanza secca. La stima delle fitomasse rappresenta così la tappa recente di un approccio classico, dalla determinazione e previsione del volume

commerciabile, si è ampliato verso la determinazione della biomassa epigea considerata sia nel suo complesso e sia nelle sue componenti principali: massa del fusto, dei rami e massa fogliare (Pardé 1980).

La funzione emergente del bosco come *sink* di carbonio e la necessità di quantificarne gli *stock* ed il ritmo di accumulo rappresenta oggi una ragione ulteriore per una accurata determinazione della massa arborea come frazione importante dell'intero serbatoio suolo-soprassuolo (Dixon et al. 1994, Nabuurs et al. 1997, Malhi et al. 1999, Brown 2001, Goodale et al. 2001, Nabuurs et al. 2003, Ciccarese et al. 2005).

Da quanto sopra riportato si evince come i lavori sulla stima della fitomassa arborea siano sempre stati di rilevante utilità per gli studi ecosistemici e stiano assumendo sempre maggiore importanza per le nuo-

ve esigenze dettate dagli impegni previsti dalla Convenzione sul clima e dal Protocollo di Kyoto (UNFCCC 1997, IPCC 2003).

A causa degli elevati costi del rilievo diretto in campo della massa arborea, i metodi attualmente più utilizzati per questa determinazione sono le stime indirette e, tra queste, le equazioni di previsione sviluppate in modo da restituire valori di biomassa a partire da grandezze facilmente misurabili in campo, quali diametro e altezza della pianta (Somogyi et al. 2006).

Il principale problema dell'utilizzo delle equazioni di biomassa è la loro applicabilità limitata alle specie e alle condizioni locali della stazione su cui i modelli sono stati approntati; da qui gli sforzi nel produrre equazioni a scala più ampia (Jenkins et al. 2003, Zianis & Mencuccini 2003, Zianis & Mencuccini 2004, Wirth et al. 2004) e nel riunire le equazioni già esistenti in database esaustivi in modo da facilitare ed incrementare la diffusione di tali strumenti (Ter Mikaelian & Korzukhin 1997, Jenkins et al. 2004, Zianis et al. 2005).

In questo contesto appare di rilevante interesse lo sviluppo di equazioni per la stima della fitomassa per specie e regioni che ne sono carenti e per tipi di bosco, come i cedui in evoluzione naturale ed in avviamento ad altofusto, che mancano assolutamente di modelli dendro-auxonomici di riferimento in quanto tipologie di "neoformazione". Queste hanno avuto infatti diffusione crescente a partire dagli anni '70 del secolo scorso, a seguito della sospensione delle utilizzazioni e dell'allungamento dei turni tradizionali nell'area originale del ceduo.

In Toscana, regione in cui i cedui di querce caducifoglie in generale e di cerro in particolare trovano la maggiore diffusione tra le regioni italiane, sono bene rappresentati sia tutti gli ambienti di vegetazione della specie, dalla zona sub-costiera a quella collinare interna fino all'area pre-appenninica ed appenninica, sia i tipi strutturali originati dalle diverse opzioni di gestione attuate.

Obiettivo, quindi, del presente lavoro è quello di produrre uno strumento di stima della fitomassa arborea epigea per i cedui in avviamento di cerro in Toscana. La disponibilità di numerosi siti installati e regolarmente monitorati dall'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo fino dai primi anni '70 e la necessità di produrre stime affidabili dei volumi e delle fitomasse presenti ai successivi inventari, hanno condotto alla raccolta periodica di campioni di alberi. Modelli di previsione a carattere locale sono stati realizzati in collaborazione con la sezione di Biometria forestale dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e l'Alpicoltura di Trento (Ghetti & Fabbio, Fabbio & Tabacchi, dati non pubblicati) per valutazioni di carattere ecologico-funzionale specifiche ai siti sperimentali. Data la consistenza delle informazioni accumulate nel tempo si è ritenuto poi di riunire i singoli campioni per produrre strumenti estimativi a più ampia valenza territoriale, utilizzabili anche a scopo inventariale. Questo lavoro si collega quindi a una serie di contributi sulla stima dei volumi e delle fitomasse arboree epigee realizzati sulle stesse tipologie di bosco (Amorini et al. 1995: faggio; Brandini & Tabacchi 1996, Fabbio et al. 2002: leccio; Amorini et al. 2000: cerro) e su tipi differenti

Tab. 1 - Siti di prelievo degli alberi modello (a.m.): parametri stazionali e dendrometrici. G: area basimetrica; I_m: incremento medio; d: diametro; h: altezza.

N	Sito	a.m. n°	Quota m	Esp. prev	Coord. Geogr.	Età anni	Polloni n° ha ⁻¹	G _{corr} m ² ha ⁻¹	I _m G _{corr} m ² ha ⁻¹	d _{medio} cm	h _{medio} m	d _{dom} cm	h _{dom} m
1	Fosso Cagnesi (Colline Metallifere)	43	580	NE	43°11' N 10°51' E	45	796	28.88	0.64	21.5	21.4	32.3	24.1
2	Valsavignone (Alta Valtiberina)	24	750	NE	43°30' N 12°03' E	47	784	31.02	0.66	22.5	21.4	30.4	24.3
3	Asqua (Foreste Casentinesi)	15	790	S	43°46' N 11°52' E	52	788	26.63	0.51	20.7	20.5	27.8	22.6
4	Pian d'Acero (Alpe di Catenaia)	32	915	NO	43°38' N 11°56' E	45	419	29.78	0.66	30.1	24.6	38.2	25.2
	<i>Media</i>	-	-	-	-	47	697	29.08	0.62	23.7	22.0	32.2	24.1

Tab. 2 - Ripartizione degli alberi modello per classi di diametro e di altezza.

Classi di diametro (cm)	Classi di altezza (m)			Totale
	h < 18	18 ≤ h < 21	h > 21	
d < 17.5	12	13	1	26
17.5 ≤ d < 22.5	6	23	26	55
22.5 ≤ d < 27.5	-	10	14	24
d ≥ 27.5	1	2	5	8
totale	19	48	46	113

(Menguzzato & Tabacchi 1988, Menguzzato & Tabacchi 1990, Tabacchi & Tosi 1992, Calamini & Gregori 2001, Fattorini et al. 2005).

Questo contributo si collega in particolare a quello dedicato ai soprassuoli di cerro della Toscana centro-meridionale (Amorini et al. 2000) in cui sono riportati diversi modelli estimativi del volume del fusto e della fitomassa arborea epigea. L'attuale set di dati integra i precedenti per le dimensioni degli alberi modello, pari a quelle massime osservabili oggi nella componente dominante dei cedui invecchiati e nella struttura delle fustaie da pollone.

Materiali e metodi

Descrizione dell'area di studio e dei siti di campionamento

Il campionamento è stato condotto in 4 siti che

comprendono i principali ambienti di vegetazione del cerro in Toscana, dalla fascia collinare sub-costiera centro-meridionale fino alle aree pre-appenninica ed appenninica che si incontrano risalendo la regione verso nord-est. Il cerro trova infatti condizioni idonee di vegetazione in un ampio gradiente di quota e di variazioni termo-udometriche, utilizzando le combinazioni favorevoli di orografia ed esposizione.

Le caratteristiche stazionali ed i parametri del soprassuolo (densità e struttura) descrivono tipologie forestali relativamente omogenee. L'età dei soprassuoli di provenienza dei campioni, determinata dalla conta degli anelli annuali sulle sezioni radiali di base, è compresa tra 45 e 52 anni. Queste età corrispondono a quelle prevalenti nei primi avviamenti ad altofusto eseguiti. Le strutture, coetanee, hanno fisionomia di fustaia monoplana derivata dal taglio di avviamento del ceduo e da uno o due successivi diradamenti. La "filatura" dei polloni, che tendono a mantenere la posizione nel piano dominante per le caratteristiche di eliofilia della specie, determina una variazione di altezza ridotta pur in presenza di una struttura diametrica ancora differenziata. Già il primo diradamento (taglio di avviamento) modella la struttura originale del ceduo in una fisionomia di fustaia di età simile. Il solo elemento distintivo dell'origine del bosco è dato dalla permanenza di più di un pollone di pari sviluppo (in genere fino a due) su alcune ceppaie. Già il successivo diradamento risolve generalmente questa distribuzione ancora parziale.

Tab. 3 - Statistiche delle determinazioni di laboratorio. sd: deviazione standard; cv: coefficiente di variazione. (°) Rami grossi >3 cm; rami sottili ≤ 3 cm.

Sito	Parametro	Rapporto ponderale (peso secco/peso fresco)			Massa volumica (peso fresco/volume)	Densità basale (peso secco/volume)
		fusto	rami		fusto	fusto
			grossi (°)	sottili (°)		
Fosso dei Cagnesi (1)	media	0.62	0.66	0.67	1.17	0.72
	sd	0.01	0.02	0.14	0.18	0.11
	cv (%)	2.1	3.7	20.9	15.3	14.9
Valsavignone (2)	media	0.62	0.63	0.66	1.09	0.68
	sd	0.01	0.02	0.06	0.03	0.02
	cv (%)	2.4	3.5	8.4	2.5	3.4
Asqua (3)	media	0.60	0.62	0.61	1.07	0.55
	sd	0.12	0.02	0.01	0.02	0.25
	cv (%)	19.5	3.3	2.2	1.4	44.6
Pian d'Acero (4)	media	0.62	0.59	-	1.07	0.66
	sd	0.05	0.02	-	0.06	0.03
	cv (%)	8.5	2.8	-	5.9	4.3

mente raggruppata, che comunque non influisce sul dendrotipo a parità di classe sociale. L'impostazione e la struttura della chioma mantengono infatti la forma appressata tipica dei polloni fino alle età osservate.

I principali parametri dendrometrici e stazionali dei siti sono riportati in Tab. 1. Le densità prevalenti sono di 700-800 alberi ad ettaro tranne che per il sito 4, diradato due volte nel ciclo di avviamento; l'area basimetrica corrente è variabile da 27 a 31 m² ha⁻¹ con incremento medio annuo da 0.5 a 0.7 m² ha⁻¹, il diametro dominante è compreso tra 28 e 38 cm e l'altezza dominante tra 23 e 25 m. Tutti i parametri confermano la ridotta variazione di fertilità stazionale e di produttività di questi soprassuoli, già evidenziata per età precedenti e per il complesso dei siti monitorati e di estrazione di campioni di alberi modello in Toscana (Amorini et al. 2000).

Il campionamento, le misure in campo e in laboratorio

L'insieme degli alberi modello include i dendrotipi e le classi dimensionali presenti nella struttura del soprassuolo. I campioni sono formati da soggetti abbattuti a seguito di diradamenti di tipo misto e da prelievi nelle aree circostanti i siti sperimentali. Gli alberi modello sono stati inclusi nel campione in base a caratteristiche comuni del dendrotipo quali: chioma di normale impostazione e sviluppo, fusti non biforcati e privi di anomalie di forma evidenti. La stratificazione preliminare del soprassuolo ha consentito di rappresentare ciascuna componente sociale secondo il peso relativo. Sono stati complessivamente considerati 113 alberi modello; in Tab. 2 è riportato il numero di osservazioni ripartito per classi di diametro e altezza.

All'abbattimento il protocollo di rilievo ha previsto

Tab. 4 - Statistiche descrittive per alcune grandezze relative agli alberi modello. d: diametro del fusto a 1.30 m dal suolo; h: altezza totale; V: volume del fusto; w1: peso secco del fusto; w2: peso secco dei rami grossi; w3: peso secco rami sottili; wtot: peso secco totale epigeo.

Parametro	Min	Media	Max
d (cm)	10.8	20.5	30.9
h (m)	14.2	20.3	28.5
V (dm ³)	65.5	336.6	739.5
w1 (kg)	43.1	230.5	486.1
w2 (kg)	0.0	10.7	64.2
w3 (kg)	0.3	13.7	61.5
wtot (kg)	44.4	254.6	570.9

per ciascun albero modello: (i) la misurazione delle circonferenze sopra corteccia del fusto a 1.30 m e ad intervalli di 1 m dalla sezione a 0.5 m dal suolo fino al diametro di sveltamento di 3 cm; (ii) la misurazione dell'altezza totale; (iii) la separazione, raccolta e pesatura delle diverse frazioni della chioma: rami grossi (> 3 cm) e rami sottili (cimale compreso); (iv) il prelievo di porzioni di fusto e rami per le successive determinazioni di laboratorio. La massa fogliare è sempre esclusa dato che gli abbattimenti sono stati effettuati nel periodo invernale.

In laboratorio sono stati determinati: (i) il rapporto ponderale (peso secco/peso fresco), (ii) la massa volumica (peso fresco/volume) e (iii) la densità basale (peso secco/volume), per le porzioni di fusto prelevate in campo; il rapporto ponderale per i campioni di rami grossi e sottili. Il volume delle porzioni di fusto è stato determinato per immersione; il peso secco in stufa ventilata a 95°C per pesate successive fino a peso costante. Il volume del fusto sveltato è stato calcolato per via geometrica applicando la formula del-

Tab. 5 - Statistiche delle equazioni di previsione del volume e di tutte le componenti di biomassa (per la simologia cfr. Tab. 4). Sono riportati i coefficienti delle equazioni (b_i), il numero di osservazioni su cui sono stati calibrati i modelli (n), il coefficiente di determinazione (R² adj), l'errore standard (SE), il coefficiente di variazione percentuale dell'equazione (CV). (a) Valori calcolati sulle variabili non ponderate.

Modello: $y = b_1 + b_2 d^2 h + b_3 d$									
Variabili dipendenti	Statistiche								
	b ₁	b ₂	b ₃	n	R ² adj	SE	R ² adj ^(a)	SE ^(a)	CV% ^(a)
V	-72.05464	0.02642	8.31076	113	0.991	3.649 10 ⁻³	0.941	35.522	10.5
w1	-74.21837	0.01597	7.87599	113	0.986	3.154 10 ⁻³	0.912	29.817	12.9
w2	-15.60991	0.000132	1.20792	113	0.672	7.885 10 ⁻⁴	0.481	8.081	78.5
w3	-7.18356	0.00097	0.58573	113	0.873	5.701 10 ⁻⁴	0.600	6.016	44.3
wtot	-97.01184	0.01703	9.66964	113	0.985	3.566 10 ⁻³	0.918	32.716	12.8

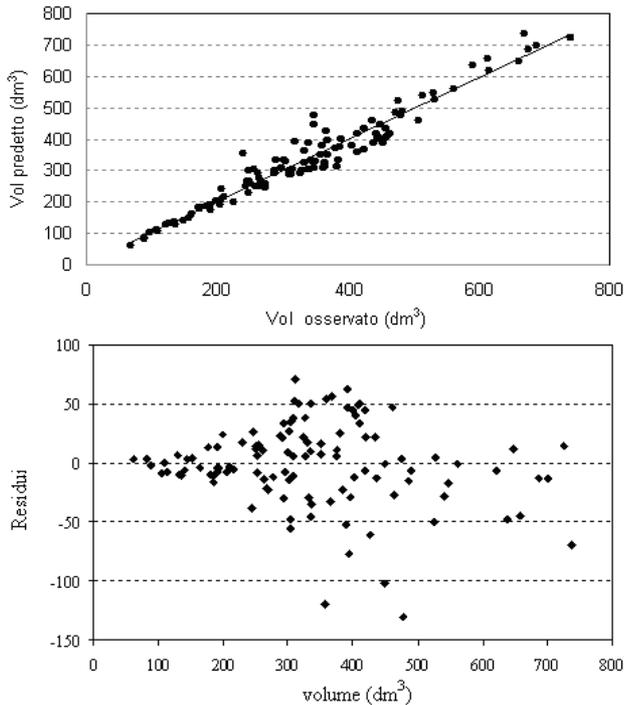


Fig. 1 - Valori predetti *vs.* valori osservati e distribuzione dei residui per il volume del fusto.

la sezione mediana.

Con le misure di campo e le determinazioni di laboratorio, infine, sono stati calcolati il peso secco di ciascuna componente arborea (fusto, rami grossi, rami sottili) e il peso secco totale epigeo per albero modello.

Nel caso del sito 4, Pian d'Acero, il rapporto ponderale (peso secco / peso fresco) è stato calcolato unitamente per le due componenti di rami (vedi Tab. 3); ai fini della modellizzazione il calcolo del peso secco delle due componenti rami grossi e rami sottili (pesate separatamente in campo) è stato effettuato utilizzando i rapporti ponderali ottenuti negli altri siti.

I modelli di previsione

Per l'approntamento delle equazioni di previsione del volume e della fitomassa arborea, è stata impiegata l'analisi di regressione nella variante dei minimi quadrati ponderati.

Sono state studiate cinque equazioni, una per la stima del volume del fusto (V) e le restanti quattro per le componenti di fitomassa e per la fitomassa epigea totale. Le variabili dipendenti per la fitomassa sono state così distinte: peso secco del fusto (w_1); peso secco dei rami grossi (w_2); peso secco dei rami sottili (w_3) e peso secco totale epigeo (w_{tot}). Attraverso le equazioni di previsione, le variabili da stimare vengono così espresse in funzione di grandezze (diame-

tro a 1.30 m e altezza totale) facilmente misurabili in campo e oggetto di normale rilievo dendrometrico. La scelta delle variabili indipendenti è stata effettuata cercando il miglior compromesso tra semplicità del modello e suo adattamento ai dati reali. Il prodotto del quadrato del diametro (d) e dell'altezza totale (h) della pianta è stato impiegato come variabile predittiva principale, in quanto variabile che esprime in modo compatto le dimensioni dell'albero. A questa è stata aggiunta una seconda variabile scelta tra le possibili combinazioni del prodotto di d e h elevate alle potenze 0, 1 o 2, in modo da massimizzare la varianza spiegata dal modello.

La scelta del modello è stata effettuata analizzando i dati di volume del fusto, nell'ambito della tecnica di regressione lineare multipla univariata, ricercando l'equazione di perequazione con una distribuzione ottimale delle differenze tra valori attesi e valori sperimentali. Tale modello è stato poi utilizzato anche per lo sviluppo delle equazioni di fitomassa, calibrate con la tecnica della regressione lineare multipla multivariata in modo da garantire l'additività delle stime delle equazioni per le singole componenti rispetto al corrispondente valore previsto dall'equazione di stima della fitomassa totale.

Per superare, infine, il problema della non omogeneità della varianza delle variabili dipendenti, sempre presente nel caso del volume e della fitomassa

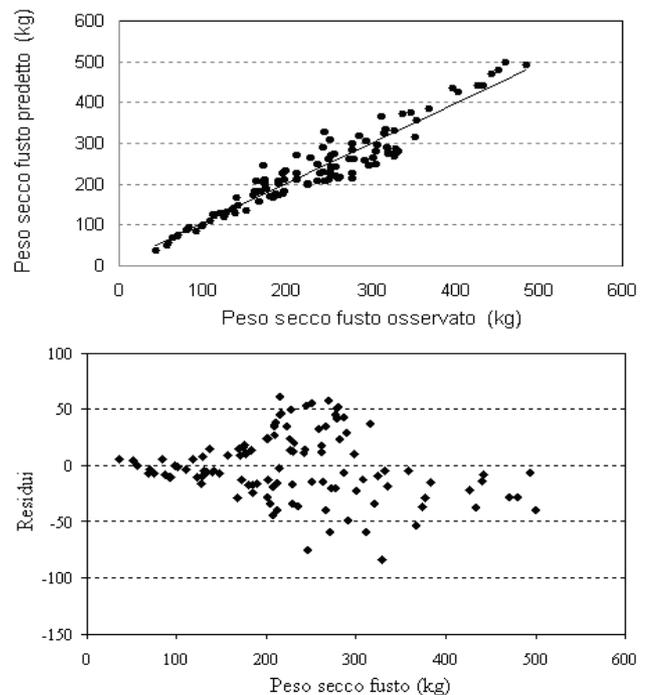


Fig. 2 - Valori predetti *vs.* valori osservati e distribuzione dei residui per il peso secco del fusto.

arborea, è stata impiegata una funzione di ponderazione che lega la variabilità delle singole variabili dipendenti alle dimensioni degli alberi, con forma $var_i = (d_i^2 h_i)^k$, ponendo il coefficiente k sempre pari a 2, secondo una semplificazione ormai ampiamente accettata (Meng & Tsai 1986, Williams & Gregoire 1993).

La metodologia qui sinteticamente richiamata per l'approntamento dei modelli previsionali è illustrata in dettaglio nel lavoro di Fattorini et al. (2005), al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

Risultati

Nella Tab. 3 sono riassunte le statistiche descrittive delle principali determinazioni di laboratorio sui campioni arborei. La Tab. 4 riporta i valori minimo, medio e massimo delle variabili prese in esame nell'analisi di regressione. Nella Tab. 5 sono riportati il modello generale adottato, i coefficienti delle cinque equazioni sviluppate, i relativi valori del coefficiente di determinazione e dell'errore standard calcolati sui valori ponderati e non, questi ultimi particolarmente utili nel caso di confronti tra modelli differenti. Viene anche presentato il coefficiente di variazione percentuale della stima sui valori non ponderati (Payandeh 1981, Crow & Schlaegel 1988, Parresol 1999).

La presenza di variabili indipendenti tra loro correlate ha reso necessario il controllo del fenomeno

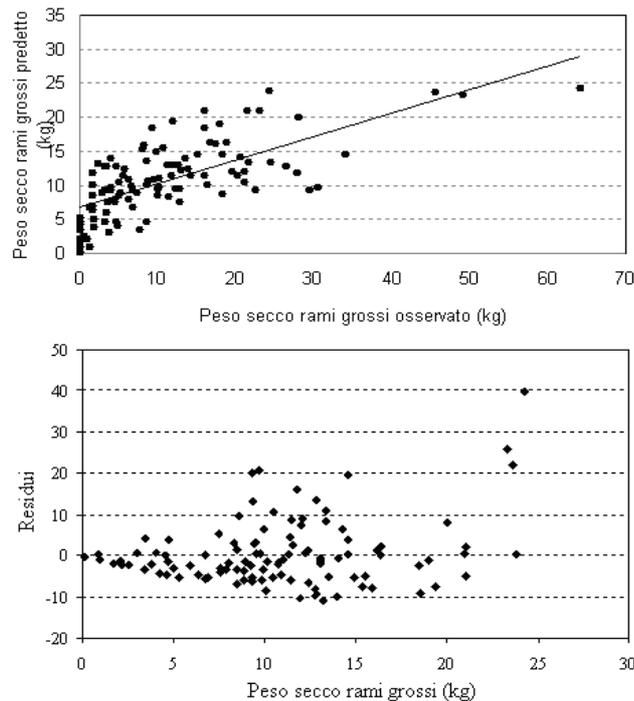


Fig. 3 - Valori predetti vs. valori osservati e distribuzione dei residui per il peso secco dei rami grossi.

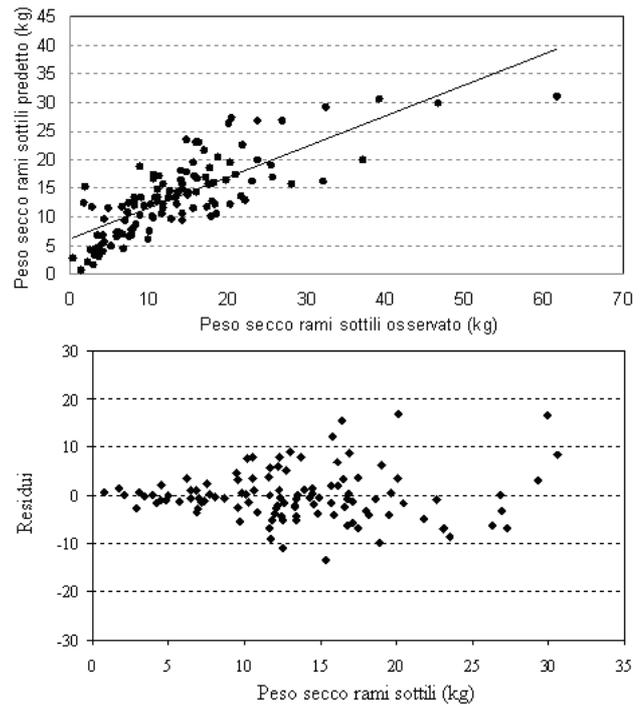


Fig. 4 - Valori predetti vs. valori osservati e distribuzione dei residui per il peso secco dei rami sottili.

della multicollinearità (Cunia 1979, Parresol 1999) tramite il calcolo dei fattori di inflazione della varianza (VIF) e l'impiego delle tecnica della *ridge regression* (Ricci 2006). Il fenomeno si è dimostrato per i dati qui presentati trascurabile.

Nelle Fig. 1-5 sono presentate le distribuzioni dei valori misurati in funzione dei valori stimati e le distribuzioni dei residui per tutte le equazioni di previsione. La media dei residui con segno è risultata pari a -1.14 dm³ per il volume del fusto, a -0.95 kg per il peso secco del fusto, a 0.42 kg per il peso secco dei rami grossi, a 0.14 kg per il peso secco dei rami sottili e a -0.38 kg per il peso secco totale epigeo.

Discussione e conclusioni

Le statistiche riportate per descrivere il campione e le equazioni qui approntate (Tab. 4, Tab. 5), utili nel momento in cui si disponga di dati dendrometrici da utilizzare per il calcolo della fitomassa e si debba quindi scegliere un modello idoneo per farlo (Crow & Schlaegel 1988, Parresol 1999), depongono per una buona precisione di stima delle variabili dipendenti. In particolare, i valori più alti del coefficiente di determinazione si ottengono per l'equazione relativa al volume del fusto, grandezza su cui è stata fatta la scelta del modello, e per le equazioni del peso secco del fusto e della fitomassa epigea totale. Le altre componenti della fitomassa, rami grossi e rami sottili

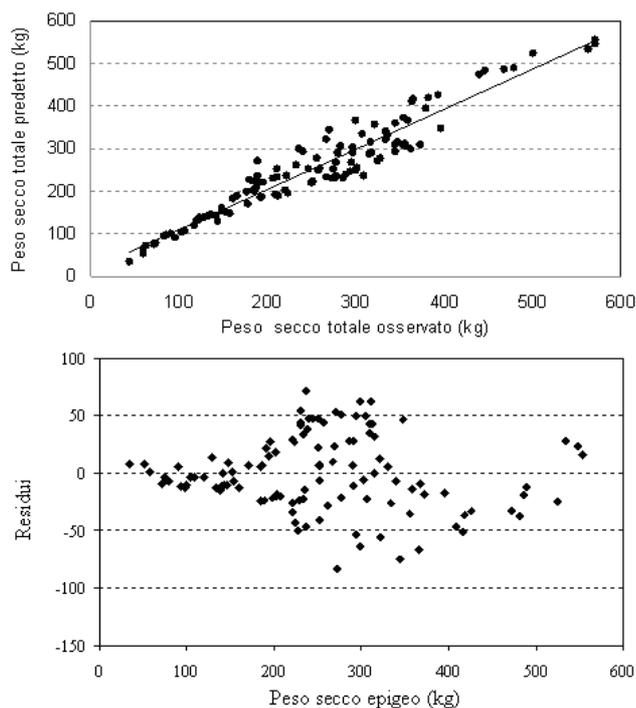


Fig. 5 - Valori predetti *vs.* valori osservati e distribuzione dei residui per il peso secco totale epigeo.

li, presentano valori di R^2 minori ed errori standard maggiori, se comparati con la dimensione media della variabile predetta (Tab. 5). Questo può essere spiegato dalla maggiore variabilità dei dati grezzi su cui è stato tarato il modello per queste componenti, ma anche dalla generale difficoltà nel predire tramite equazioni le componenti della chioma, soprattutto per le latifoglie (Lehtonen et al. 2004).

Introdurre nel modello una variabile aggiuntiva che tenesse conto della posizione nella struttura verticale della singola pianta (dominata, codominante o dominante) avrebbe sicuramente portato a un migliore adattamento del modello ai dati reali, ma due considerazioni devono essere qui riportate: in primo luogo la stratificazione dei popolamenti in esame è ridotta e, ancora più importante, lo scopo principale del lavoro è quello di fornire strumenti utilizzabili nella prassi. Inserire un maggior numero di variabili indipendenti significa dover avere maggiori informazioni al momento dell'applicazione del modello, situazione che non sempre si verifica in particolare modo nel caso di rilievi inventariali (Cunia 1979, Fattorini et al. 2005). Tutti i fattori di variazione non compresi nelle variabili esplicative sono considerati nella componente di errore, per cui il modello risultante sarà sicuramente meno preciso nella determinazione dei valori attesi ma più pratico e di più ampia applicabilità. Il *trade-off* tra adattamento e sempli-

cità del modello è una questione tuttora irrisolta.

I grafici che rappresentano l'andamento dei residui ed i valori predetti in funzione di quelli osservati (Fig. 1 - Fig. 5) mostrano una leggera sovrastima delle equazioni del volume e del peso secco del fusto per le classi diametriche maggiori. Le classi dimensionali superiori sono quelle che, infatti, presentano la maggiore variabilità delle grandezze da stimare e per le quali si dovrebbe quindi avere un più elevato numero di osservazioni campionarie. Questo non è spesso proponibile a causa dell'onerosità dei costi delle misurazioni in campo e soprattutto per gli alberi di grandi dimensioni.

Come già precedentemente segnalato, anche dai grafici relativi all'equazione di previsione del peso secco dei rami grossi (Fig. 3) si riscontrano problemi per questa componente, soprattutto nelle stime per le classi diametriche inferiori. Limitatamente a questa componente di fitomassa si sono riscontrati dei valori negativi nelle classi ipso-diametriche al limite inferiore del campo esplorato. In tale situazione si consideri il valore negativo come nullo e si sommino solo i valori componenti positivi, ricalcolando così il valore totale per la determinazione della fitomassa epigea totale.

È utile ribadire l'opportunità del controllo preventivo di compatibilità dei dati grezzi su cui è stato calibrato il modello prima di applicare equazioni di previsione su dati dendrometrici provenienti da un determinato sito o regione (Crow & Schlaegel 1988, Parresol 1999). In particolare, sono da verificare le dimensioni massime e minime degli alberi modello utilizzati, la tipologia di soprassuolo, i parametri dendrometrici di riferimento e le caratteristiche stazionali (fertilità). Le equazioni di previsione sono state calcolate su popolamenti relativamente omogenei e possono essere utilizzate per la stima del volume e della biomassa in situazioni comparabili a quelle qui presentate.

Sono attualmente allo studio modelli più generali (Jenkins et al. 2003, Zianis & Mencuccini 2003, Wirth et al. 2004) che possono essere applicati a scala maggiore, ma si deve sempre tener presente il giusto compromesso tra applicabilità ed errore della stima e valutare in ogni situazione l'effettiva possibilità di utilizzo delle equazioni esistenti. Rimane il fatto che, quando disponibili, le equazioni di previsione sono considerate lo strumento da preferire per stimare la fitomassa arborea partendo da dati inventariali correnti (Somogyi et al. 2006).

Nel caso in esame, la progressiva applicazione del trattamento (diradamenti) tende, già alle età qui con-

siderate, a ridurre la variabilità dendrometrica iniziale ed a far convergere la struttura dei soprassuoli verso un modello comune (Fabbio & Amorini 2006). Ciò, insieme alla ridotta variazione di fertilità tra i siti, fa presupporre un'applicabilità ampia del modello elaborato fino a quando la variazione del dendrotipo arboreo, soprattutto a livello di chioma, non segnalerà la necessità di provvedere a ulteriori campionamenti e all'elaborazione di nuove funzioni di stima.

La diffusione nell'Italia centrale di tipologie di soprassuolo simili a quelle analizzate evidenzia l'utilità degli strumenti elaborati.

Ringraziamenti

La ricerca è stata condotta nell'ambito dei progetti Riselvitalia Area 3 "Selvicoltura e sostenibilità", Progetto 3.2: "Selvicoltura, funzionalità e gestione sostenibile dei cedui nell'area appenninica e mediterranea" finanziato dal MiPAF e "Selvicoltura sostenibile nei boschi cedui" finanziato da Arsia-Regione Toscana. Il lavoro è stato svolto in parti uguali dagli autori.

Bibliografia

- Amorini E, Brandini P, Fabbio G, Tabacchi G (2000). Modelli di previsione delle masse legnose e delle biomasse per i cedui di cerro della Toscana centro-meridionale. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura* 29: 41-56.
- Amorini E, Fabbio G, Tabacchi G (1995). Le faggete di origine agamica: evoluzione naturale e modello culturale per l'avviamento ad alto fusto. In: *Atti del seminario "Funzionalità dell'ecosistema faggeta"* (Giannini R ed). Progetto CNR-Raisa, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Firenze, pp. 331-345.
- Andersson F, Angelstam P, Feger KH, Hasenauer H, Krauchi N, Marell A, Matteucci G, Schneider U, Tabbush P (2005). A research strategy for sustainable forest management in Europe. *Technical Report 5, Cost Action E25*, pp. 150.
- Assmann E (1970). *The principles of forest yield study*. Pergamon Press, Oxford, UK, pp. 506.
- Brandini P, Tabacchi G (1996). Modelli di previsione del volume e della biomassa per i polloni di leccio e di corbezzolo in boschi cedui della Sardegna meridionale. *Comunicazioni di ricerca ISAFSA* 96/1: 59-68.
- Brown S (2001). Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution* 116: 363-372.
- Calamini G, Gregori E (2001). Studio di una faggeta dell'Appennino pistoiese: relazioni allometriche per la stima della biomassa epigea. *L'Italia Forestale e Montana* LVI (1): 1-23.
- Ciccarese L, Brown S, Schlamadinger B (2005). Carbon sequestration through restoration of temperate and boreal forests. In: *Restoration of boreal and temperate forests* (Stanturf JA, Madsen P eds), chapt. 7: 111-120. CRC Press. Boca Raton, USA, pp. 569.
- Crow TR, Schlaegel BE (1988). A guide to using regression equations for estimating tree biomass. *Northern Journal of Applied Forestry* 5: 15-22.
- Cunia T (1979). On tree biomass tables and regression: some statistical comments. In: *Forest resource inventories, Workshop Proceedings* (Freyer WE ed), July 23-26, vol 2: 629-642.
- 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.
- Fabbio G, Amorini E (2006). Avviamento ad altofusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Caselli (Pisa). *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura* 33: 79-104.
- Fabbio G, Iovino F, Menguzzato G, Tabacchi G (2002). Confronto fra modelli di previsione della biomassa arborea elaborati per cedui di leccio. In: *Il bosco ceduo in Italia* (Ciancio O, Nocentini S eds), pp. 469-495.
- Farrell EP, Fuhrer E, Ryan D, Andersson F, Huttl R, Piuksi P (2000). European forest ecosystems: building the future on the legacy of the past. *Forest Ecology and Management* 132: 5-20.
- Fattorini L, Gasparini P, Nocetti M, Tabacchi G, Tosi V (2005). Above-ground tree phytomass prediction and preliminary shrub phytomass assessment in the forest stands of Trentino. In: *EFOMI. Valutazione ecologica di cenosi forestali sottoposte a monitoraggio integrato* (Salvadori C, Ambrosi P eds). Museo Tridentino di Scienze Naturali, Studi Trentini di Scienze Naturali, *Acta Biologica* 81: Suppl. 1: 75-121.
- Goodale C, Apps MJ, Birdsey RA, Field CB, Heath LS, Houghton RA, Jenkins JC, Kohlmaier GH, Kurz W, Liu S, Nabuurs GJ, Nilsson S, Shvidenkok AZ (2001). Forest carbon sinks in the northern Hemisphere. *Ecological Applications* 12(3): 891-899.
- IPCC (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Hayama, Kanagawa.
- Jenkins JC, Chojnacky DC, Heath LS, Birdsey RA (2003). National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science* 49 (1): 12-35.
- Jenkins JC, Chojnacky DC, Heath LS, Birdsey RA (2004). *Comprehensive database of diameter-based biomass regression for North American tree species*. General Technical Report NE-319, US Forest Service.

- 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.
- Malhi Y, Baldocchi DD, Jarvis PG (1999). The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. *Plant Cell and Environment* 22: 715-740.
- Meng CH, Tsai WY (1986). The selection of weights for a weighted regression of tree volume. *Canadian Journal of Forest Research* 16: 671-673.
- Menguzzato G, Tabacchi G (1988). Prove di diradamento su *Pseudotsuga menziesii* in Calabria. Ambiente, tavole di cubatura e della biomassa epigea. *Annali Istituto Sperimentale Selvicoltura* 17: 255-293.
- 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 Istituto Sperimentale Selvicoltura* 19: 325-353.
- Nabuurs GJ, Paivinen R, Sikkema R, Mohren GMJ (1997). The role of European forests in the global carbon cycle-a review. *Biomass and Bioenergy* 13 (6): 345-358.
- Nabuurs GJ, Schelhaas MJ, Mohren GMJ, Field C (2003). Temporal evolution of the European forest sector carbon sink from 1950 to 1999. *Global Change Biology* 9 (2): 152-160.
- Pardé J (1980). Forest biomass. *Forestry Abstracts. Review Article*. 41 (8): 343-362.
- Parresol BR (1999). Assessing tree and stand biomass: a review with examples and critical comparisons. *Forest Science* 45 (4): 573-593.
- Payandeh B (1981). Choosing regression models for biomass prediction equations. *The Forestry Chronicle* 57: 229-232.
- Ricci V (2006). Principali tecniche di regressione con R. pp. 62-69. [online] URL: <http://cran.r-project.org/doc/contrib/Ricci-regression-it.pdf>
- Somogyi Z, Cienciala E, Mäkipää R, Muukkonen P, Lehtonen A, Weiss P (2006). Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research* 126 (2): 197-207.
- Tabacchi G, Tosi V (1992). Modelli di previsione delle masse legnose del pino silvestre nell'Italia settentrionale. *Comunicazioni di ricerca ISAFSA* 92/1: 1-30.
- Ter Mikaelian MT, Korzukhin MD (1997). Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management* 97: 1-24.
- UNFCCC (1997). Kyoto Protocol to the Framework Convention on Climate Change. [online] URL: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Williams MS, Gregoire TG (1993). Estimating weights when fitting linear regression models for tree volume. *Canadian Journal of Forest Research* 23 (8): 1725-1731.
- Wirth C, Schumacher J, Schulze ED (2004). Generic biomass function for Norway spruce in central - a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. *Tree Physiology* 24: 121-139.
- Zianis D, Mencuccini M (2004). On simplifying allometric analysis of forest biomass. *Forest Ecology and Management* 187: 311-332.
- Zianis D, Mencuccini M (2003). Aboveground biomass relationship for beech (*Fagus moesiaca* Cz.) trees in Vermio Mountain, Northern Greece, and generalised equation for *Fagus* sp. *Annals of Forest Science* 60: 439-448.
- Zianis D, Muukkonen P, Mäkipää R, Mencuccini M (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fennica, Monographs* 4: 2-63.