



COMUNICAZIONI DI RICERCA

dell'Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura



**INDAGINI BIOMETRICHE, ECOLOGICHE E
SELVICOLTURALI IN BOSCHI CEDUI DEL TRENTINO
E DELLA SARDEGNA MERIDIONALE**

*Biometrical ecological and silvicultural studies for
coppice stands in Trentino and Southern Sardinia*

MODELLI DI PREVISIONE DEL VOLUME E DELLA BIOMASSA PER I POLLONI DI LECCIO E DI CORBEZZOLO IN BOSCHI CEDUI DELLA SARDEGNA MERIDIONALE

*Biomass and volume equations for holm oak and strawberry-tree
in coppice stands of Southern Sardinia*

FDC: 524 537 *Quercus ilex* *Arbutus unedo* (450.88)

1 Introduzione

Negli ultimi decenni l'attività di ricerca dedicata allo studio delle produzioni di biomassa dei popolamenti forestali si è fortemente intensificata. Se inizialmente l'interesse verso quest'area d'indagine era dovuto prevalentemente all'esigenza di corrette previsioni delle produzioni forestali per la pianificazione di un loro ordinato utilizzo, la realizzazione di questi studi trova ora ulteriore e crescente giustificazione nella necessità di acquisizione di adeguate conoscenze relative alla struttura degli ecosistemi forestali e alle interazioni esistenti fra le diverse componenti, con finalità di salvaguardia oltre che di una loro corretta e oculata gestione.

Anche quando limitata alla sola definizione della consistenza corrente dei popolamenti forestali, l'acquisizione delle informazioni relative alla biomassa arborea risulta di norma molto onerosa. Tale grandezza non è infatti di facile e diretta misurazione ed è necessario ricorrere a tavole numeriche o ad equazioni che interpretino le relazioni esistenti tra la biomassa degli alberi e le loro dimensioni (SATO e MADGWICK, 1982); questi elaborati sono predisposti a partire da un limitato numero di alberi rappresentativi dell'intera popolazione arborea oggetto del rilievo.

Un approccio di questo tipo è stato adottato per approntare idonei modelli di previsione delle biomasse arboree da impiegare per le stime e le determinazioni a carattere ecologico e selvicolturale previste nell'ambito di indagini avviate in soprassuoli governati a ceduo della Sardegna meridionale (AMORINI *et al.*, 1996).

2 Materiali e metodi

L'obiettivo dell'analisi delle relazioni tra la biomassa e le dimensioni degli alberi è limitato all'approntamento di equazioni previsionali da impiegare in un ambito territoriale e colturale ben circoscritto, per cui la formazione di un campione rappresentativo della popolazione arborea in esame ha seguito modalità molto semplici, collegate alla forma e alle dimensioni degli alberi, ritenendo in questa situazione di non dover adottare gli schemi di campionamento, più complessi e articolati, necessari nei casi di popolamenti molto differenziati, estesi e variamente distribuiti su ampi territori (CUNIA, 1979b).

La selezione degli alberi modello è stata dunque fatta sulla base delle loro dimensioni, cercando di rilevare con la stessa numerosità alberi piccoli, medi e grossi, e senza adottare criteri di preferenza basati sulla loro forma, ammettendo così alla misura sia alberi ben formati, sia soggetti con forature del fusto o con chioma variamente distribuita.

Una parte dei 120 alberi modello complessivamente

misurati è costituita da soggetti che cadevano al taglio all'interno delle aree individuate per la sperimentazione selvicolturale nella foresta di Is Cannoneris (AMORINI *et al.*, *op. cit.*), mentre la restante è formata da alberi scelti nelle fasce di separazione tra le singole aree sperimentali e nelle zone limitrofe, per cui queste ultime sono state individuate senza alcun condizionamento dettato dal tipo di intervento colturale. In tabella 1 è riportata la distribuzione delle osservazioni in funzione del diametro e dell'altezza per quanto attiene al leccio ed è indicato il numero di soggetti di corbezzolo distinti solo per il diametro¹.

Per ogni albero selezionato, sono stati rilevati: il diametro ad 1,3 m dal suolo, l'altezza totale, la circonferenza del fusto ad intervalli di un metro partendo da 0,5 m dal suolo e fino ad un diametro di sveltamento di 3-4 cm in punta, il peso fresco del fusto sveltato, il peso fresco dei rami sveltati a 3-4 cm, il peso fresco complessivo della restante fascina. Per ogni soggetto sono state prelevate tre rotelle di fusto (una nella parte basale, una in quella mediana e una nella parte apicale dello stesso), oltre ad un campione di rami grossi e ad un campione di fascina; di ciascuno è stato immediatamente misurato il peso fresco ed ogni campione è stato poi classificato e conservato per le successive determinazioni di laboratorio. In questa sede è stato misurato il volume delle frazioni di fusto e di rami grossi e il loro peso secco, unitamente a quello dei campioni di fascina.

Con le informazioni raccolte in campo e con quelle derivate dalle misure di laboratorio, è stato infine possibile determinare - per ciascun albero - il volume, il peso fresco e il peso secco del fusto, oltre al peso fresco e al peso secco dei rami grossi e della fascina. Nella tabella 2 sono esposte alcune statistiche di sintesi per le grandezze osservate con il campione di alberi.

I vari aspetti metodologici dell'analisi di regressione impiegata per l'approntamento di modelli previsionali delle biomasse arboree sono ampiamente illustrati in letteratura (BOUCHON, 1974; CUNIA, 1979a; PALM, 1981b; DEL FAVERO e TABACCHI, 1984; CUNIA, 1987; CROW e SCHLAEGEL, 1988; TABACCHI, 1989b; MARSHALL *et al.*, 1995); così vengono qui solamente ricordati alcuni aspetti specifici e in parte collegati al tipo di dati analizzato.

Il primo di questi riguarda la necessità di controllare l'omogeneità della varianza della variabile dipendente, dato che nel caso delle biomasse arboree - siano esse espresse in termini di volume del fusto, o in peso fresco del fusto e dei rami grossi o in peso secco epigeo - la condizione di eteroschedasticità è molto fre-

¹ Nel caso del corbezzolo, si è ritenuto di limitare l'analisi alle relazioni tra le diverse espressioni della biomassa e il diametro a 1,3 m dal suolo, poiché questa specie presenta nelle formazioni esaminate un portamento prostrato tale da sconsigliare l'impiego dell'altezza dendrometrica tra le variabili esplicative dei modelli di previsione.

quente (CUNIA, 1964; PALM, 1981a; RAY, 1981; TABACCHI, 1989a). Il secondo aspetto da segnalare riguarda la procedura da impiegare per l'ottenimento di modelli previsionali delle diverse componenti della biomassa arborea epigea che siano perfettamente additivi; con il procedimento qui adottato l'addittività è garantita dai vincoli inseriti nella fase di stima dei coefficienti numerici delle equazioni impiegate e non dall'assunzione preventiva di una loro identica forma (KOZAK, 1970; CUNIA, 1973; CHIYENDA e KOZAK, 1984; CUNIA e BRIGGS, 1984; MENGUZZATO e TABACCHI, 1988, 1990).

3 Risultati

3.1 Per i polloni di leccio

Per tutte le grandezze in esame, la distribuzione delle osservazioni in funzione delle dimensioni è risultata di tipo eteroschedastico sulla base di tre test statistici appositamente condotti: il test di Goldfeld-Quandt (PERSICO e VINCI, 1981), il test di White e il test di Szroeter (MARSHALL *et al.*, 1995). Per operare le necessarie ponderazioni, sono stati stimati i coefficienti di una funzione, con forma $S^2 = k (d^2 h)^\lambda$, che mette in relazione la varianza di ciascuna variabile dipendente con le dimensioni degli alberi (cfr. tabella 3); le ponderazioni in parola rendono omogenee le varianze delle variabili dipendenti e permettono di condurre l'analisi di regressione con i minimi quadrati ordinari, ottenendo stime corrette ed efficienti (a minima varianza) dei coefficienti numerici dei modelli previsionali.

I risultati delle analisi di regressione sono riportati in tabella 4 con l'indicazione, per ogni grandezza di interesse, del modello risultante, della stima dei suoi coefficienti, della stima della varianza residua, della stima degli elementi della matrice di varianza e covarianza dei coefficienti e, infine, dell'aliquota di devianza legata alle variabili esplicative. Nella tabella 5 sono evidenziati i valori medi attesi di volume del fusto svettato a 3-4 cm, per l'intero campo di escursione dimensionale osservato, dai quali sono stati poi dedotti i valori del coefficiente di riduzione ordinario corrispondente e a loro volta evidenziati in tabella 6.

Passando alle espressioni ponderali della biomassa arborea, in tabella 7 sono riportati i valori medi attesi del peso fresco del fusto e dei rami entrambi svettati a 3-4 cm e, per finire, in tabella 8 sono raccolti i valori medi attesi - per alcune classi di diametro e di altezza - del peso secco delle due componenti arboree osservate, il fusto unitamente ai rami svettati a 3-4 cm e la fascina, e del totale. Le figure 1, 2 e 3, illustrano graficamente parte dei fenomeni fin qui riassunti in forma tabellare.

L'analisi dei residui non ha evidenziato situazioni di scarso adattamento dei modelli perequativi alle os-

servazioni sperimentali. Gli scostamenti con segno presentano medie sufficientemente prossime allo zero e gli scostamenti assoluti e percentuali sono in linea con i valori attesi per questo tipo di fenomeni; la figura 4 mostra l'entità e la distribuzione degli scostamenti in funzione del valore atteso per la biomassa epigea complessiva dei polloni di leccio. Infine, i valori delle variabili aleatorie relative ai tre test sulla distribuzione dei residui sono quasi sempre inferiori ai valori critici tabellari (TABACCHI, 1985); solo nel caso del modello di previsione del peso fresco del fusto e dei rami grossi il test delle sequenze segnala una leggera prevalenza, in un qualche tratto dell'escursione dimensionale, di scostamenti dello stesso segno.

3.2 Per i polloni di corbezzolo

Anche per il corbezzolo, le grandezze esaminate hanno evidenziato un comportamento eteroschedastico sulla base degli stessi test precedentemente citati. La funzione di ponderazione impiegata, $S^2 = k (d^2)^\lambda$, in questo caso risulta leggermente diversa poiché si è previsto per il corbezzolo di non utilizzare tra le variabili esplicative l'altezza totale; i coefficienti di tale funzione sono indicati in tabella 3.

Per questa specie, i risultati delle analisi di regressione sono riportati in tabella 10 con l'indicazione, per ogni grandezza di interesse, del modello risultante, della stima dei suoi coefficienti, della stima della varianza residua, della stima degli elementi della matrice di varianza e covarianza dei coefficienti e, infine, dell'aliquota di devianza legata alle variabili esplicative. Nella tabella 11, per il ridotto campo di escursione diametrica considerato, sono riportati i valori medi attesi delle stesse grandezze osservate nel caso dei polloni di leccio. Infine, la figura 5 illustra gli andamenti di tali variabili in funzione del diametro ad 1,3 m dal suolo.

Anche per questa specie, l'analisi dei residui non ha evidenziato situazioni di scarso adattamento dei modelli perequativi alle osservazioni sperimentali. La figura 6 mostra, a titolo di esempio, l'entità e la distribuzione degli scostamenti in funzione del valore atteso per la biomassa epigea complessiva dei polloni di corbezzolo.

4 Conclusioni

I modelli di previsione della biomassa arborea, nelle sue diverse forme di espressione, sono stati predisposti per i polloni di leccio e di corbezzolo cresciuti in boschi cedui della foresta di Pula - Is Cannoneris che si trova nella parte sud-occidentale della provincia di Cagliari.

Per approntare tali modelli, è stato selezionato un

Tabella 1 - Numero di alberi modello di leccio per classi dimensionali. Nell'ultima colonna è riportato il numero di alberi modello di corbezzolo.
 Number of sample trees of holm oak for diameter and height classes. In the last column the number of strawberry-trees for diameter classes is reported.

d (cm) / h (m)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	totale	-
5	2	2	2									6	-
6			4	1	1							6	2
7			1	2	-	2						5	2
8			1	2	3	-						6	3
9				2	2	1	1					6	2
10				2	3	-	1					6	7
11				4	4	2	1					11	3
12				3	6	2	1	1				13	1
13					1	3	2	1				7	3
14					2	2	1	3				8	2
15					1	-	-	2				3	1
16					-	1	-	1				2	-
17					-	1	1	1				3	-
18					-	1	-	1	1			3	-
19					1	-	-	1	-	1		3	-
20							1	-	-	-		1	-
21								-	1	-		1	-
22								-	-	-		-	-
23								1	-	1		2	-
24										-		-	-
25										1		1	-
26											1	1	-
totale	2	2	8	16	24	15	9	12	2	3	1	94	26

Tabella 2 - Principali valori d'inquadramento per le grandezze osservate con il campione di alberi raccolto.
 Statistics of the variables observed by sample trees.

	min	leccio media	max	min	corbezzolo media	max
diametro a 1,3 m <i>d</i>	4,5	11,8	26,1	5,7	10,1	14,6
altezza totale <i>h</i>	6,0	10,5	16,0	-	-	-
volume fusto >3-4 cm <i>v</i> ₃₋₄	5,4	72,3	396,4	11,2	39,4	85,4
peso fresco fusto+rami >3-4 cm <i>wf</i> _{fr3-4}	5,7	100,6	591,0	11,2	47,0	103,9
peso secco fusto+rami >3-4 cm <i>ws</i> _{fr3-4}	2,9	58,3	352,5	5,6	25,4	58,4
peso secco fascina <i>ws</i> _{fascina}	0,8	9,9	61,8	1,5	4,4	9,5
peso secco epigeo <i>ws</i> _{epigeo}	4,3	68,2	383,6	7,1	29,8	67,9

(*d* [cm] *h* [m] *v*₃₋₄ [dm³] *wf*_{fr3-4} *ws*_{fr3-4} *ws*_{fascina} *ws*_{epigeo} [kg])

Tabella 3 - Stime dei coefficienti delle funzioni di ponderazione per le due specie e per le cinque variabili dipendenti esaminate.
 Coefficient estimates of weighing functions for the two species and for the five dependent variables examined.

	leccio		corbezzolo	
	<i>k</i>	<i>λ</i>	<i>k</i>	<i>λ</i>
volume fusto >3-4 cm <i>v</i> ₃₋₄	5,5169x10 ⁻⁴	1,8245	0,2931	2,5603
peso fresco fusto+rami >3-4 cm <i>wf</i> _{fr3-4}	3,3827x10 ⁻⁴	1,9677	1,1637	1,0081
peso secco fusto+rami >3-4 cm <i>ws</i> _{fr3-4}	5,9053x10 ⁻⁵	2,1290	0,1850	2,3622
peso secco fascina <i>ws</i> _{fascina}	2,9215x10 ⁻⁷	2,4274	0,0249	1,7780
peso secco epigeo <i>ws</i> _{epigeo}	5,0518x10 ⁻⁵	2,1941	0,1293	2,5845

$S^2 = k (d^{2h})^{\lambda}$ per il leccio
 $S^2 = k (d^{2h})^{\lambda}$ per il corbezzolo

Tabella 4 - Stime dei coefficienti numerici, delle varianze residue, degli elementi delle matrici di varianza e covarianza dei coefficienti e del coefficiente di determinazione, per i modelli di previsione relativi ai polloni di leccio.
Estimates of regression coefficients, residual variances, elements of var-cov matrices and coefficients of determination, relevant to forecast models of holm oak trees.

Modello	coefficienti (b)	varianza residua (S ² _{res})	matrice delle varianze e covarianze dei coefficienti V (b)	R ²
volume fusto >3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2 h$	$b_1 = 1,1909$ $b_2 = 3,8639 \times 10^{-2}$	$9,1284 \times 10^{-2}$	$\begin{bmatrix} 8,0350 \times 10^{-2} & -8,8997 \times 10^{-5} \\ & 2,4995 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$	0,991
peso fresco fusto e rami >3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2 h$	$b_1 = -1,0803$ $b_2 = 5,3120 \times 10^{-2}$	0,1219	$\begin{bmatrix} 0,1475 & -1,8796 \times 10^{-4} \\ & 5,8777 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$	0,988
peso secco fusto e rami >3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2 h$	$b_1 = -1,0906$ $b_2 = 3,1073 \times 10^{-2}$	$3,0228 \times 10^{-2}$	$\begin{bmatrix} 9,0258 \times 10^{-2} & -1,3887 \times 10^{-4} \\ & 4,9379 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$	0,952*
peso secco fascina $Y = b_1 + b_2 d^2 h$	$b_1 = 0,4741$ $b_2 = 4,7473 \times 10^{-3}$	0,2174	$\begin{bmatrix} 4,2902 \times 10^{-3} & -8,5128 \times 10^{-6} \\ & 3,5049 \times 10^{-8} \end{bmatrix}$	0,952*
peso secco complessivo $Y = b_1 + b_2 d^2 h$	$b_1 = -0,6165$ $b_2 = 3,5820 \times 10^{-2}$	$4,0074 \times 10^{-2}$	$\begin{bmatrix} 9,0739 \times 10^{-2} & -1,8971 \times 10^{-3} \\ & 4,9935 \times 10^{-7} \end{bmatrix}$	0,952*

(diametro in centimetri, altezza in metri, volume in decimetri cubi, peso fresco e peso secco in chilogrammi)

* stimato per il modello complessivo con vincoli di additività

Tabella 5 - Valori medi attesi del volume (dm³) del fusto svettato a 3-4 cm dei polloni di leccio, in corrispondenza di alcuni valori di diametro e di altezza totale.

Estimated mean values of merchantable stem volume (> 3-4 cm) of holm oak trees, for some diameter and height classes.

d (cm) / h (m)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	7,0	8,0	8,9	9,9							
6	9,5	10,9	12,3	13,7	15,1						
7		14,4	16,3	18,2	20,1	22,0					
8			21,0	23,4	25,9	28,4					
9			26,2	29,4	32,5	35,6	38,7				
10				36,0	39,8	43,7	47,6				
11				43,3	47,9	52,6	57,3	62,0			
12				51,3	56,8	62,4	68,0	73,5			
13				60,0	66,5	73,0	79,6	86,1	92,6		
14					76,9	84,5	92,1	99,6	107,2		
15					88,1	96,8	105,5	114,2	122,9	131,6	
16					100,1	110,0	119,9	129,8	139,7	149,6	
17					112,9	124,0	135,2	146,4	157,5	168,7	179,9
18					126,4	138,9	151,4	163,9	176,5	189,0	201,5
19					140,7	154,6	168,6	182,5	196,5	210,4	224,4
20							186,7	202,1	217,6	233,0	248,5
21							205,7	222,7	239,8	256,8	273,8
22								244,3	263,0	281,7	300,4
23								266,9	287,4	307,8	328,2
24									312,8	335,0	357,3
25									339,3	363,4	387,6
26										393,0	419,1

apposito campione, sufficiente per numerosità e per distribuzione dimensionale, e sono stati adottati procedimenti statistici idonei a garantire stime corrette ed efficienti dei loro parametri.

Le equazioni risultanti costituiscono un utile strumento estimativo per le indagini ecologiche e selvicolturali in corso, ma anche per valutazioni a carattere inventariale o commerciale locali per le quali sia necessario disporre di affidabili valutazioni delle masse legnose per gli alberi delle specie considerate.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano vivamente il signor Alfredo Rubino, tecnico dell'ISAFa, e il signor Dino Basciu, dipendente dell'Azienda Regionale delle Foreste di Cagliari, per l'impegno e per la perizia con cui hanno operato nel corso dei rilevamenti dendrometrici. Si ringraziano anche i tecnici dell'ISS, Umberto Cerofolini e Luigi Mencacci, per il prezioso supporto tecnico e per l'aiuto forniti durante i lavori in foresta.

Tabella 6 - Valori del coefficiente di riduzione ordinario, relativo al volume del fusto svettato a 3-4 cm, per i polloni di leccio, in corrispondenza di alcuni valori di diametro e di altezza totale.
 Estimated form factor values of holm oak trees, for some diameter and height classes.

d (cm) / h (m)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	0,59	0,58	0,57	0,56							
6	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53						
7		0,54	0,53	0,53	0,52	0,52					
8			0,52	0,52	0,52	0,51					
9			0,52	0,51	0,51	0,51	0,51				
10				0,51	0,51	0,51	0,50				
11				0,51	0,50	0,50	0,50	0,50			
12				0,50	0,50	0,50	0,50	0,50			
13				0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
14					0,50	0,50	0,50	0,50	0,50		
15					0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
16					0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	
17					0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
18					0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,49
19					0,50	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,49
20							0,50	0,49	0,49	0,49	0,49
21							0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
22								0,49	0,49	0,49	0,49
23								0,49	0,49	0,49	0,49
24									0,49	0,49	0,49
25									0,49	0,49	0,49
26									0,49	0,49	0,49

Tabella 7 - Valori medi attesi del peso fresco (kg) del fusto e dei rami, entrambi svettati a 3-4 cm, dei polloni di leccio, in corrispondenza di alcuni valori di diametro e di altezza totale.
 Estimated mean values of fresh weight of merchantable stem and large branches (> 3-4 cm) of holm oak trees, for some diameter and height classes.

d (cm) / h (m)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	6,9	8,2	9,5	10,9							
6	10,4	12,3	14,2	16,1	18,0						
7		17,1	19,7	22,3	24,9	27,6					
8			26,1	29,5	32,9	36,3					
9			33,3	37,6	41,9	46,2	50,6				
10				46,7	52,0	57,4	62,7				
11				56,8	63,2	69,6	76,0	82,5			
12				67,8	75,4	83,1	90,7	98,4			
13				79,7	88,7	97,7	106,6	115,6	124,6		
14					103,0	113,4	123,9	134,3	144,7		
15					118,4	130,4	142,3	154,3	166,2	178,2	
16					134,9	148,5	162,1	175,7	189,3	202,9	
17					152,4	167,8	183,1	198,5	213,8	229,2	244,5
18					171,0	188,2	205,4	222,7	239,9	257,1	274,3
19					190,7	209,9	229,0	248,2	267,4	286,6	305,7
20							253,9	275,1	296,4	317,6	338,9
21							280,0	303,5	326,9	350,3	373,7
22								333,1	358,9	384,6	410,3
23								364,2	392,3	420,4	448,5
24									427,3	457,9	488,5
25									463,7	496,9	530,1
26										537,6	573,5

Tabella 8 - Valori medi attesi di **a** peso secco (kg) del fusto e dei rami, entrambi svettati a 3-4 cm, **b** peso secco (kg) della fascina comprensiva delle foglie, **c** peso secco complessivo (kg), dei polloni di leccio, in corrispondenza di alcuni valori di diametro e di altezza totale.

Estimated mean values of **a** dry weight of merchantable stem and large branches (> 3-4 cm), **b** dry weight of small branches and leaves, **c** total dry weight, of holm oak trees, for some diameter and height classes.

d (cm) / h (m)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
5	3,6 1,2 4,8	4,3 1,3 5,7	5,1 1,4 6,5	5,9 1,5 7,4							
6	5,6 1,5 7,1	6,7 1,7 8,4	7,9 1,8 9,7	9,0 2,0 11,0	10,1 2,2 12,3						
7		9,6 2,1 11,7	11,1 2,3 13,4	12,6 2,6 15,2	14,1 2,8 16,9	15,7 3,0 18,7	a b c				
8			14,8 2,9 17,7	16,8 3,2 20,0	18,8 3,5 22,3	20,8 3,8 24,6					
9			19,0 3,6 22,6	21,6 3,9 25,5	24,1 4,3 28,4	26,6 4,7 31,3	29,1 5,1 34,2				
10				26,9 4,7 31,6	30,0 5,2 35,2	33,1 5,7 38,8	36,2 6,2 42,4				
11				32,7 5,6 38,4	36,5 6,2 42,7	40,3 6,8 47,1	44,0 7,4 51,4	47,8 7,9 55,7			
12				39,2 6,6 45,8	43,7 7,3 51,0	48,1 8,0 56,1	52,6 8,7 61,3	57,1 9,4 66,4			
13				46,2 7,7 53,9	51,4 8,5 59,9	56,7 9,3 66,0	61,9 10,1 72,0	67,2 10,9 78,1	72,4 11,7 84,1		
14					59,8 9,8 69,6	65,9 10,7 76,6	72,0 11,6 83,6	78,1 12,6 90,7	84,2 13,5 97,7		
15					68,8 11,2 80,0	75,8 12,2 88,0	82,8 13,3 96,1	89,8 14,4 104,2	96,8 15,4 112,2	103,8 16,5 120,3	
16					78,5 12,6 91,1	86,4 13,8 100,3	94,4 15,1 109,4	102,3 16,3 118,6	110,3 17,5 127,8	118,2 18,7 136,9	
17					88,7 14,2 102,9	97,7 15,6 113,3	106,7 16,9 123,6	115,7 18,3 134,0	124,6 19,7 144,3	133,6 21,1 154,7	142,6 22,4 165,0
18					99,6 15,9 115,4	109,7 17,4 127,0	119,7 18,9 138,7	129,8 20,5 150,3	139,9 22,0 161,9	149,9 23,5 173,5	160,0 25,1 185,1
19					111,1 17,6 128,7	122,3 19,3 141,6	133,5 21,0 154,6	144,7 22,8 167,5	156,0 24,5 180,4	167,2 26,2 193,4	178,4 27,9 206,3
20							148,1 23,3 171,3	160,5 25,2 185,6	172,9 27,1 200,0	185,3 29,0 214,3	197,8 30,9 228,6
21							163,3 25,6 188,9	177,1 27,7 204,7	190,8 29,8 220,5	204,5 31,9 236,3	218,2 34,0 252,1
22								194,4 30,3 224,8	209,5 32,6 242,1	224,5 34,9 259,4	239,5 37,2 276,8
23								212,6 33,1 245,7	229,0 35,6 264,7	245,5 38,1 283,6	261,9 40,7 302,6
24									249,5 38,8 288,2	267,4 41,5 308,9	285,3 44,2 329,5
25									270,8 42,0 312,8	290,2 45,0 335,2	309,6 47,9 357,6
26										314,0 48,6 362,6	335,0 51,8 386,8

Tabella 9 - Valori medi dei residui e valori di variabili aleatorie associate a test statistici relativi alla distribuzione di tali residui.
Mean values of residuals and test statistics on residual distributions.

media	media con segno	media quadratica	media quadrat. %	test segni	test sequenze	test χ^2
leccio						
volume fusto >3-4 cm	-1,6	9,3	9,3	0,10	1,86	14,10
peso fresco fusto+rami >3-4 cm	-1,5	13,4	11,0	-0,10	2,07*	10,59
peso secco fusto+rami >3-4 cm	-0,8	9,5	12,7	-0,10	1,66	7,26
peso secco fascina	-0,5	4,7	35,9	0,31	0,40	8,73
peso secco epigeo	-1,3	12,3	14,4	0,52	1,63	7,26
corbezzolo						
volume fusto >3-4 cm	0,3	7,8	19,4	0,59	1,52	16,33
peso fresco fusto+rami >3-4 cm	0,0	7,8	15,9	-0,20	0,80	15,33
peso secco fusto+rami >3-4 cm	-2,0	4,9	17,6	0,20	0,77	12,33
peso secco fascina	0,0	1,2	23,7	-0,20	0,40	8,00
peso secco epigeo	0,0	5,2	15,4	0,59	1,52	12,33

(scostamenti di volume in dm³, scostamenti di peso fresco e secco in kg)

Tabella 10 - Stime dei coefficienti numerici, delle varianze residue, degli elementi delle matrici di varianza e covarianza dei coefficienti e del coefficiente di determinazione, per i modelli di previsione relativi ai polloni di corbezzolo.
Estimates of regression coefficients, residual variances, elements of var-cov matrices and coefficients of determination, relevant to forecast models of strawberry-trees.

Modello	coefficienti (b)	varianza residua (S^2_{res})	matrice delle varianze e covarianze dei coefficienti V (b)	R^2
volume fusto >3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2$	$b_1 = -0,5547$ $b_2 = 0,3757$	$1,4928 \times 10^{-3}$	$\begin{bmatrix} 3,7561 & -5,2203 \times 10^{-2} \\ & 9,3319 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,965
peso fresco fusto e rami>3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2$	$b_1 = -4,2192$ $b_2 = 0,4781$	0,4491	$\begin{bmatrix} 7,9132 & -7,4011 \times 10^{-2} \\ & 8,8730 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,976
peso secco fusto e rami>3-4 cm $Y = b_1 + b_2 d^2$	$b_1 = -2,8816$ $b_2 = 0,2639$	$9,0341 \times 10^{-6}$	$\begin{bmatrix} 2,1823 & -2,9357 \times 10^{-2} \\ & 5,1044 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,955*
peso secco fascina $Y = b_1 + b_2 d^2$	$b_1 = 0,1253$ $b_2 = 4,0617 \times 10^{-2}$	$5,8518 \times 10^{-5}$	$\begin{bmatrix} 4,3146 \times 10^{-2} & -4,8729 \times 10^{-4} \\ & 7,1809 \times 10^{-6} \end{bmatrix}$	0,955*
peso secco complessivo $Y = b_1 + b_2 d^2$	$b_1 = -2,7563$ $b_2 = 0,3045$	$4,9921 \times 10^{-6}$	$\begin{bmatrix} 2,1930 & -1,5858 \times 10^{-2} \\ & 5,1259 \times 10^{-4} \end{bmatrix}$	0,955*

(diametro in centimetri, volume in decimetri cubi, peso fresco e peso secco in chilogrammi)

* stimato per il modello complessivo con vincoli di addittività

Tabella 11 - Valori medi attesi del volume, del peso fresco e del peso secco per i polloni di corbezzolo, in corrispondenza di alcune classi di diametro.
Estimated mean values of volume, fresh weight and dry weight of strawberry-trees, for some diameter and height classes.

diametro (cm)	volume (fusto >3-4 cm) (dm ³)	peso fresco (fusto e rami >3-4 cm) (kg)	peso secco (fusto e rami >3-4 cm) (kg)	peso secco (fascina) (kg)	peso secco (complessivo) (kg)
5	8,8	7,7	3,7	1,1	4,9
6	13,0	13,0	6,6	1,6	8,2
7	17,9	19,2	10,1	2,1	12,2
8	23,5	26,4	14,0	2,7	16,7
9	29,9	34,5	18,5	3,4	21,9
10	37,0	43,6	23,5	4,2	27,7
11	44,9	53,6	29,1	5,0	34,1
12	53,5	64,6	35,1	6,0	41,1
13	62,9	76,6	41,7	7,0	48,7
14	73,1	89,5	48,8	8,1	56,9
15	84,0	103,4	56,5	9,3	65,8

Figura 1 - Andamento del volume atteso (dm^3) del fusto svettato a 3-4 cm dei polloni di leccio, in funzione del diametro e per alcune classi di altezza totale. Merchantable stem volume ($> 3-4$ cm) of holm oak, for some diameter and height classes.

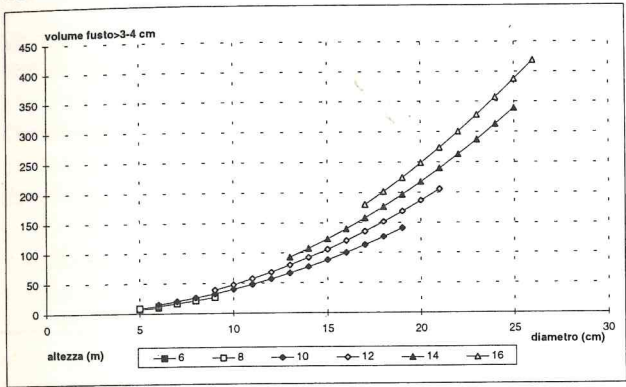


Figura 2 - Andamento del peso fresco atteso (kg) del fusto e dei rami, entrambi svettati a 3-4 cm, dei polloni di leccio, in funzione del diametro e per alcune classi di altezza totale. Fresh weight of merchantable stem and large branches ($> 3-4$ cm) of holm oak, for some diameter and height classes.

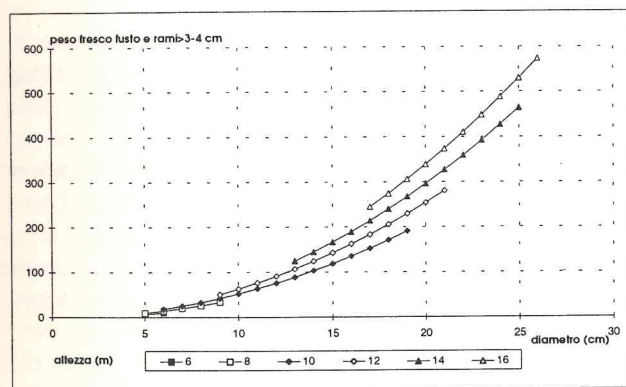


Figura 3 - Andamento del peso secco atteso (kg) dell'intera parte epigea dei polloni di leccio, in funzione del diametro e per alcune classi di altezza totale. Total above ground dry weight of holm oak, for some diameter and height classes.

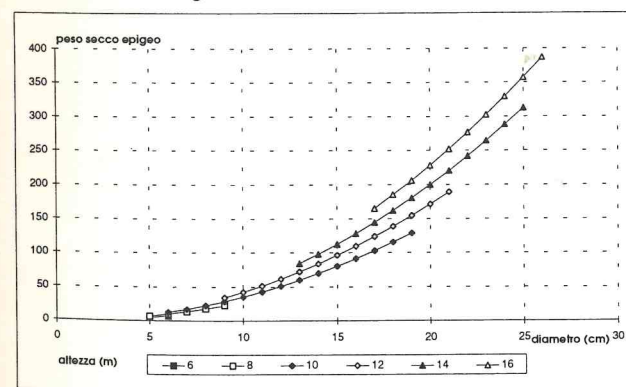


Figura 4 - Distribuzione degli scostamenti tra valori attesi e valori osservati del peso secco epigeo complessivo in funzione dei valori medi attesi, per i polloni di leccio. Residual distribution of total above ground dry weight of holm oak, in relation to estimated values of that variable.

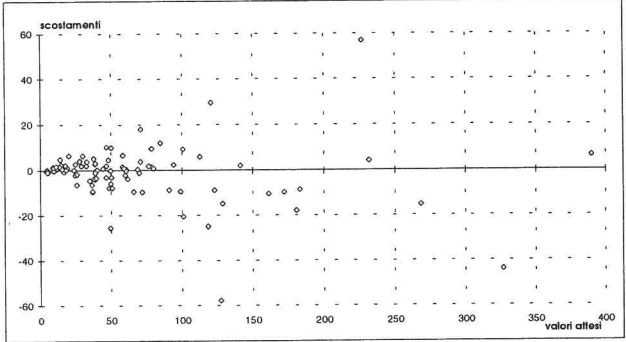


Figura 5 - Andamenti del volume atteso (dm^3) del fusto svettato a 3-4 cm, del peso fresco atteso (kg) del fusto e dei rami entrambi svettati a 3-4 cm, del peso secco atteso (kg) [1: fusto e rami entrambi svettati a 3-4 cm, 2: fascina, 3: complessivo], dei polloni di corbezzolo in funzione del diametro.

Estimated values of: merchantable stem volume ($> 3-4$ cm), fresh weight of merchantable stem and large branches ($> 3-4$ cm), dry weight [1: merchantable stem and large branches, 2: small branches and leaves, 3: total above ground], of Strawberry-trees for some diameter classes.

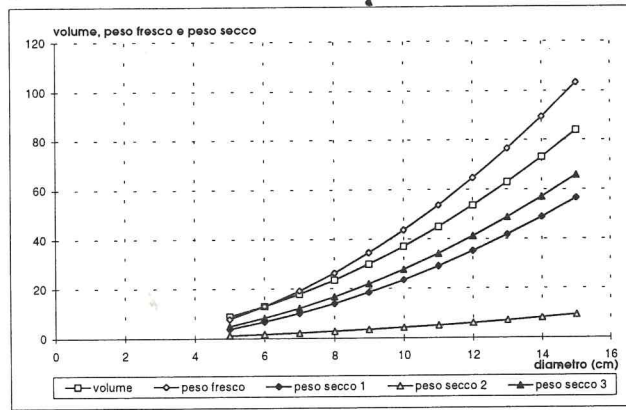
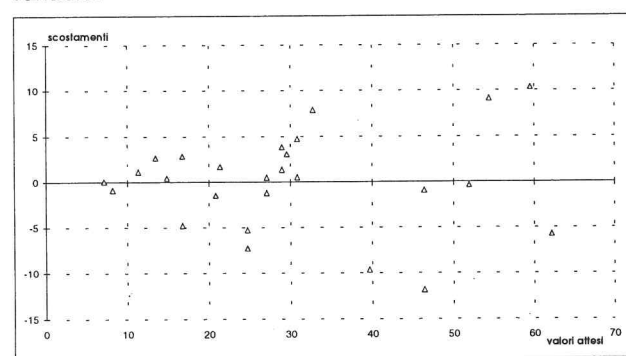


Figura 6 - Distribuzione degli scostamenti tra valori attesi e valori osservati del peso secco epigeo complessivo in funzione dei valori medi attesi, per i polloni di corbezzolo. Residual distribution of total above ground dry weight of strawberry-trees, in relation to estimated values of that variable.



Bibliografia

- AMORINI E., BRUSCHINI S., CUTINI A., FABBIO G., MANETTI M.C., 1996 - *Studi su struttura e processi ecologici in popolamenti di leccio della Sardegna meridionale*. Comunicazioni di Ricerca dell'ISAFA 96/1, Trento.
- BOUCHON J., 1974 - *Les tarifs de cubage*. Ecole nationale du genie rural, des eaux et des forets, Nancy.
- CHIYENDA S.S., KOZAK A., 1984 - *Additivity of component biomass regression equations when the underlying model is linear*. Can. J. For. Res. 14 (3): 441-446.
- 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., 1964 - *Weighted least squares method and construction of volume tables*. For. Sci. 10 (2): 180-191.
- CUNIA T., 1973 - *Dummy variables and some of their uses in regression analysis*. In Proceedings of the June 1973 Meeting of IUFRO Subject Group S4.02. Vol 1, SUNY College, Syracuse, NY.
- CUNIA T., 1979a - *On tree biomass tables and regression: some statistical comments*. Workshop Proceedings on Forest Resource Inventories, Colorado State University, Fort Collins.
- CUNIA T., 1979b - *On sampling trees for biomass tables construction: some statistical comments*. Workshop Proceedings 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.
- CUNIA T., BRIGGS R.D., 1984 - *Forcing additivity of biomass tables: some empirical results*. Can. J. For. Res. 14 (3): 376-384.
- DEL FAVERO R., TABACCHI G., 1984 - *Su alcuni aspetti metodologici dell'analisi della regressione con riferimento ad applicazioni d'interesse dendrometrico*. Annali Istituto Sper. Assestamento For. Alpicoltura, vol. 8, Trento.
- KOZAK A., 1970 - *Methods for ensuring additivity of biomass components by regression analysis*. For. Chron. 46 (5): 402-404.
- MARSHALL P., SZIKSZAI T., LEMAY V., KOZAK A., 1995 - *Testing the distributional assumptions of least squares linear regression*. For. Chron. 71 (2): 213-218.
- MENGUZZATO G., TABACCHI G., 1988 - *Prove di diradamento su Pseudotsuga menziesii in Calabria. Ambiente, tavole di cubatura e della biomassa epigea*. Annali dell'Istituto Sper. Selvicoltura, vol. 17, Arezzo.
- 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.
- PALM R., 1981a - *Contribution méthodologique au cubage des arbres et à la construction de tables de cubage et d'assortiments*. Faculté des Sciences Agronomiques, Thèse de Doctorat, Gembloux.
- PALM R., 1981b - *Calcul et choix des équations de cubage d'arbres*. Bull. Rech. Agron. de Gembloux 16 (4): 351-370.
- RAY P.N., 1981 - *Estimation of tree equations*. Australian National University, M. SC. Thesis.
- SATOO T., MADGWICK H.A.I., 1982 - *Forest biomass*. Forestry Sciences, Nijhoff-Junk Publishers, The Hague.
- TABACCHI G., 1985 - *Scelta e determinazione del modello perequativo per la costruzione di tavole di cubatura a singola e 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.

RIASSUNTO

Nell'ambito di indagini ecologiche e selvicolturali in boschi cedui della parte meridionale della Sardegna, promosse dall'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura per lo svolgimento di un progetto di ricerca a carattere europeo, sono state raccolte le informazioni necessarie per l'approntamento di equazioni di previsione della biomassa arborea.

Il campione arboreo è stato selezionato nelle stazioni interessate dalla sperimentazione selvicolturale, localizzate al centro della foresta di Pula - Is Cannoneris. L'insieme di alberi misurati è costituito per tre quarti da polloni di leccio e per il restante quarto da polloni di corbezzolo. Per ogni albero sono stati determinati il volume del fusto svettato a 3-4 cm, il peso fresco del fusto e dei rami grossi entrambi svettati a 3-4 cm, il peso secco del fusto e dei rami grossi, il peso secco della restante fascina comprensiva delle foglie; è stato inoltre misurato il diametro a 1,3 m dal suolo e, limitatamente al leccio, l'altezza totale dei polloni.

Con l'analisi di regressione sono state studiate le relazioni tra le diverse espressioni della biomassa arborea e le citate dimensioni degli alberi e sono state individuate le equazioni di previsione definitive impiegando idonee procedure statistiche. In particolare, la stima dei coefficienti numerici è avvenuta con ponderazione delle osservazioni, per la costante eteroschedasticità osservata con le osservazioni campionarie; la seconda caratteristica di rilievo riguarda la necessità di ottenere stime dei coefficienti che garantiscano la piena addittività dei modelli previsionali e questa necessità è stata soddisfatta inserendo gli opportuni vincoli nella fase di stima dei coefficienti delle equazioni.

La procedura per l'individuazione delle equazioni di previsione delle biomasse arboree è conclusa da un esame dell'entità e della distribuzione degli scostamenti tra valori osservati e corrispondenti valori attesi. Gli indicatori impiegati non hanno evidenziato situazioni di scarso adattamento alle osservazioni sperimentali da parte dei modelli perequativi risultanti.

SUMMARY

Information required to define tree biomass equations were collected during ecological and silvicultural investigations, planned by the Forest Research Institute with an European project, in a coppice forest of South Sardinia.

The sample trees were selected in the experimental areas located in the centre of Pula - Is Cannoneris' forest. The 75% of the sample was holm oak trees and the remaining 25% was strawberry trees. The following variables were recorded for each tree: the volume of the merchantable stem ($>3-4$ cm), the fresh and dry weight of the merchantable stem and of large branches, the dry weight of the rest of the tree with leaves too. Moreover the diameter of the stem at 1,3 b.h. and the total height of the trees were recorded (total height was not recorded for strawberry trees).

The relations among the different expressions of tree biomass and the tree dimensions mentioned were evaluated by regression analysis and forecast equations were found using appropriated statistical procedures. In particular the estimates of the coefficients were made using weighted least squares, because the heterogeneity of the variance of the dependent variables was observed in the samples constantly. The procedure to estimate the coefficients that assure the full additivity of the biomass forecast models is the second point to show and this feature was obtained using suitable constraints during estimation of equation coefficients.

After the determination of tree biomass equations, the residuals among observed and respective expected values were calculated and their distributions were observed. Any indexes did not show particular situations of low adaptation of the fitting models to experimental observations.

Finito di stampare
nel mese di dicembre 1996
dalla Tipografia Cumer - Cunevo
per conto della
SBS Servizi sas - Mezzolombardo

ISAF A

Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura
38050 Villazzano di TRENTO - piazza Nicolini, 6 - Tel. 0461/381111
Fax 0461/381131 e-mail: isafa@tqs.it

Forest and Range Management Research Institute
I - 38050 Villazzano di TRENTO - piazza Nicolini, 6 - Tel. +39-461-381111
Fax +39-461-381131 e-mail: isafa@tqs.it