



Regione Siciliana
**Assessorato Regionale dell'Agricoltura, dello Sviluppo
Rurale e della Pesca Mediterranea**

Piano Forestale Regionale

2021-2025

**Quali-quantificazione delle biomasse
legnose ed indirizzi per la loro
utilizzazione con riferimento ai registri
dei serbatoi di carbonio**

Studio a corredo n° 2

REPUBBLICA ITALIANA



Regione Siciliana
ASSESSORATO AGRICOLTURA E FORESTE
DIPARTIMENTO FORESTE



UNIONE EUROPEA



dca dipartimento *colture arboree*



*Accademia Italiana di Scienze
Forestali*



*Università degli Studi di
Palermo*

Regione Siciliana

**Assistenza Tecnica al Dipartimento Foreste della Regione Siciliana
per la definizione del Piano Forestale Regionale**

(Misura 7.01 del POR Sicilia 2000-2006 – Cod. Id. 1999.IT16.IPO.0.11/7.01/2.49/0003)

***Linea 3/1: Quali-quantificazione delle biomasse legnose ed indirizzi per la loro
utilizzazione con riferimento ai registri dei serbatoi di carbonio***

-----*-----

Studi Specifici di Corredo al Piano n. 2:

Il Responsabile della Ricerca

Prof. Marco Marchetti

Palermo 30 settembre 2008

ATTIVITÀ PREVISTE DA PROGETTO ESECUTIVO

Tavole di popolamento	3
Tariffe di cubatura	13
Sistemi di fattori di espansione della biomassa	18
Valutazione speditiva biomassa arbustiva	34
Relazione finale	42

Tavole di popolamento

TAVOLE DI CUBATURA DI POPOLAMENTO PER I SOPRASSUOLI FORESTALI DELLA SICILIA

1. Introduzione

La determinazione del volume della massa legnosa dei popolamenti forestali è uno dei momenti fondamentali nelle procedure di stima dei boschi da sottoporre a utilizzazione e ai fini della realizzazione dei piani di assestamento e gestione forestale, e ne costituisce in genere una delle fasi più costose. Peraltro, nel secondo caso non ne va mitizzata l'importanza: l'essenza delle informazioni da raccogliere a fini assestamentali è soprattutto di carattere ambientale e culturale, più che di carattere prevalentemente provvigionale. Si tratta comunque di una operazione delicata ed essenziale anche nel caso di piani di tipo sommario, in quanto fornisce una valutazione importante non solamente per la descrizione quantitativa dello stato reale del bosco, ma anche per la conseguente definizione delle modalità di futuro trattamento (Corona, 2007).

In relazione alle motivazioni evidenziate negli ultimi decenni hanno avuto diffusione anche nel nostro Paese le tavole di cubatura di popolamento quali strumenti estimativi in grado di fornire una stima precisa e accurata del volume della massa legnosa per interi soprassuoli boschivi mediante rilevamenti dendrometrici semplificati (a es. Del Favero, 1980; Bianchi, 1984; Tabacchi e Tosi, 1995; Sottovia e Tabacchi, 1996; Corona, 2000; Bassi et al., 2000). Si tratta di tabelle che riportano il valore medio atteso del volume della massa legnosa a ettaro in funzione di attributi di facile rilevamento: altezza media o dominante o statura del soprassuolo e area basimetrica a ettaro.

In particolare, le tavole di cubatura di popolamento rivestono interesse ai fini di determinazioni volte a fornire valutazioni complessive del volume della massa legnosa per unità di superficie qualora non sia necessario conoscere la ripartizione di tale volume in assortimenti diversi, come, a esempio, avviene nella gran parte dei casi per i cedui. Tenuto conto di queste potenzialità, la Regione Siciliana, nell'ambito delle politiche regionali indirizzate all'ampliamento della superficie boscata e al suo miglioramento attraverso una gestione sostenibile basata anche su opportune attività di inventariazione e pianificazione, ha ritenuto necessario dotarsi di apposite tavole di cubatura di popolamento per la stima statistica, in maniera rapida, facilmente applicabile e con adeguata attendibilità, delle masse legnose dei boschi ordinariamente governati a ceduo e a fustaia.

Nella presente nota viene illustrata l'elaborazione di questo tipo di tavole di cubatura per l'area geografica in oggetto. In particolare, vengono riportati: l'analisi statistica condotta per la preparazione dei modelli matematici di predizione del volume della massa legnosa a ettaro; i risultati ottenuti, presentati anche nella convenzionale forma tabellare; le modalità di applicazione dei modelli elaborati.

2. Rilevamento dendrometrico

I dati utilizzati per la costruzione delle tavole di cubatura di popolamento dei boschi siciliani sono stati raccolti nel corso di rilevamenti condotti dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Palermo nell'ambito di ricerche dendrometriche e dalla Regione Siciliana nell'ambito delle attività connesse alla realizzazione della terza fase dell'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio.

I rilevamenti hanno interessato popolamenti forestali definiti come tali in conformità ai parametri accettati in sede nazionale e internazionale (UN-ECE/FAO, 1997). Le misurazioni dendrometriche sono state realizzate secondo il protocollo descritto in INFC (2006), a cui si rimanda per maggiori dettagli. La soglia minima di cavallettamento corrisponde a un diametro a petto d'uomo pari a 5 cm.

Oggetto di interesse ai fini del presente lavoro sono stati i rilevamenti condotti nei soprassuoli potenzialmente sottoposti a regolare attività selvicolturale, afferenti alle seguenti categorie forestali: leccete; querceti caducifogli; faggete; castagneti; eucalitteti; pinete di pino d'Aleppo; pinete di pino domestico; pinete di pino laricio. I boschi di latifoglie sono stati classificati in fustaie, dove prevaleva il dendrotipo "individuo di alto fusto", e in cedui, dove prevaleva il dendrotipo "pollone", tranne per quanto riguarda le faggete i cui soprassuoli sono risultati perlopiù a struttura composita, senza netta prevalenza di uno dei due

dendrotipi. Va peraltro sottolineato che nei soprassuoli a prevalenza di querce classificati a fustaia si ha spesso una presenza rilevante di polloni e un aspetto strutturale composito.

Dall'insieme di rilevamenti disponibili è stato estratto un insieme di 207 aree campione con dati dendrometrici completi e senza errori. Per ciascuna area campione sono stati calcolati: (i) l'area basimetrica a ettaro (G , m^2ha^{-1}); (ii) l'altezza dominante (Hd , m), pari alla media delle altezze misurate sui tre fusti di maggiori dimensioni diametriche (fusti dominanti o codominanti), riferiti al dendrotipo "individuo di alto fusto" nel caso delle fustaie e al dendrotipo "pollone" nel caso dei cedui; (iii) il volume della massa legnosa a ettaro (V , m^3ha^{-1}) mediante cubatura con le tavole generali dell'Inventario Forestale Nazionale (Castellani et al., 1984), che forniscono il volume cormometrico (massa del fusto intero con corteccia) nel caso delle conifere e il volume dendrometrico (massa del fusto intero con corteccia e rami fino al diametro di 3 cm) nel caso delle latifoglie.

3. Formalizzazione

3.1. Definizione del modello predittivo

Nella costruzione delle tavole di cubatura di popolamento la maggior parte della variabilità del volume della massa legnosa a ettaro è dovuta alle variazioni dell'area basimetrica a ettaro e dell'altezza dominante del soprassuolo (vd. riferimenti bibliografici di cui al § 1).

Nel caso in esame, il modello in grado di esprimere la relazione intercorrente tra V , G , e Hd è stato individuato mediante procedura *stepwise regression* di tipo convenzionale. La relazione tra queste variabili è stata dapprima interpretata da un modello di massima estensione che ha preso in esame i valori di G e Hd in forma singola o come prodotto, con esponente pari a 0.5, 1 e 2. Il valore di F critico nel processo di inclusione delle variabili indipendenti è stato posto pari a quello del processo di eliminazione: il livello di significatività dell' F critico è stato posto pari a 0.90, così da garantire la selezione di un ridotto *pool* di predittori. Il valore di tolleranza, misura della stabilità della matrice di correlazione, è stato fissato pari a 0.001.

Nel caso delle fustaie, la variabile selezionata quale predittore è risultata $G*Hd$. Nel modello perequativo selezionato, è compreso il termine noto:

$$V = a_0 + a_1 * G * Hd \quad [i]$$

Nel caso dei cedui e delle faggete, la variabile selezionata quale predittore è risultata $G*Hd^{0.5}$. Nel modello perequativo selezionato, è compreso il termine noto:

$$V = b_0 + b_1 * G * \sqrt{Hd} \quad [ii]$$

Modelli del tipo [i] risultano utilizzati per le tavole di cubatura di popolamento dei boschi dell'Emilia Romagna (Bassi et al., 2000), mentre il modello [ii] è utilizzato in Veneto per i cedui di faggio (Corona, 2000). Le equazioni lineari [i] e [ii] implicano una costanza del valore a ettaro del volume della massa legnosa a parità di area basimetrica e di altezza dominante, indipendentemente dalla variazione di altre caratteristiche strutturali dei popolamenti.

3.2. Ponderazione della variabile dipendente

Nei modelli di regressione lineare si presume che la varianza sia costante all'interno della popolazione in esame. Come atteso ed evidenziato sui dati raccolti dall'analisi esplorativa (test di Goldfeld-Quandt), tranne nel caso delle faggete, la variabilità del volume della massa legnosa a ettaro risulta crescente all'aumentare dell'area basimetrica a ettaro e dell'altezza dominante del soprassuolo: in questa situazione (eteroscedasticità della varianza della variabile dipendente) la procedura di regressione lineare che utilizza i "minimi quadrati ordinari" non fornisce stime ottimali del modello. Se è possibile stimare tali differenze di variabilità in base a un'altra variabile (variabile di ponderazione), la procedura che consente di ottenere la migliore stima dei coefficienti numerici dei modelli predittivi è quella che utilizza i "minimi quadrati ponderati": alle

osservazioni più precise (ovvero quelle con una minore variabilità) vengono dati pesi maggiori nella determinazione dei coefficienti di regressione.

Nel caso in esame, la variabile di ponderazione ottimale è stata scelta elevando il reciproco della variabile indipendente di ciascun modello a una potenza pari a 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, scegliendo quello in grado di massimizzare il valore di verosimiglianza: in questo modo la variabile di ponderazione ottimale è risultata pari a $1/(G*Hd)$ nel caso delle fustaie, pari a $1/(G^2*Hd)$ nel caso dei cedui. Per i soprassuoli di faggio la variabile di ponderazione ottimale è ovviamente risultata pari a 1.

3.3. Aggregazione delle categorie forestali

Prima di procedere alla calibrazione definitiva dei modelli di previsione è stata verificata la possibilità di accorpamento delle rette di regressione per le diverse categorie forestali (vd. § 2), separatamente per il modello [i] (fustaie, escluse i soprassuoli di faggio) e per il modello [ii] (cedui, esclusi i soprassuoli di faggio). A tal fine sono state considerate tutte le possibili combinazioni di accorpamento tra le categorie per ciascun modello. Le faggete sono state tenute a parte in quanto, pur facendo riferimento al modello [ii], sono stimate con una variabile di ponderazione diversa da quella dei cedui delle altre specie.

Le ipotesi formulate sono state valutate mediante test F, seguendo le procedure suggerite da Cunia (1987) per i test di coincidenza e parallelismo tra modelli regressivi riferiti a gruppi di osservazioni diverse (Tabella 1).

Tabella 1. Ipotesi di aggregazione non rifiutate secondo il test F di coincidenza e parallelismo tra modelli regressivi riferiti a gruppi di osservazioni diverse. dev_{regr1} = devianza della regressione per il modello senza vincoli (i coefficienti della retta di regressione sono diversi per ciascuna categoria forestale: complessivamente, 12 nel caso di quelle afferenti al modello [i] e 8 nel caso di quelle afferenti al modello [ii]); gl_1 = gradi di libertà per il modello senza vincoli; dev_{regr2} = devianza della regressione per il modello vincolato a seguito dell'ipotesi di aggregazione; gl_2 = gradi di libertà per il modello vincolato; dev_{res1} = devianza residua del modello senza vincoli; $gl_{res1} = n - gl_1$; n = numerosità delle osservazioni; $F = (dev_{regr1} - dev_{regr2}) / (gl_1 - gl_2) / (dev_{res1} / gl_{res1})$; F_{crit} = valore critico della distribuzione di F in corrispondenza di $gl_1 - gl_2$ gradi di libertà al numeratore e gl_{res1} gradi di libertà al denominatore.

modello	ipotesi	dev_{regr1}	gl_1	dev_{regr2}	gl_2	dev_{res1}	gl_{res1}	F	F_{crit}
[i]	- pinete di pino d'Aleppo - pinete di pino domestico - pinete di pino laricio - eucalitteti governati a fustaia - querceti di leccio e di querce cadufoglie governati a fustaia	6829302	12	6827232	10	70222	140	2.06	3.06
[ii]	- cedui di castagno, eucalitti, querce caducifoglie e leccio	140192	8	135408	2	10942	29	2.11	2.43

Sulla base dei risultati ottenuti è dunque possibile fare riferimento a modelli predittivi per i seguenti insiemi risultati a valenza dendrologica omogenea, senza una riduzione significativa della complessiva precisione di stima rispetto a modelli istituiti per ciascuna singola categoria forestale: eucalitteti governati a fustaia; querceti governati a fustaia; pinete di pino d'Aleppo; pinete di pino domestico; pinete di pino laricio; cedui (esclusi quelli a prevalenza di faggio); faggete.

4. Calibrazione

Le statistiche descrittive delle variabili considerate per l'istituzione dei modelli [i] e [ii] secondo le aggregazioni ottenute sono riportati nella Tabella 2.

Tabella 2. Statistiche delle grandezze osservate per la formulazione dei modelli previsionali e numerosità campionarie.

<i>valenza dendrologica del modello</i>	<i>numero osservazioni</i>	<i>altezza dominante (m)</i>	<i>area basimetrica ($m^2 ha^{-1}$)</i>	<i>volume della massa legnosa ($m^3 ha^{-1}$)</i>
pinete di pino d'Aleppo	17	min = 5.2 max = 19.8 media = 13.3 dev.st. = 4.0	min = 3.03 max = 44.56 media = 19.86 dev.st. = 13.42	min = 8 max = 411 media = 160 dev.st. = 140
pinete di pino domestico	20	min = 9.5 max = 18.8 media = 13.4 dev.st. = 2.8	min = 7.41 max = 54.75 media = 20.71 dev.st. = 14.81	min = 45 max = 576 media = 201 dev.st. = 164
pinete di pino laricio	29	min = 4.5 max = 31.8 media = 17.7 dev.st. = 8.2	min = 0.57 max = 90.46 media = 38.41 dev.st. = 24.33	min = 2 max = 1349 media = 378 dev.st. = 370
eucalitteti governati a fustaia	29	min = 4.1 max = 21.6 media = 14.0 dev.st. = 4.5	min = 3.64 max = 47.09 media = 15.86 dev.st. = 8.66	min = 9 max = 348 media = 87 dev.st. = 65
querzeti governati a fustaia	57	min = 4.7 max = 22.1 media = 10.9 dev.st. = 3.9	min = 1.42 max = 43.70 media = 13.85 dev.st. = 9.27	min = 3 max = 366 media = 97 dev.st. = 79
Faggete	18	min = 4.8 max = 21.8 media = 13.3 dev.st. = 4.4	min = 11.52 max = 50.54 media = 26.40 dev.st. = 10.24	min = 77 max = 407 media = 209 dev.st. = 93
cedui (escluso faggio)	37	min = 3.8 max = 25.8 media = 11.2 dev.st. = 4.9	min = 1.30 max = 31.50 media = 13.69 dev.st. = 9.76	min = 4 max = 232 media = 77 dev.st. = 65

L'analisi di regressione è stata condotta secondo i modelli formalizzati al § 3.1, mediante il metodo dei minimi quadrati ponderati utilizzando le variabili di ponderazione ottenute al § 3.2 e facendo riferimento alle aggregazioni di cui al § 3.3. Non sono stati riscontrati in alcun caso andamenti sistematici dei residui in funzione della variabile indipendente. I risultati delle analisi di regressione sono riportati in Tabella 3.

Tabella 3. Risultati dell'analisi di regressione per la stima dei coefficienti numerici dei modelli predittivi (R^2 = coefficiente di determinazione = rapporto tra devianza della regressione e devianza totale; *ess* = errore standard della stima).

<i>valenza dendrologica del modello</i>	<i>codice modello</i>	<i>equazione</i>	R^2	<i>ess</i> (m^3ha^{-1})
pinete di pino d'Aleppo	1	$V = -4.990 + 0.552 * G * Hd$	0.990	15
pinete di pino domestico	2	$V = -0.001 + 0.679 * G * Hd$	0.997	8
pinete di pino laricio	3	$V = 0.882 + 0.440 * G * Hd$	0.989	40
eucalitteti governati a fustaia	4	$V = 3.585 + 0.340 * G * Hd$	0.993	6
querceti governati a fustaia	5	$V = 4.865 + 0.543 * G * Hd$	0.924	21
faggete	6	$V = 15.596 + 1.977 * G * \sqrt{Hd}$	0.894	31
cedui (escluso faggio)	7	$V = -1.663 + 1.676 * G * \sqrt{Hd}$	0.949	21

5. Validazione

La capacità inferenziale dei modelli elaborati è stata valutata in modo indipendente mediante procedura *leave-one-out* calcolando i cosiddetti residui “cancellati”: in questo caso, il residuo in corrispondenza di una data osservazione è dato dalla differenza tra il valore del volume della massa legnosa stimato con il modello calibrato omettendo quella osservazione e il valore misurato riferito a quella stessa osservazione (Tabella 4).

Tabella 4. Risultati della validazione dei modelli predittivi per i cedui mediante procedura *leave-one-out*.

<i>valenza dendrologica del modello</i>	<i>media dei residui cancellati</i> (m^3ha^{-1})	<i>percentuale di varianza spiegata</i> (%)	<i>media dei residui cancellati assoluti</i> (m^3ha^{-1})
pinete di pino d'Aleppo	0.189	98	11
pinete di pino domestico	-0.344	99	6
pinete di pino laricio	0.469	99	28
eucalitteti governati a fustaia	-0.050	99	7
querceti governati a fustaia	-0.207	92	12
faggete	0.688	87	25
cedui (escluso faggio)	1.087	89	14

I risultati della validazione manifestano l'efficacia predittiva dei modelli elaborati, che appaiono in grado di fornire stime non distorte (anche nel caso dei cedui la distorsione valutata in modo indipendente risulta pari ad appena l'1% della valore medio del volume della massa legnosa) e di spiegare una porzione molto elevata della variabilità del volume della massa legnosa nell'ambito di ciascun insieme a valenza dendrologica omogenea. La media dei residui cancellati assoluti fornisce l'ordine di grandezza dello scostamento atteso rispetto al valore vero quando si stima il volume della massa legnosa: anche per il modello meno efficace (faggete) tale valore risulta soddisfacentemente inferiore al 12% rispetto al valore medio a ettaro riscontrato in Sicilia per questa categoria forestale.

6. Impiego delle tavole

Il volume della massa legnosa dei popolamenti forestali siciliani è risultato determinabile con buona approssimazione da equazioni stocastiche che hanno come variabili indipendenti l'area basimetrica a ettaro e l'altezza dominante. Le tavole elaborate (Tabelle 5-11) sono in grado di soddisfare pienamente le esigenze connesse a procedure estimative a costi contenuti e di protocolli inventariali destinati a fornire valutazioni complessive della massa legnosa per unità di superficie e costituiscono uno strumento valido sia per affidabilità estimativa sia per facilità di impiego, rappresentativo delle condizioni reali dei soprassuoli siciliani potenzialmente sottoposti a regolare attività selvicolturale. Le tavole forniscono il volume cormometrico nel caso delle conifere e quello dendrometrico nel caso delle latifoglie e si riferiscono a fusti con diametro a petto d'uomo superiore a 4.5 cm.

Tabella 5. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) delle pinete di pino d'Aleppo in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	9	12	14	17	20	23	25	28								
10		28	34	39	45	50	56	61	67	72						
15			53	61	70	78	86	94	103	111	119					
20				83	94	105	116	127	139	150	161					
25				105	119	133	147	161	174	188	202	216				
30					144	161	177	194	210	227	243	260				
35						188	208	227	246	265	285	304	323	343		
40							238	260	282	304	326	348	370	392	415	437
45									318	343	368	392	417	442	467	492

Tabella 6. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) delle pinete di pino domestico in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)										
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
10	61	68	75	81	88						
15		102	112	122	132	143	153				
20			149	163	177	190	204	217			
25				204	221	238	255	272	289		
30					265	285	306	326	346	367	
35						333	356	380	404	428	
40							380	407	435	462	489
45							428	458	489	519	550
50									543	577	611

Tabella 7. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) delle pinete di pino laricio in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)												
	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31
10	32	40	49	58									
15	47	60	73	87	100								
20			98	115	133	150							
25				144	166	188	210						
30				172	199	225	252	278					
35				201	232	263	293	324					
40				230	265	300	335	370	406	441			
45					298	337	377	417	456	496	535		
50							419	463	507	551	595	639	
55							461	509	557	606	654	703	
60								555	608	661	714	766	
65								601	659	716	773	830	
70									709	771	832	894	956
75									760	826	892	958	1024
80										881	951	1022	1092
85											1011	1085	1160

Tabella 8. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) degli eucalitteti governati a fustaia in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)																
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
5	12	14	15	17	19												
10		24	27	31	34	38	41	44	48								
15					49	55	60	65	70	75	80	85	90	95			
20								85	92	99	106	112	119	126	133		
25								106	114	123	131	140	148	157	165	174	
30									136	146	157	167	177	187	197	208	
35											182	194	206	218	230	242	253
40													235	248	262	276	289
45														279	294	310	325

Tabella 9. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) dei querceti governati a fustaia in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	18	21	24	27	29	32	35	37								
10				48	54	59	65	70	75							
15					78	86	94	103	111	119	127	135	143	152		
20					103	113	124	135	146	157	168	179	190	200	211	
25						141	154	168	181	195	209	222	236	249	263	
30						168	184	200	217	233	249	266	282	298	314	
35							214	233	252	271	290	309	328	347	366	385
40							244	266	287	309	331	352	374	396	418	439
45							274	298	323	347	371	396	420	445	469	494

Tabella 10. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) delle faggete in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

Area basimetrica (m^2ha^{-1})	Altezza dominante (m)															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
10	60	64	68													
15		88	94	99	105	109	114	118	123							
20			120	127	134	141	147	153	158	164						
25						172	180	187	194	201	207	213	219			
30						203	212	221	229	238	245	253	260	267		
35						234	245	255	265	274	284	292	301	309	317	
40								290	301	311	322	332	342	351	360	369
45								324	336	348	360	371	382	393	403	413
50											398	411	423	435	446	458

L'impiego delle tavole prodotte è indicato soprattutto nelle situazioni in cui sia possibile adottare procedure speditive per la determinazione dell'area basimetrica per unità di superficie: in particolare, l'ambito applicativo preferenziale è quello dei rilievi basati sulla stima relascopica dell'area basimetrica (prove relascopiche adiametriche) in corrispondenza di punti di sondaggio dislocati secondo uno schema di campionamento probabilistico (Corona, 2007).

Le osservazioni campionarie utilizzate per l'elaborazione delle tavole sono state raccolte su aree di saggio di circa 500 m^2 ed è quindi opportuno fare riferimento a questa estensione anche nella fase di raccolta dei dati per l'applicazione delle tavole stesse. In tal senso, qualora si opti per il rilievo relascopico, considerato che il diametro dei fusti a petto d'uomo non supera, in genere, 25 cm nel caso dei cedui e 50 cm nel caso delle fustaie, si consiglia l'adozione di un fattore di numerazione pari a 1 nel caso dei cedui e pari a 4 nel caso delle fustaie. Per quanto riguarda il rilievo ipsometrico l'altezza va misurata sui tre fusti (dendrotipo

“individuo d’altofusto” nel caso delle fustaie, dendrotipo “pollone” nel caso dei cedui) di maggiore dimensione presenti sull’area esplorata per la determinazione dell’area basimetrica.

Tabella 11. Valori medi attesi del volume della massa legnosa a ettaro (m^3ha^{-1}) dei cedui (esclusi quelli a prevalenza di faggio) in Sicilia, in funzione di alcuni valori di area basimetrica a ettaro (m^2ha^{-1}) e di altezza dominante (m).

<i>Area basimetrica (m^2ha^{-1})</i>	<i>Altezza dominante (m)</i>															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	17	19	21	22	23	25	26	27								
10		39	43	46	49	51	54	56	59	61						
15			65	69	74	78	82	85	89	92	96	99				
20				93	99	104	110	114	119	124	128	132	137	141		
25						131	137	143	149	155	161	166	171	176	181	186
30								173	180	186	193	199	206	212	218	223

Bibliografia

- BASSI S., BARATOZZI L., SCARELLI M., TABACCHI G., MALTONI M.L., BERTANI R., 2000. Tavole dendrometriche regionali. Assessorato Agricoltura, Ambiente e Sviluppo, Regione Emilia-Romagna, Documenti studi e ricerche 27, Bologna.
- BIANCHI M., 1984. Una tavola per la determinazione diretta della massa legnosa in piedi nelle faggete della Toscana. Ricerche sperimentali di dendrometria e auxometria. Fasc. 10. Università di Firenze, Istituto di Assestamento Forestale, Firenze.
- CUNIA T., 1987. Use of dummy variables techniques in the estimation of biomass regression. In: Wharton E.H., Cunia T. (eds.), Estimating tree biomass regressions and their error. USDA, Forest Service NE-GTR-117: 37-48.
- DEL FAVERO, 1980. Sulla stima della massa legnosa dei cedui da sottoporre a utilizzazione. Atti 2, Università di Padova, Istituto di Ecologia e Selvicoltura, Padova.
- CASTELLANI C., SCRINZI G., TABACCHI G., TOSI V., 1984. Inventario Forestale Nazionale Italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata. MAF/ISAF, Trento.
- CORONA P., 2000. I sistemi di cubatura. In: Del Favero R. (a cura di), Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto. Commissione Europea, Accademia Italiana di Scienze Forestali, Regione del Veneto, Mestre, 2000, pp. 47-54.
- CORONA P., 2007. Metodi di inventariazione delle masse e degli incrementi legnosi in assestamento forestale. Aracne Editrice, Roma.
- INFC, 2006. Procedure di posizionamento e di rilievo degli attributi di terza fase. MIPAF, CFS, CRA-Istituto per l'Assestamento Forestale e l'Alpicoltura, Trento.
- SOTTOVIA L., TABACCHI G., 1996. Tavole per la determinazione diretta della massa legnosa in piedi dei boschi cedui del Trentino. ISAF, Comunicazioni di Ricerca 1: 5-30.
- TABACCHI G., TOSI V., 1985. Tre equazioni per la stima diretta della massa legnosa delle pinete a pino silvestre italiane. Monti e Boschi 2: 50-55.
- UN-ECE/FAO, 1997. UN-ECE/FAO Temperate and Boreal Forest Resources Assessment 2000. Terms and definitions. United Nations, Geneva, Switzerland.

Tariffe di cubatura

SISTEMI DI TARIFFE DI CUBATURA PER LE FUSTAIE DI PINO D'ALEPPO, PINO LARICIO, PINO DOMESTICO IN SICILIA

Al fine di offrire uno strumento per la stima delle masse legnose dei principali soprassuoli di conifere della Sicilia si è provveduto ad approntare un insieme di sistemi di tariffe di cubatura per le seguenti specie: pino domestico, pino d'Aleppo, pino laricio.

I sistemi proposti si basano sull'elaborazione, per ciascuna specie, delle serie di inquadramento delle relazioni ipsodiametriche a cui associare le corrispondenti serie volumetriche ricavate dalle tavole di cubatura a doppia entrata dell'Inventario Forestale Nazionale.

Dati

I dati utilizzati per la costruzione dei sistemi di inquadramento delle relazioni ipsodiametriche sono stati raccolti nel corso di rilevamenti condotti dal Dipartimento di Colture Arboree dell'Università di Palermo.

Nel complesso, sono state trattate: per il pino d'Aleppo (17 aree campione), 336 coppie di valori di altezza dendrometrica (H , espressi in dm) e diametro a 1,30 m da terra (D , espresso in cm); 551 coppie per il pino domestico (20 aree campione); 517 per il pino laricio (12 aree campione). In Tabella 1 sono riportati, per ciascuna specie, i parametri statistici riassuntivi delle suddette osservazioni.

Tabella 1. Parametri statistici delle variabili considerate.

	Specie	Min	Max	Media	Dev. std.
Diametro del fusto a 1.30 m (cm)	Pino domestico	12	63	32,0	9,0
	Pino d'Aleppo	5	50	27,2	9,5
	Pino laricio	4	83	27,0	18,8
Altezza dendrometrica (dm)	Pino domestico	5,2	25,6	13,2	3,0
	Pino d'Aleppo	2,1	22,4	12,6	4,0
	Pino laricio	2,5	34,4	15,4	9,2

Formalizzazione

La distribuzione dei valori $H-D$ presenta, a parte poche osservazioni erratiche, un andamento ben delineato per tutte le specie considerate. Il primo obiettivo delle elaborazioni ha riguardato la ricerca di una forma funzionale che consentisse di interpretare in modo soddisfacente tale andamento. A tal fine, sono state saggiate le più comuni funzioni usualmente impiegate per la formalizzazione delle relazioni ipsodiametriche (Corona e Ferrara, 1990). Adeguata per tutte le specie considerate è risultata la funzione semilogaritmica:

$$H = a_0 + a_1 * \ln D \quad [1]$$

Calibrazione della curva guida

Si è inizialmente operato sui valori rilevati nelle diverse unità di campionamento separatamente per ciascuna specie. Si è provveduto all'evidenziazione dei valori aberranti previa definizione di un modello perequativo provvisorio e il successivo calcolo dei residui standardizzati: sono state quindi eliminate tutte le osservazioni con residuo standardizzato maggiore di 3. Si è infine proceduto alla

stima dei coefficienti a_0 e a_1 , ottenendo, per ciascuna specie, un'equazione generale utilizzabile come "curva guida" delle serie di inquadramento delle relazioni ipsodiametriche.

È stata altresì ipotizzata la possibilità di accorpamenti per la realizzazione di una curva guida comune tra tutte le specie o tra alcune di esse. Le ipotesi formulate sono state valutate mediante test F, seguendo le procedure suggerite da Cunia (1987) per i test di coincidenza e parallelismo tra modelli regressivi riferiti a gruppi di osservazioni diverse. I risultati di questa analisi hanno comportato il rifiuto di tutte le ipotesi di accorpamento, per cui non è risultato possibile aggregare tra di loro in alcun modo le curve guida risultanti per le tre specie considerate.

In Tabella 2 sono riportati i valori stimati del coefficiente a_1 che governa la ripidità complessiva dell'andamento ipsodiametrico rappresentato dalla curva guida di ciascuna specie. Sotto il profilo statistico, i coefficienti ottenuti risultano significativi e significativamente diversi tra le specie considerate, assumendo valori via via maggiori (maggiore ripidità dell'andamento ipsodiametrico, a parità di altri fattori) passando dal pino domestico, al pino d'Aleppo e al pino laricio.

Tabella 2. Risultati della perequazione delle relazioni ipsodiametriche mediante l'equazione [1].

<i>Specie</i>	a_1	<i>Errore standard del coefficiente</i> a_1
Pino domestico	5,802	0,373
Pino d'Aleppo	7,608	0,331
Pino laricio	10,559	0,220

ELABORAZIONE DELLE SERIE DI INQUADRAMENTO DELLE RELAZIONI IPSODIAMETRICHE E DELLE SERIE VOLUMETRICHE

Definito costante il valore di inclinazione che caratterizza le serie di inquadramento delle relazioni ipsodiametriche per ciascuna specie, si è proceduto a valutare la variabilità dell'altezza dendrometrica nell'intorno dei valori centrali del diagramma di dispersione $H-D$, al fine di individuare quelli su cui ancorare l'inquadramento. La classe diametrica che include il diametro medio della maggior parte del complesso volumetrico dei popolamenti saggiati, e che è stata scelta come riferimento per ciascuna serie ipsometrica, è la classe 30 cm per tutte le tre specie considerate.

Lo sviluppo delle serie ipsometriche viene realizzato, per ciascuna specie, adottando l'inclinazione stimata in base alla curva guida e adattando al diametro di riferimento prescelto le singole serie rappresentative di predefiniti livelli ipsometrici: in questa maniera si ottiene, per ciascuna specie, un sistema di curve ipsometriche isomorfe.

Viene adottata, come d'uso, la convenzione di individuare e denominare ciascuna serie ipsometrica tramite il valore (numero guida) che essa raggiunge in corrispondenza del diametro di riferimento. Così, a esempio, la serie ipsometrica di numero guida 24 è quella che prevede un'altezza di 24 m in corrispondenza del diametro di 30 cm.

È ovvio che le serie ipsometriche possono essere infittite quanto si vuole, a seconda della numerosità dei livelli ipsometrici a cui si ritiene utile riferirsi. Una qualsivoglia serie ipsometrica viene determinata mediante la formula [1], dove il valore di a_1 è quello riportato in Tabella 2 in corrispondenza della specie considerata e il valore di a_0 viene calcolato in funzione del numero guida (ng) della serie, secondo la formula:

$$a_0 = ng - a_1 * \ln 30 \quad [2]$$

A ogni serie ipsometrica è possibile associare una corrispondente serie volumetrica tramite l'utilizzo di una idonea tavola di cubatura a doppia entrata, che fornisca una stima del volume della massa legnosa per ogni coppia diametro-altezza.

Tenuto conto della generalità dei casi e della convenzionalità delle stime assestamentali, al cui ambito applicativo preferenzialmente afferisce l'impiego dei sistemi di tariffe, l'elaborazione delle serie volumetriche è stata condotta facendo riferimento alle tavole di cubatura generali dell'Inventario Forestale Nazionale (Castellani et al., 1984). Per le conifere dette tavole forniscono una stima della massa legnosa del fusto intero (corteccia e cimale compresi).

Nelle Tabelle 3, 4 e 5 sono esemplificate in forma tabellare alcuni insiemi di serie ipsometriche e volumetriche per ciascuna specie considerata.

Tabella 3. Sistema di tariffe per il pino domestico.

Numero guida	18		16		14		12		10		8	
	H (m)	V (m ³)										
15	14,0	0,172	12,0	0,149	10,0	0,125	8,0	0,098	6,0	0,071	4,0	0,041
20	15,6	0,334	13,6	0,295	11,6	0,254	9,6	0,210	7,6	0,164	5,6	0,115
25	16,9	0,563	14,9	0,502	12,9	0,438	10,9	0,370	8,9	0,301	6,9	0,228
30	18,0	0,866	16,0	0,776	14,0	0,683	12,0	0,586	10,0	0,486	8,0	0,384
35	18,9	1,249	16,9	1,124	14,9	0,995	12,9	0,862	10,9	0,726	8,9	0,587
40	19,7	1,720	17,7	1,552	15,7	1,380	13,7	1,205	11,7	1,025	9,7	0,842
45	20,4	2,285	18,4	2,067	16,4	1,845	14,4	1,618	12,4	1,388	10,4	1,154
50	21,0	2,951	19,0	2,674	17,0	2,394	15,0	2,109	13,0	1,820	11,0	1,527
55	21,5	3,725	19,5	3,381	17,5	3,033	15,5	2,681	13,5	2,326	11,5	1,966
60	22,0	4,612	20,0	4,192	18,0	3,769	16,0	3,341	14,0	2,910	12,0	2,474
65	22,5	5,621	20,5	5,115	18,5	4,606	16,5	4,093	14,5	3,577	12,5	3,057

Tabella 4. Sistema di tariffe per il pino d'Aleppo.

Numero guida	20		18		16		14		12		10	
	H (m)	V (m ³)										
15	14,7	0,094	12,7	0,078	10,7	0,062	8,7	0,046	6,7	0,030	4,7	0,014
20	16,9	0,256	14,9	0,219	12,9	0,183	10,9	0,147	8,9	0,111	6,9	0,075
25	18,6	0,491	16,6	0,431	14,6	0,370	12,6	0,310	10,6	0,251	8,6	0,191
30	20,0	0,800	18,0	0,711	16,0	0,623	14,0	0,536	12,0	0,449	10,0	0,362
35	21,2	1,184	19,2	1,063	17,2	0,943	15,2	0,824	13,2	0,705	11,2	0,588
40	22,2	1,644	20,2	1,486	18,2	1,330	16,2	1,175	14,2	1,021	12,2	0,869
45	23,1	2,183	21,1	1,984	19,1	1,787	17,1	1,591	15,1	1,398	13,1	1,206
50	23,9	2,804	21,9	2,558	19,9	2,315	17,9	2,074	15,9	1,836	13,9	1,601

Tabella 5. Sistema di tariffe per il pino laricio.

Numero guida	27		24		21		18		15		12	
Diametro (cm)	H (m)	V (m ³)										
15	19,7	0,176	16,7	0,149	13,7	0,122	10,7	0,096	7,7	0,070	4,7	0,044
20	22,7	0,343	19,7	0,298	16,7	0,253	13,7	0,208	10,7	0,164	7,7	0,120
25	25,1	0,580	22,1	0,512	19,1	0,443	16,1	0,374	13,1	0,306	10,1	0,238
30	27,0	0,892	24,0	0,794	21,0	0,696	18,0	0,599	15,0	0,501	12,0	0,403
35	28,6	1,281	25,6	1,149	22,6	1,017	19,6	0,884	16,6	0,752	13,6	0,620
40	30,0	1,750	27,0	1,579	24,0	1,407	21,0	1,235	18,0	1,062	15,0	0,890
45	31,3	2,302	28,3	2,086	25,3	1,869	22,3	1,652	19,3	1,434	16,3	1,216
50	32,4	2,937	29,4	2,671	26,4	2,405	23,4	2,137	20,4	1,869	17,4	1,601
55	33,4	3,657	30,4	3,337	27,4	3,015	24,4	2,693	21,4	2,370	18,4	2,045
60	34,3	4,463	31,3	4,083	28,3	3,702	25,3	3,320	22,3	2,936	19,3	2,551
65	35,2	5,355	32,2	4,912	29,2	4,466	26,2	4,019	23,2	3,570	20,2	3,119
70	35,9	6,334	32,9	5,823	29,9	5,308	26,9	4,792	23,9	4,273	20,9	3,751

IMPIEGO DEI SISTEMI DI TARIFFE

Il sistema di tariffe elaborato per ciascuna specie può essere considerato come un insieme organico e integrato di tavole a una entrata, il cui campo di impiego è definito entro i limiti dimensionali minimi e massimi riportati per ciascuna specie in Tabella 1.

Come accennato, l'insieme di ciascuna serie ipsometrica (valori di H in funzione del diametro a petto d'uomo) e della corrispondente serie volumetrica (valori di V in funzione del diametro a petto d'uomo) è identificato da un numero guida: scelto il numero guida mediante l'individuazione della serie ipsometrica appropriata per il popolamento oggetto di cubatura si utilizza la corrispondente serie volumetrica come una tavola a una entrata. Così, a esempio per il pino laricio, il valore medio atteso del volume unitario dei fusti con diametro a 1,30 m da terra pari a 40 cm in un popolamento caratterizzato da un numero guida pari a 24 è pari a 1,579 m³.

Per stabilire la serie ipsometrica appropriata a ciascun singolo popolamento si deve determinarne l'altezza dei fusti in corrispondenza del diametro di area basimetrica media. La serie ipsometrica di riferimento è quella che, in corrispondenza del diametro medio rilevato, presenta l'altezza più vicina all'altezza media rilevata. La serie volumetrica da utilizzare è quella avente lo stesso numero guida della serie ipsometrica individuata.

L'impiego dei sistemi di tariffe risulta rispondente soprattutto ai fini globali dell'asestamento forestale. In questa prospettiva e nel contesto delle tecniche asestamentali in uso, esso è caratterizzato da grande flessibilità (Corona, 2007): a seconda delle situazioni, una determinata serie volumetrica può essere indifferentemente applicata a livello di compresa, particella, sottoparticella o a livello di gruppi omogenei di particelle o sottoparticelle accorpate.

Bibliografia

CASTELLANI C., SCRINZI G., TABACCHI G., TOSI V., 1984. *Inventario Forestale Nazionale Italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata*. MAF/ISAF, Trento.

CORONA P., FERRARA A., 1990. *IPSO: un programma per la perequazione analitica della curva ipsometrica*. - *Monti e Boschi* 5: 50-54.

CORONA P., 2007. *Metodi di inventariazione delle masse e degli incrementi legnosi in assestamento forestale*. Aracne Editrice, Roma.

CUNIA T., 1987. Use of dummy variables techniques in the estimation of biomass regression. In: Wharton E.H., Cunia T. (eds.), *Estimating tree biomass regressions and their error*. USDA, Forest Service NE-GTR-117: 37-48.

Sistemi di fattori di espansione della biomassa

INTRODUZIONE

La biomassa di una cenosi forestale è definita dal peso allo stato secco di tutti gli organismi che in un dato momento sono presenti nella comunità stessa (BERNETTI, 2005). La componente della biomassa riferita ai soli alberi forestali è definita biomassa arborea, formata da biomassa epigea e ipogea.

La stima della biomassa arborea è di particolare rilevanza per approntare una gestione sostenibile delle risorse forestali e per le conoscenze relative ai flussi energetici e di nutrienti che si sviluppano in un ecosistema forestale. La Convenzione quadro sui cambiamenti climatici (UNFCCC), e in particolare il Protocollo di Kyoto, riconoscono la capacità fissativa di carbonio atmosferico attraverso i cosiddetti serbatoi forestali e sottolineano la necessità di monitorare, preservare e aumentare gli stock di carbonio, dal momento che l'assorbimento del carbonio atmosferico da parte delle foreste è considerato un meccanismo di mitigazione dei cambiamenti climatici.

Nei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo, una stima più accurata della biomassa e del carbonio accumulato nelle diverse formazioni forestali può fornire un importante contributo per la messa a punto di strategie efficaci per contrastare o ridurre gli effetti degradativi innescati e/o amplificati dai cambiamenti climatici globali. Inoltre, è stato recentemente sottolineato il ruolo significativo, in termini di accumulo di biomassa e di carbonio, svolto dalla vegetazione preforestale, ampiamente diffusa nell'area mediterranea, in particolare in regioni quali la Sicilia, dove la superficie a macchia, arbusteti e garighe è stimata superiore a 100.000 ha (CULLOTTA *et al.*, 2000; COSTA e LA MANTIA, 2005).

Le metodologie applicabili per la stima della biomassa differiscono a seconda degli obiettivi, degli errori tollerabili, dei dati disponibili, della scala di riferimento, dei costi sostenibili, ecc.

In linea generale, si possono differenziare i metodi diretti, basati, secondo molteplici modalità, sul campionamento distruttivo della biomassa, e i metodi indiretti che basano la stima della biomassa su dati inventariali ai quali sono applicate opportune equazioni (*biomass equations*, BE) o fattori di biomassa (*biomass factors*, BF).

La necessità di ottenere stime sempre più accurate della biomassa, e conseguentemente, del carbonio accumulato nelle foreste, ha favorito il moltiplicarsi di esperienze condotte al fine di determinare equazioni e fattori di biomassa di validità generale o specifiche per zone ecologiche o per specie, valide sia per singoli alberi sia per popolamenti.

Come dimostra la bibliografia sull'argomento, gli studi condotti nell'ambito della regione mediterranea europea sono però limitati, e i risultati in gran parte non soddisfacentemente applicabili a valutazioni di biomassa su scala vasta (regionale o nazionale).

In questo contesto si inserisce il presente documento per delineare innanzitutto un quadro di sintesi in merito alle due principali metodologie indirette per la stima della biomassa (equazioni e fattori di biomassa), valutandone le possibilità e i limiti applicativi su ampia scala. In secondo luogo, il documento intende fornire una guida e un supporto operativo per la valutazione della biomassa delle specie e formazioni forestali mediterranee, con particolare riferimento agli ambienti forestali della Sicilia.

1. METODOLOGIE INDIRETTE PER LA STIMA DELLA BIOMASSA

I metodi indiretti stimano il dato relativo alla biomassa a partire da dati inventariali, attraverso l'applicazione di opportune equazioni o fattori di biomassa.

Le equazioni per la predizione delle componenti della biomassa, costruite su alberi campione, sono messe a punto a partire da variabili dendrometriche di facile rilievo (equazioni allometriche), quali diametro a petto d'uomo e, meno frequentemente, altezza totale del fusto. Questo approccio è preferibilmente utilizzato quando sono disponibili dati inventariali di dettaglio, a livello di singolo albero.

I fattori di biomassa sono invece più diffusamente impiegati in presenza di valori aggregati del parametro considerato (a esempio, il volume dendrometrico del popolamento). I fattori di biomassa possono essere utilizzati per convertire il dato volumetrico in biomassa (fattore di conversione)

oppure per operare anche una espansione o riduzione del dato (fattore di espansione) al fine di ottenere il valore di una determinata componente della biomassa arborea (foglie, rami, radici..).

In ogni caso, sia i fattori di biomassa che le equazioni sono strettamente dipendenti dalle definizioni applicate per la loro formulazione e dalle condizioni per le quali sono stati sviluppati.

1.1. EQUAZIONI DI BIOMASSA

Il ricorso a equazioni allometriche, in grado di predire la biomassa sulla base di attributi dendrometrici facilmente misurabili, è il metodo più usato per applicazioni operative.

Sono disponibili database che riportano equazioni di biomassa utilizzabili per grandi aree geografiche (Nord America, Europa, Australia). Tuttavia, per la regione mediterranea le equazioni disponibili sono ancora in numero limitato. Inoltre, almeno per il continente europeo, la maggior parte delle equazioni pubblicate è stata sviluppata a partire da alberi campione saggiati per aree di studio specifiche o estratti da popolazioni caratteristiche di piccole regioni, difficilmente estrapolabili ad ambiti regionali o nazionali (ZIANIS *et al.*, 2005).

In Italia sono state sviluppate equazioni di biomassa con riferimento alle seguenti specie: corbezzolo (BRANDINI e TABACCHI, 1996), eucalitti (MENGUZZATO, 1988), faggio (CALAMINI e GREGORI, 2001; FATTORINI *et al.*, 2004), pini mediterranei (BALDINI *et al.*, 1989), douglasia (MENGUZZATO e TABACCHI, 1986), leccio (SUSMEL *et al.*, 1976), frassino e olmo (ALBERTI *et al.*, 2005), abete rosso, abete bianco, larice, pino silvestre, pino cembro, pino nero, castagno e carpino nero (FATTORINI *et al.*, 2004).

Da una recente monografia che raccoglie oltre 600 equazioni per la stima della biomassa sviluppate in Europa per differenti specie (ZIANIS *et al.*, 2005) e da ulteriori approfondimenti bibliografici sono state evidenziate le informazioni attualmente disponibili per specie e formazioni mediterranee. In Tabella A.1 (Appendice) sono riportate equazioni di biomassa riferite alle seguenti specie arboree: *Abies* spp., *Acer pseudoplatanus*, *Alnus glutinosa*, *Alnus incana*, *Arbutus unedo*, *Castanea sativa*, *Eucalyptus* spp., *Fagus sylvatica*, *Ostrya carpinifolia*, *Pinus nigra*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, *Populus tremula*, *Quercus conferta*, *Quercus ilex*, *Quercus petraea*, *Quercus pyrenaica*, *Quercus* spp., *Ulex parviflorus*. Complessivamente sono riportate 162 equazioni di biomassa, la maggior parte delle quali fornisce un valore di biomassa riferito a componenti arboree epigee: biomassa epigea totale (34), biomassa dei rami (29), biomassa del fusto con corteccia (21) e biomassa fogliare (17).

Dal momento che le sperimentazioni relative alla stima della biomassa ipogea sono molto limitate, per gli elevati costi di rilievo e le difficoltà operative, risulta piuttosto scarsa la disponibilità di equazioni riferite alle componenti radicali, in particolare alle radici fini.

Nella gran parte di equazioni di biomassa per le specie arboree l'unica variabile indipendente è rappresentata dal diametro del fusto, misurato a petto d'uomo (convenzionalmente 1,30 m). Tra i modelli adottati il più diffuso è quello potenziale:

$$B = a_0 D^{a_1}$$

espresso spesso in forma linearizzata

$$\log(B) = b_0 + a_1 \log(D)$$

dove: B = massa anidra di una determinata componente arborea (espressa in kg o t); D = diametro del fusto a 1,30 m, (espresso in cm o, meno frequentemente, in mm); $b_0 = \log(a_0)$.

I parametri a_0 e a_1 sono coefficienti variabili in relazione alla specie, età del popolamento, forma di governo e trattamento, caratteristiche pedoclimatiche, ecc. (ZIANIS e MENCUCCHINI, 2004) e definiti in maniera tale da garantire la migliore capacità predittiva da un punto di vista strettamente statistico.

PILLI *et al.* (2006), nell'ambito di una allometria funzionale, ovvero basata su presupposti fisiologici (modello WBE, WEST *et al.*, 1999), propongono la costanza del parametro a_1 , indipendentemente dalla specie ma in funzione di tre fasi ontogenetiche (fase giovanile = 2,02; fase adulta = 2,67; fase matura = 2,51) identificate in relazione al rapporto tra l'incremento di altezza del fusto arboreo (δH) e l'incremento di

diametro (δD), nel senso che a_1 tende ad aumentare fino al momento in cui $\delta H/\delta D$ raggiunge il suo valore massimo, e poi diminuisce.

Gran parte delle equazioni riportate in Tabella A.1 (Appendice) sono il risultato di esperienze condotte prevalentemente nei Paesi dell'Europa centro-settentrionale, mentre tra i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo, un contributo significativo è dato da Spagna, Italia, Grecia e Portogallo. Per l'Italia sono riportate 27 equazioni, di cui oltre la metà è riferita alla biomassa epigea totale o epigea legnosa totale, riferita prevalentemente a boschi cedui. Per quanto riguarda il territorio siciliano, un contributo specifico interessa la stima della biomassa in un bosco ceduo di leccio nell'area geografica del Monte Etna (LEONARDI e RAPP, 1982).

In generale si tratta di equazioni sviluppate in contesti geografici specifici e circoscritti, per le quali i coefficienti di regressione sono frequentemente calibrati sulla base di osservazioni con limitato campo di variazione ipsodiametrico: gli intervalli di diametro più ampi si registrano per *Quercus pyrenaica* (2,5-46 cm), *Fagus sylvatica* (5,7-62 cm), *Quercus ilex* (20-90 cm). Pertanto una loro applicazione su scala più ampia può portare a stime di biomassa molto approssimative.

1.2. FATTORI DI BIOMASSA

A partire dai dati del volume dendrometrico/cormometrico dei singoli soggetti arborei sono possibili diverse trasformazioni per la stima inventariale della biomassa arborea totale, attraverso appositi fattori di conversione:

- il volume dendrometrico/cormometrico può essere trasformato in volume della massa totale e poi in biomassa arborea totale comprensiva della ramaglia, delle radici e delle foglie;
- il volume dendrometrico/cormometrico può essere convertito in peso secco e poi trasformato in biomassa arborea totale comprensiva della ramaglia, delle radici e delle foglie;
- il volume dendrometrico/cormometrico può essere direttamente trasformato in biomassa totale.

La conversione del volume di una componente arborea in biomassa è operata attraverso un fattore definito dal rapporto tra la massa anidra e il volume fresco della componente ($t m^{-3}$): questo rapporto coincide con la densità basale del legno qualora sia considerata la sola biomassa legnosa sotto corteccia.

Al fine di rendere omogenee le informazioni relative alla biomassa forestale ottenute dalle diverse stime, l'Intergovernmental Panel on Climate Change, in uno specifico documento (Good Practice Guidance for Land Use, Land – Use Change and Forestry, IPCC, 2003) individua, come convenzionali, una serie di valori di densità basale differenziati per genere o specie arboree, validi nell'ambito di una determinata regione geografica. Non essendo specificato altrimenti, per l'area mediterranea è possibile fare riferimento ai valori di densità basale riportati per specie e generi comuni alle regioni boreale e temperata (Tabella A.2 in Appendice). Nel medesimo documento sono riportati i valori medi unitari di volume legnoso e di biomassa epigea dei boschi di ciascun Paese: a partire da questi valori è possibile ricavare un fattore di biomassa generico, a livello nazionale, che per l'Italia è pari a 0,51.

Se la conversione del volume in biomassa interessa componenti arboree non legnose (a esempio, la corteccia) è opportuno applicare fattori calibrati per la specifica componente oppure applicare un opportuno correttivo al valore di densità basale della componente legnosa. Valori generali a livello globale per conifere e latifoglie sono riportati in Tabella A.3 (Appendice).

Valori convenzionali per la trasformazione del volume di massa cormometrica in volume di massa epigea sono proposti nel documento elaborato da IPCC (2003) che, oltre al valore medio, riporta l'intervallo di variazione del fattore di biomassa considerato: il valore minimo è riferito a popolamenti giovani o a boschi poveri di provvigione, il valore massimo a popolamenti adulti o boschi con elevata provvigione (Tabella A.4 in Appendice). Si tratta comunque di valori generali che, se applicati a casi specifici, possono fornire stime con elevato grado di incertezza (Somogyi et al., 2006).

Per il territorio italiano, APAT (2006) ha identificato un insieme di fattori di espansione del volume cormometrico/ dendrometrico e di valori di densità basale che, oltre a essere differenziati in relazione alla specie o al genere, variano anche in funzione della tipologia colturale (Tabella 1).

Tabella 1. Coefficienti di espansione del volume legnoso e valori di densità basale per differenti specie/genere/formazioni in Italia, secondo APAT (2006).

<i>Specie/genere/formazioni</i>	<i>Volume della biomassa epigea / Volume cormometrico</i>	<i>Peso secco / Volume fresco (t m⁻³)</i>	<i>Tipologia colturale</i>
Pini mediterranei	1,53	0,53	fustaia
Altre conifere	1,37	0,43	fustaia
Fagus sylvatica	1,36	0,61	fustaia
Quercus cerris	1,45	0,69	fustaia
Quercus spp.	1,42	0,67	fustaia
Altre latifoglie	1,47	0,53	fustaia
Fagus sylvatica	1,36	0,61	ceduo
Castanea sativa	1,33	0,49	ceduo
Acer spp.	1,28	0,66	ceduo
Quercus spp.	1,39	0,65	ceduo
Quercus cerris	1,23	0,69	ceduo
Querce sempreverdi	1,45	0,72	ceduo
Altre latifoglie	1,53	0,53	ceduo
Conifere	1,38	0,43	ceduo
Eucaliptus spp.	1,33	0,54	ceduo
Altre latifoglie	1,45	0,53	ceduo
Populus spp.	1,24	0,29	piantagioni
Altre latifoglie	1,53	0,53	piantagioni
Conifere	1,41	0,43	piantagioni
Altro	1,46	0,48	piantagioni
Foreste rupestri	1,44	0,52	protettivo
Foreste ripariali	1,39	0,41	protettivo
Arbusteti	1,49	0,63	protettivo

La stima della biomassa totale di un popolamento include la stima della componente ipogea. In genere, si assume che la biomassa radicale vari nel tempo in maniera proporzionale alla biomassa epigea (AA.VV., 2002; Ponce - Hernandez, 2005). I valori del rapporto tra biomassa ipogea/biomassa epigea, riportati da diverse fonti bibliografiche, variano a seconda delle condizioni del popolamento di riferimento, in particolare risultano differenziati in relazione alla specie, al genere, alla tipologia colturale, all'età (Tabella 2). Recentemente Galvagni et al. (2006), per le specie forestali presenti in Italia, hanno stimato un rapporto tra le due componenti della biomassa pari a 0,24, senza differenziazione tra conifere e latifoglie.

Tabella 2. Fattori di stima della biomassa radicale per specie/genere/formazioni presenti anche in ambiente mediterraneo.

<i>Specie/genere/formazioni</i>	<i>Biomassa ipogea / Biomassa epigea (R)</i>	<i>Tipologia colturale</i>	<i>Riferimento</i>
Pini mediterranei	0,33	fustaia	APAT, 2006
Altre conifere	0,29	fustaia	APAT, 2006
Fagus sylvatica	0,2	fustaia	APAT, 2006
Quercus cerris	0,24	fustaia	APAT, 2006
Quercus spp.	0,2	fustaia	APAT, 2006
Altre latifoglie	0,24	fustaia	APAT, 2006
Fagus sylvatica	0,2	ceduo	APAT, 2006
Castanea sativa	0,28	ceduo	APAT, 2006
Acer spp.	0,26	ceduo	APAT, 2006
Quercus cerris	0,24	ceduo	APAT, 2006
Querce sempreverdi	1	ceduo	APAT, 2006

Quercus spp.	0,2	ceduo	APAT, 2006
Altre latifoglie	0,24	ceduo	APAT, 2006
Conifere	0,29	ceduo	APAT, 2006
Eucaliptus spp.	0,43	ceduo	APAT, 2006
Altre latifoglie	0,24	ceduo	APAT, 2006
Populus spp.	0,21	piantagioni	APAT, 2006
Altre latifoglie	0,24	piantagioni	APAT, 2006
Conifere	0,29	piantagioni	APAT, 2006
Altro	0,28	piantagioni	APAT, 2006
Foreste rupestri	0,42	protettivo	APAT, 2006
Foreste ripariali	0,23	protettivo	APAT, 2006
Arbusteti	0,62	protettivo	APAT, 2006
Macchia a Pistacia e Juniperus	0,49		Peressotti et al., 1999
Macchia alta con Quercus ilex	0,63		Gratani et al., 1980
Macchia alta con Quercus ilex	0,74		Gratani et al., 1980
Latifoglie (biomassa epigea < 75 t ha ⁻¹)	0,43		IPCC,2003
Latifoglie (biomassa epigea 75-150 t ha-1)	0,26		IPCC,2003
Latifoglie (biomassa epigea > 75 t ha-1)	0,24		IPCC,2003
Quercus spp. (biomassa epigea >70 t ha-1)	0,35		IPCC,2003
Eucalitto (biomassa epigea < 50 t ha-1)	0,45	piantagioni	IPCC,2003
Eucalitto (biomassa epigea 50 -150 t ha-1)	0,35	piantagioni	IPCC,2003
Eucalitto (biomassa epigea >150 t ha-1)	0,2	piantagioni	IPCC,2003
Quercus ilex	0,05 (<i>Radici fini/biomassa totale</i>)	ceduo (54 anni)	Fioravanti, 1999

Per la trasformazione del dato volumetrico inventariale in biomassa totale è possibile ricorrere all'impiego fattori combinati di conversione ed espansione: un esempio generale per latifoglie e conifere è riportato in Tabella A.5 (Appendice).

2. SVILUPPO DI EQUAZIONI DI BIOMASSA PER L'AMBIENTE SICILIANO

Al fine di rendere disponibili equazioni di biomassa che possano essere “globalmente” utilizzate come riferimento in ambito siciliano sono state considerate tutte le equazioni di biomassa disponibili per le specie più rappresentative dei principali tipi forestali identificati per la Sicilia (LA MANTIA *et al.*, 2001). Per ogni specie, sono state confrontate le equazioni disponibili per ciascuna componente in funzione dei diametri, tenendo conto, se riportato, del campo di variazione diametrico sulla base del quale sono state costruite le singole equazioni.

In genere, per equazioni riferite alla medesima componente si osservano andamenti molto simili, con valori che si discostano all'aumentare del diametro, prevalentemente a partire dalla classe 30 cm. È stato quindi possibile istituire relazioni generali, nella forma:

$$B = a_0 D^{a_1}$$

dove: B = biomassa di una determinata componente arborea (t); D = diametro del fusto a petto d'uomo (cm).

Sulla base degli andamenti generali riscontrati sono stati quindi stimati i parametri a_0 e a_1 per ciascuna singola specie forestale e componente arborea (Tabella 3).

Tabella 3. Equazioni di biomassa generali elaborate per la Sicilia (i coefficienti a_0 e a_1 fanno riferimento al modello $B = a_0 D^{a_1}$).

<i>Specie</i>	<i>Componente</i>	a_0	a_1
<i>Fagus sylvatica</i>			
	biomassa rami	0,000230	3,779062
	biomassa fogliare	0,003444	2,407169
	biomassa del fusto con corteccia	0,154091	2,352781
	biomassa ipogea	0,015153	2,591592
<i>Quercus ilex</i>			
	biomassa rami	0,170894	1,828178
	biomassa fogliare	0,019138	1,980124
	biomassa del fusto con corteccia	0,071010	2,450606
	biomassa ipogea	0,106725	2,132477
<i>Alnus glutinosa</i>			
	biomassa rami	0,008603	2,648669
	biomassa del fusto con corteccia	0,173645	2,271755
<i>Quercus spp.</i>			
	biomassa totale epigea	0,076200	2,512300

3. USO DELLE EQUAZIONI E DEI FATTORI DI BIOMASSA E FONTI DI INCERTEZZA ESTIMATIVA

In Figura 1 sono indicate le modalità operative per l'utilizzo delle equazioni e dei fattori di biomassa riportate nel presente documento, con riferimento alle formazioni forestali della Sicilia.

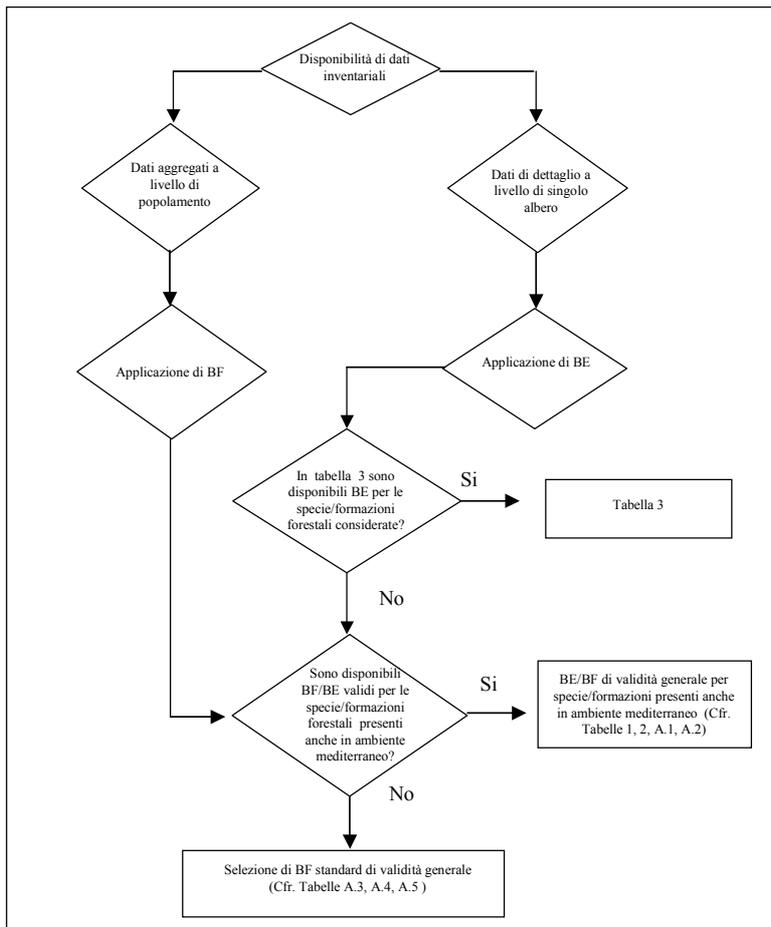


Figura 1. Selezione di equazioni allometriche o fattori di biomassa in funzione della disponibilità dei dati in Sicilia.

Molteplici fonti di errore possono determinare un rilevante grado di incertezza della stima della biomassa su vaste aree forestali mediante i metodi sopra esposti. Oltre agli errori connessi alla fase di campionamento, misurazione ed elaborazione dei dati inventariali, può aggiungersi l'applicazione di equazioni o fattori di biomassa non idonei, in quanto sviluppati per differenti condizioni stazionali, specie o gruppo di specie o derivate da una particolare situazione storica e gestionale dei popolamenti campione.

Recenti studi, riferiti alla stima della biomassa epigea di formazioni mediterranee, hanno dimostrato un'incertezza variabile tra il 5 e il 17% dovuta all'applicazione dei fattori di biomassa (Sabatè et al., in Somogyi et al., 2006).

È stato osservato che i valori dei fattori di biomassa tendono a variare in funzione del volume dendrometrico del popolamento (FANG *et al.*, 2001): fattori più alti sono riscontrati per bassi valori di volume e diminuiscono in maniera esponenziale fino a un valore pressoché costante all'aumentare del volume. Infine, essi sembrano essere influenzati anche dalle condizioni stazionali, con particolare riferimento alla fertilità del suolo (WIRTH *et al.*, 2003).

Per applicare in maniera corretta un'equazione o un fattore di biomassa è opportuno conoscere alcuni elementi relativi alla sua formulazione, in particolare:

- la specie di riferimento e la tipologia culturale (ceduo o fustaia),
- le componenti incluse nella definizione di biomassa utilizzata,
- il livello di applicazione del fattore/equazione di biomassa (albero o popolamento),
- ogni informazione possibile relativa al grado di incertezza associata all'equazione o al fattore.

4. CONCLUSIONI

Il crescente interesse in merito alla quantificazione delle biomasse forestali ha incentivato sia la ricerca di nuove tecniche di rilevamento e di stima sia il perfezionamento delle metodologie tradizionali. Applicazioni della tecnologia LiDAR (BORTOLOT e WYNNE, 2005; LEFSKY *et al.*, 2005), impiego di foto aeree e di immagini telerilevate, anche multi-temporali, rappresentano metodi alternativi ai sistemi tradizionali per la stima indiretta della biomassa che, integrando i dati ottenuti a terra, possono incrementare l'accuratezza della stima riducendo i costi operativi.

Tuttavia lo sviluppo di nuove tecnologie non diminuisce, a livello operativo, l'importanza dell'impiego di equazioni e fattori di biomassa. In ambiente mediterraneo, l'applicazione di questi strumenti è però condizionata dalla carenza di esperienze sperimentali su vasta scala.

Le equazioni generali qui predisposte (Tabella 3) intendono, per quanto possibile, contribuire a colmare questa lacuna. A queste è possibile affiancare i fattori di biomassa riportati nelle Tabelle 1 e 2.

Il presente documento, oltre a sottolineare l'importanza di selezionare e applicare in modo corretto sia le equazioni che i fattori di biomassa, rappresenta pertanto una prima raccolta organica di strumenti per la stima della biomassa nella regione mediterranea, e in particolare in Sicilia.

BIBLIOGRAFIA

- APAT. (2006) – *Italian Greenhouse Gas Inventory 1990-2004*. National Inventory Report. Roma.
- AA.VV. (2002) - *Assorbimento e fissazione di carbonio nelle foreste e nei prodotti legnosi*. Rapporto APAT 21/2002.
- ALBERTI G., CANDIDO P., PERESSOTTI A., TURCO S., PIUSSI P., ZERBI G. (2005) - *Aboveground biomass relationships for mixed ash (*Fraxinus excelsior* L. and *Ulmus glabra* Hudson) stands in Eastern Prealps of Friuli Venezia Giulia (Italy)*. *Annals of Forest Science*, 62 (8): 831 - 836.
- BALDINI S., BERTI S., CUTINI A., MANNUCCI M., MERCURIO R., SPINELLI R. (1989) - *Prove sperimentali di primo diradamento in un soprassuolo di pino marittimo (*Pinus pinaster* Ait.) originato da incendio: aspetti selvicolturali, di utilizzazione e caratteristiche della biomassa*. *Ann. Ist. Sper. Selvicoltura*, 20: 385 – 436.
- BERNETTI G. (2005) - *Atlante di selvicoltura*. EdAgricole, Bologna.
- BORTOLOTTI Z.J., WYNNE R.H. (2005) - *Estimating forest biomass using small footprint LiDAR data: An individual tree-based approach that incorporates training data*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (6): 342 - 360.
- BRANDINI P., TABACCHI G. (1996) - *Biomass and volume equations for holm oak and strawberry-tree in coppice stands of Southern Sardinia*. *ISAFSA Comunicazioni di Ricerca*, 96 (1): 59 – 69.
- CALAMINI G., GREGORI E. (2001) - *Study in a beech stand of Central Italy: allometric relations for the above ground biomass estimation*. *L'Italia Forestale e Montana*, 56 (1): 1 – 3.
- COSTA G., LA MANTIA T. (2005) - *Il ruolo della macchia mediterranea nel sequestro del carbonio*. *Forest@*, 2 (4): 378 - 387.
- CULLOTTA S., LA MANTIA T., BARBERA G., (2000) – *Descrizione e ruolo dei sistemi agroforestali in Sicilia*. Pp: 429 - 438. In: *Atti del II Congresso Nazionale di Selvicoltura, Venezia 24-27 giugno 1998, Vol. IV*.
- FANG J.Y., CHEN A., PENG C., ZHAO S., CI L. (2001) - *Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998*. *Science*, 292: 2320 – 2322.
- FAO (1986) - *Forest Resources in ECE region (Europe, USSR, North America)*.
- FATTORINI L., GASPARINI P., NOCETTI M., TABACCHI G., TOSI V. (2004) – *Above-ground tree phytomass prediction and preliminary shrub phytomass assessment in the forest stand of Trentino*. *Studi Trent. Sci. Nat. Acta Biol.*, 81, Suppl.1: 75 - 121.
- FIORAVANTI R. (1999) - *Produttività ed allocazione della biomassa in una lecceta della Tenuta Presidenziale di Castelporziano*. Tesi di Laurea, Università degli Studi della Tuscia, Viterbo.
- GALVAGNI D., GREGORI E., ZORN G. (2006) – *Modelli di valutazione della biomassa radicale di popolamenti forestali*. *L'Italia Forestale e Montana*, 2: 101 - 118.
- GRATANI L., AMADORI M., VERI L., BRUNO F., PORRI M. (1980) - *Determinazione di un metodo di stima della biomassa nella macchia di Castelporziano (Lazio)*. *Annali di Botanica*, XXXI (1): 131-151.
- IPCC (2003) - *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*. Institute for Global Environmental Strategies. (IGES), Hayama.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S. (2001) – *Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia*. *L'Italia Forestale e Montana*, 1: 24 - 47.
- LEFSKY M.A., TURNER D.P., GUZY M., COHEN W.B. (2005). *Combining Lidar estimates of aboveground biomass and Landsat estimates of stand age for spatially extensive validation of modeled forest productivity*. *Remote Sensing of Environment*, 95 (4): 549 - 558.
- LEONARDI S., RAPP M. (1982) - *Phytomasse et mineralomase d'un taillis de Chene Vert du Massif de l'Etna*. *Ecologia Mediterranea*, 8: 125 – 138.
- LOWE H., SEUFERT G., RAES F. (2000) - *Comparison of methods used within Member States for estimating CO2 emissions and sinks according to UNFCCC and UE Monitoring Mechanism: forest and other wooded land*. *Biotechnol. Agr. Soc. Env.*, 4: 315 - 319.
- MENGUZZATO G. (1988) - *Modelli di previsione del peso fresco, della biomassa e del volume per pino insigne ed eucalitti nell'Azienda Massanova (Salerno)*. *Ann. Ist. Sper. Selvicoltura*, 19: 323 – 354.

- MENGUZZATO G., TABACCHI G. (1986) - *Prove di diradamento su Pseudotsuga menziesii in Calabria. Ambiente, tavole di cubatura e della biomassa epigea*. Ann. Ist. Sper. Selvicoltura, 17: 55 – 93.
- PERESSOTTI A., ASUNIS C., CESARACCIO C (1999) - *Stima della biomassa e della copertura vegetale di un ecosistema mediterraneo a macchia: il caso della riserva integrale Arca di Noè*. Collana Tecnico-scientifica INAPA, Monitoraggio di un ecosistema a macchia mediterranea: misure ecofisiologiche e micrometeorologiche. Quaderno, 6: 81 - 86.
- PILLI R., ANFONDILLO T., CARRER M. (2006) – *Towards a functional allometry for estimating forest biomass*. Forest Ecology and Management, 237: 583 - 593.
- PIGNARD G., DUPOUEY J., ARROUAYAS D., LOUSTAU D. (2000) - *Carbon stocks estimates for French Forest*. Biotechnol. Agron. Soc Environ., 4 (4): 285 - 289.
- PONCE-HERNANDEZ R. (2004) - *Assessing carbon stocks and modelling win-win scenarios of carbon sequestration through land-use changes*. FAO, Roma.
- SOMOGYI Z., CIENCIALA E., MAKKIPA R., MUUKKONEN P., LEHTONEN A., WEISS P. (2006) - *Indirect methods of large-scale forest biomass estimation*. Eur. J. Forest Res., on line.
- SUSMEL L., VIOLA F., BASSALO G. (1976) - *Ecologia della Lecceta del Supramonte di Orgosolo. (Sardegna Centro-orientale)*. Analisi de Centro di Economia Montana delle Venezie, 10: 1.
- WEST G.B., BROWN J.H., ENQUIST B.J. (1999) - *A general model for the structure and allometry of plant vascular systems*. Nature, 400: 664 – 667.
- WIRTH C., SCHULZE E.D., SCHWALBE G., TOMCZYK S., WEBER G., WELLER E., BOTTCHER H., SCHUMACHER J., VETTER J. (2003) - *Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes “Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls”*. Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena.
- ZIANIS D., MENCUCCINI M. (2004) - *On simplifying allometric analyses of forest biomass*. Forest Ecology and Management, 187 (2-3): 311 - 332.
- ZIANIS D., MUUKKONEN P., MÄKIPÄÄ R., MENCUCCINI M. (2005) - *Biomass and stem volume equations for tree species in Europe*. Silva Fennica, Monograph 4.

Tabella A.1. Equazioni di biomassa per specie di ambiente mediterraneo (Dm = diametro minimo degli alberi campione, DM = diametro massimo degli alberi campione, Hm = altezza massima degli alberi campione).

Specie	Paese	Componenti	Unità di misura		Equazione	a	b	c	Dm	DM	Hm	HM	Forma di governo
			biomassa	altezza									
<i>Abies spp.</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	cm	$y = aD^b$	0,00052193	1,459						
<i>Abies spp.</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	cm	$y = a + bD^c$	0,0060722	0,00000958	2,5578	3,7	31			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,7606	2,5189		3,5	28			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,7018	2,5751		10	173			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	mm	$y = aD^b$	0,00079	2,28546		10	173			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	mm	$y = aD^b$	0,00309	2,022126		122	283			
<i>Alnus glutinosa</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,0859	2,3537						
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa rami	kg	mm	$y = aD^b$	0,000003	2,880598		122	283			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa rami	kg	mm	$y = aD^b$	0,0000006	3,28106		10	173			
<i>Alnus glutinosa</i>	Regno Unito	Biomassa rami	kg	cm	$y = aD^b$	0,0146	2,5191						
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa fogliare	kg	mm	$y = aD^b$	0,000003	2,547045		122	283			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa fogliare	kg	mm	$y = aD^b$	0,00239	1,32535		10	173			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	mm	$y = aD^b$	0,005609	1,888345		122	283			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	mm	$y = aD^b$	0,00119	2,17247		10	173			
<i>Alnus glutinosa</i>	Regno Unito	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b$	0,0841	2,4501		7	93			
<i>Alnus glutinosa</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	mm	$y = aD^b$	0,0003	2,42847		89	246			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	mm	$y = aD^b$	0,000499	2,337592		7	93			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa rami	kg	mm	$y = aD^b$	0,00001	2,65455		7	93			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa rami	kg	mm	$y = aD^b$	0,0001	2,297058		89	246			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa fogliare	kg	mm	$y = aD^b$	0,00001	2,44406		7	93			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa fogliare	kg	mm	$y = aD^b$	0,000076	2,02604		89	246			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	mm	$y = aD^b$	0,00029	2,40128		7	93			
<i>Alnus incana</i>	Svezia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	mm	$y = aD^b$	0,000368	2,335763		89	246			
<i>Arbutus unedo</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = a + bD^c$	-2,7563	0,3045		6	15			ceduo
<i>Arbutus unedo</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = a + bD^c$	-2,8816	0,2639		6	15			ceduo
<i>Arbutus unedo</i>	Italia	Biomassa chioma	kg	cm	$y = a + bD^c$	0,1253	0,040617		6	15			ceduo
<i>Castanea sativa</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa	kg	cm	$y = a + bD^c + cD^2$	0,21616	0,014282	0,044323	6	42,5		25	
<i>Castanea sativa</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = a + bD^c + cD^2$	0,8104	0,01074	0,20189	4	42,5		25	ceduo
<i>Eucalyptus spp.</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-1,762	2,2644		4	25			
<i>Fagus sylvatica</i>	Austria	Biomassa epigea totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D) + c \ln(H)$	-2,872	2,095	0,678					
<i>Fagus sylvatica</i>	Belgio	Biomassa epigea totale	g	cm	$\log(y) = a + b \log(D)$	2,85102	2,0666		35	78,8			
<i>Fagus sylvatica</i>	Repub. Ceca	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,453	2,139		5,7	62,1			

Specie	Paese	Componenti	Unità di misura		Equazione	a	b	c	Dm	DM	Hm	HM	Forma di governo
			biomassa	diametro altezza									
<i>Fagus sylvatica</i>	Germania	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,1143	2,503						
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,0306	2,347	0,59					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,0798	2,601						
<i>Fagus sylvatica</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,1315	2,4321		4	34,5			
<i>Fagus sylvatica</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$\log(y) = a + \log[H(D^2)] b$	-1,7194	1,0414		12	64	11		29
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,04736	1,80521	0,99603					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,16885	2,44639	-0,1431					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,00868	2,25454	1,09409					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,03927	2,01361	0,87832					
<i>Fagus sylvatica</i>	Belgio	Biomassa rami	g	cm	$\log(y) = a + b \log(D)$	0,41439	3,18522		35	78,8			
<i>Fagus sylvatica</i>	Repub. Ceca	Biomassa rami	kg	cm	$y = aD^b$	0,021	2,471		5,7	62,1			
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-6,2524	3,328	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa rami	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,0114	3,682	-1,031					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa rami	kg	cm	$y = aD^b$	0,002	3,265	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	$y = aD^b$	0,0317	2,3931	-	4	34,5			
<i>Fagus sylvatica</i>	Svezia	Biomassa rami	kg	cm	$\log(y) = a + \log[H(D^2)] b$	-3,2114	1,2481	-	12	64	11		29
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa chioma	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,0183	3,614	-1,078					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa chioma	kg	cm	$y = aD^b$	0,0031	3,161	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	cm	$y = aD^b$	0,0002595	-	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	cm	$y = a + bD^c$	0,00686	0,0000192	2,4658					
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa fogliare	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-4,8599	2,1935	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa fogliare	kg	cm	$y = aD^b$	0,00295	2,43854	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa fogliare	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,02408	3,04567	-1,51571					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa fogliare	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,0167	2,951	-1,101					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa fogliare	kg	cm	$y = a + bD^c$	0,375	0,0024	2,517					
<i>Fagus sylvatica</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	$y = aD^b$	0,0145	1,9531	-	4	34,5			
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa radici fini	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-4,1302	2,6099	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa radici fini	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-5,7948	2,1609	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa radici piccole	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-5,4415	2,082	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$y = a + b \ln(D)$	-3,8219	2,5382	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$\log(y) = a + b \log(D)$	-1,66	2,54	-	3	20			
<i>Fagus sylvatica</i>	Germania	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$\log(y) = a + b \log(D)$	-2	2,7	-	12	47			
<i>Fagus sylvatica</i>	Svezia	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$\log(y) = a + \log[H(D^2)] b$	-2,8434	1,104	-	12	64	11		29
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa corteccia	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-3,0741	2,0543	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Svezia	Biomassa corteccia	kg	cm	$\log(y) = a + \log[H(D^2)] b$	-2,4279	0,8636	-	12	64	11		29
<i>Fagus sylvatica</i>	Repub. Ceca	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b$	0,494	2,07	-	5,7	62,1			

Specie	Paese	Componenti	Unità di misura		Equazione	a	b	c	Dm	DM	Hm	HM	Forma di governo
			biomassa	altezza									
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,00519	1,49634	2,10419					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,03638	2,15436	0,6587					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,00269	2,02481	1,65219					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,00519	1,87511	1,27233					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b H^c$	0,0109	1,951	1,262					
<i>Fagus sylvatica</i>	Olanda	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b$	0,0762	2,523	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b$	0,0894	2,4679	-	4	34,5			
<i>Fagus sylvatica</i>	Francia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,0445	2,3912	-					
<i>Fagus sylvatica</i>	Svezia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\log(y) = a + \log(H(D^2)) + b$	-1,6219	0,9813	-	12	64	11	29	
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = a + bD^2 + cD^2$	-0,10798	0,018017	0,2588					
<i>Fagus sylvatica</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa	kg	cm	$y = a + bD^2 + cD^2$	3,7197	0,019559	0,088089					
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = a + bD^2 + cD^2$	-4,5877	0,0052638	0,409		32,5			
<i>Ostrya carpinifolia</i>	Italia	Biomassa epigea legnosa	kg	cm	$y = a + bD^2 + cD^2$	-4,6965	0,012034	0,21771		32,5			
<i>Pinus nigra var maritima</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	kg	cm	$y = aD^b$	0,00013997	1,72105599	-					
<i>Pinus nigra var maritima</i>	Regno Unito	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,00001537	2,39136175	-					
<i>Pinus pinaster</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-1,457	1,8647	-	1,5	16			fustata
<i>Pinus radiata</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,359	2,2936	-	4	20			fustata
<i>Pinus radiata</i>	Italia	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$\log(y) = a \log(D) + b$	2,4453	-0,9366	-					
<i>Pinus radiata</i>	Italia	Biomassa ipogea totale	kg	cm	$\log(y) = a \log(HD^2) + b$	1,0519	-2,9005	-					
<i>Populus tremula</i>	Germania	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,0519	2,545		13,2	33			
<i>Populus tremula</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	cm	$y = aD^b$	0,000146	2,6035333		1,9	9,2			
<i>Populus tremula</i>	Svezia	Biomassa epigea totale	kg	mm	$y = aD^b$	0,000575	1,873298		19	92			
<i>Populus tremula</i>	Germania	Biomassa rami	kg	mm	$y = aD^b$	0,0644	2,001		132	330			
<i>Populus tremula</i>	Svezia	Biomassa chioma	kg	cm	$y = aD^b$	0,000847	1,481578		1,9	9,2			
<i>Populus tremula</i>	Germania	Biomassa fogliare	kg	mm	$y = aD^b$	0,0197	2,764		132	330			
<i>Populus tremula</i>	Svezia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	$y = aD^b$	0,000065	2,739823		1,9	9,2			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,1686	2,4407		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa epigea legnosa totale	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-2,5259	0,8605		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-3,3508	1,7235		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$y = [a + b \ln(D) + c \ln(D^2)] D^2$	0,0536	-0,3269		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-11,433	4,9391		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-4,1909	2,5403		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-3,5363	0,5957		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$y = [a + b \ln(D^2 H)] D^2 H$	0,0015	0,0402		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-12,7333	1,8202		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa rami	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-4,4702	0,8791		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,5518	2,3887		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-3,8649	2,4261		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D)$	-2,32	2,4147		2	19			
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-2,9275	0,8468		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-4,2122	0,854		2	19	2,2	14,7	
<i>Quercus conferta</i>	Grecia	Biomassa del fusto legnoso	kg	cm	$\ln(y) = a + b \ln(D^2 H)$	-2,6916	0,8546		2	19	2,2	14,7	

Specie	Paese	Componenti	Unità di misura		Equazione	a	b	c	Dm	DM	Hm	HM	Forma di governo
			biomassa	altezza									
<i>Quercus ilex</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	0,2306	2,2791	-	20	90			fustaia
<i>Quercus ilex</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	0,2179	2,0513	-	5	20			ceduo
<i>Quercus ilex</i>	Italia	Biomassa epigea totale	kg	cm	m	-0,6165	0,03582	-	4,5	26,1	6	16	ceduo
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	-0,656	2,217	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	-0,275	1,831	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	-0,854	2,413	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	-0,902	2,433	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	-0,313	1,9	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	m	-0,568	1,953	0,029	5,3	24,4	4,4	12,8	
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	kg	cm	-	0,2313	2,2662	-					
<i>Quercus ilex</i>	Italia	Biomassa epigea legrosa totale	kg	cm	m	-1,0906	0,031073	-	4,5	26,1	6	16	ceduo
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,704	1,833	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,411	1,546	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,825	1,953	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,996	2,077	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,37	1,544	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	m	-0,617	1,672	0,014	5,3	24,4	4,4	12,8	
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-0,825	1,789	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	-	-1,429	2,089	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa rami	kg	cm	m	0,4741	0,0047473	-	4,5	26,1	6	16	ceduo
<i>Quercus ilex</i>	Italia	Biomassa chioma	kg	cm	-	-1,624	1,891	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	-	-1,347	1,654	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	-	-2,128	2,309	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	-	-2,142	2,269	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	-	-1,366	1,774	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa fogliare	kg	cm	m	-1,533	1,808	0,002	5,3	24,4	4,4	12,8	
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa radici grosse	kg	cm	-	-1,188	2,139	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa radici grosse	kg	cm	-	-1,563	2,422	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa radici piccole	kg	cm	-	-0,714	1,79	-	8,8	19,8			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa radici piccole	kg	cm	-	-1,145	1,897	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa radici piccole	kg	cm	-	-1,417	2,093	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa ipogea totale	kg	cm	-	-0,835	1,688	-	8,8	19,8			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa ipogea totale	kg	cm	-	-1,05	2,19	-	7	23			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa ipogea totale	kg	cm	-	-1,047	2,191	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa ipogea totale	kg	cm	-	-1,393	2,451	-	7,2	23,1			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-0,448	1,734	-	8,8	19,8			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-1,166	2,478	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-0,747	2,044	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-1,355	2,674	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-1,336	2,64	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-0,839	2,156	-	5,3	24,4			
<i>Quercus ilex</i>	Spagna	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	m	-1,088	2,157	0,039	5,3	24,4	4,4	12,8	
<i>Quercus petraea</i>	Francia	Biomassa del fusto con corteccia	kg	cm	-	-1,56	2,44	-	7	17			
<i>Quercus pyrenaica</i>	Portogallo	Biomassa del fusto legroso	kg	cm	m	-3,323	0,95	-	2,5	46	3,3	27	

Specie	Paese	Componenti	Unità di misura	Equazione	a	b	c	Dm	DM	Hm	HMI	Forma di governo
			biomassa									
			diámetro									
			altezza									
<i>Quercus spp.</i>	Austria	Biomassa epigea totale	kg	$lr(y) = a + b \ln(D)$	-0,883	2,14						
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legrosa totale	kg	$lr(y) = a + b \ln(D)$	-2,4232	2,4682		4,5	52			
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legrosa totale	kg	$lr(y) = a + b \ln(D)$	-2,3223	2,4029		4,3	35			
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legrosa totale	kg	$lr(y) = a + b \ln(D)$	-3,1404	2,8113		3,8	11			
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa epigea legrosa totale	kg	$lr(y) = a + b \ln(D)$	-3,1009	2,6996		5,7	33			
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	$y = aD^2$	0,00021612	-						
<i>Quercus spp.</i>	Regno Unito	Biomassa chioma	t	$y = aD^2 \cdot f$	0,00054224	2,35	-1,022					
<i>Ulex parviflorus</i>	Spagna	Biomassa epigea totale	g	$y = c + a \exp(b \cdot V_{ep})$	846,4	0,5	-82,5,5					

Tabella A.2. Coefficienti di espansione del volume e valori di densità basale per differenti specie o generi che vivono anche in ambiente mediterraneo, secondo IPCC (2003).

<i>Specie/genere</i>	<i>Peso secco / Volume fresco (t m⁻³)</i>
Abies spp.	0,4
Acer spp.	0,52
Alnus spp.	0,45
Betula spp.	0,51
Carpinus betulus	0,63
Castanea sativa	0,48
Fagus sylvatica	0,58
Fraxinus spp.	0,57
Juglans spp.	0,53
Pinus pinaster	0,44
Populus spp.	0,35
Prunus spp.	0,49
Quercus spp.	0,58
Salix spp.	0,45

Tabella A.3. Coefficienti di espansione del volume e valori di densità basale riferiti a differenti componenti arboree, secondo FAO (1986).

<i>Specie/genere</i>	<i>Componenti</i>	<i>Volume della biomassa / Volume misurato</i>	<i>Peso secco / Volume fresco (t m⁻³)</i>
Conifere	Componenti legnosi	0,86	0,4
Conifere	Corteccia	0,14	0,35
Conifere	Altre parti epigee	0,3	0,4
Conifere	Ceppaia e radici	0,2	0,4
Latifoglie	Componenti legnosi	0,87	0,55
Latifoglie	Corteccia	0,13	0,35
Latifoglie	Altre parti epigee	0,4	0,55
Latifoglie	Ceppaia e radici	0,2	0,5

Tabella A.4. Coefficienti di espansione del volume legnoso (Volume della biomassa epigea / Volume cormometrico), secondo IPCC (2003).

<i>Specie/genere</i>	<i>Valore medio</i>	<i>Foreste giovani</i>	<i>Foreste mature</i>
Latifoglie	1,4	1,15	3,2
Abies spp.	1,3	1,15	4,2
Pinus spp.	1,3	1,15	3,4

Tabella A.5. Rapporto tra biomassa totale (epigea e ipogea) e volume cormometrico di specie arboree forestali, secondo Lowe et al. (2000).

<i>Specie/genere</i>	<i>Biomassa totale (ipogea + epigea)/ volume del fusto</i>
Conifere	0,48-0,69
Quercus spp.	0,87-1,02
Fagus sylvatica	0,74-0,99
Malus	0,87
Altre latifoglie	0,72-0,93

Valutazione speditiva biomassa arbustiva

1. Introduzione

La determinazione del volume della biomassa dei popolamenti forestali e preforestali è un aspetto fondamentale della ricerca perché connesso alla pianificazione per una razionale utilizzazione dei boschi (Corona, 2007) ma anche alla luce delle determinazioni assunte a causa dei cambiamenti climatici. La stima del carbonio accumulato in queste formazioni assume notevole importanza tenuto conto degli accordi internazionali relativi all'applicazione del protocollo di Kyoto che prevedono che le biomasse provenienti dall'azione di rivegetazione possano rientrare nel computo del carbonio sebbene solamente se provenienti da una azione di tutela diretta (La Mantia e Lumicisi, 2006).

Se per i popolamenti forestali è possibile, con buona approssimazione, avere dati attendibili sulla biomassa delle diverse specie, per le formazioni preforestali risulta attualmente più difficile. Le ragioni di questa indeterminazione sono essenzialmente: 1) la mancanza di dati sperimentali sulle diverse specie che le costituiscono; 2) la composizione fortemente variabile di queste formazioni. A questi fattori di indeterminazione si sommano anche difficoltà legate alla esatta determinazione delle superfici.

Scopo della ricerca condotta nell'ambito della convenzione è stata l'individuazione per alcune specie costitutive le formazioni arbustive dell'Isola dei parametri dendrometrici che consentano la stima, attraverso metodi non distruttivi, della biomassa, sul modello di quanto fatto per altre specie in altre realtà mediterranee (Costa e La Mantia, 2005).

2. Superfici interessate

Una sintesi dei dati disponibili per le superfici ad arbusteto in Sicilia è stata realizzata da Costa e La Mantia (2005) i quali ipotizzavano, anche sulla base dei dati raccolti sulle superfici agricole abbandonate in rinaturalizzazione in circa 300.000 ha le superfici a macchia (Tabella 1). Questo dato è confermato da Corine Land Cover 2000 (Maricchiolo et al., 2005), non noto ai tempi della redazione del contributo di Costa e La Mantia (2005). Sensibilmente ridotte appaiono invece le superfici riportate dall'inventario forestale nazionale (INFC, 2007) che per le boscaglie (formazioni forestali estese su una superficie maggiore di 5.000 m² aventi larghezza superiore a 20 m, copertura arborea maggiore del 10% e altezza potenziale a maturità in situ inferiore a 2 m) pari a 3.412 ha, per gli arbusteti (formazioni estese per più di 5.000 m² ed aventi larghezza superiore a 20 m, caratterizzate da una copertura arbustiva maggiore del 10% generalmente di altezza superiore a 0,5 m; le specie arboree, se presenti, non raggiungono il 5%) di estensione 51.307 ha e per le aree boscate inaccessibili o non classificate di 7.411 ha. Pur includendo le tre categorie i valori complessivi superano di poco 60.000 ha. Questo scarto appare spiegabile se si considera che l'inventario parte da fotointerpretazione e che quindi le formazioni arbustive basse ma anche le garighe e gli incolti in evoluzione possano essere sottostimati, tenuto anche conto che queste formazioni sono regolarmente incendiate.

In attesa dei dati dell'Inventario forestale della Sicilia, si considera 300.000 ha come dato attendibile per gli arbusteti a scala regionale.

3. Specie investigate

Ai fini dello studio sulla biomassa delle formazioni a macchia sono state scelte le specie più rappresentative delle formazioni arbustive siciliane (La Mantia et al., 2000 e 2001; Pasta et al., 2007): ginestra di Spagna (*Spartium junceum*), euforbia ad alberello (*Euphorbia dendroides*), palma nana (*Chamaerops humilis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*). Infatti, negli otto tipi pre-forestali in cui è suddivisa la macrocategoria "macchie arbusteti e garighe" (Pasta et al., 2007; La Mantia et al., 2000, 2001), l'euforbia ad alberello è elemento costitutivo del tipo "Macchie a olivastro (*Olea europaea* var. *sylvestris*)" ma si rinviene in diversi altri tipi; la ginestra di Spagna è presente come elemento strutturale nei tipi "Comunità di mantello", "Macchie di alberi ed arbusti sclerofillici dei substrati acidi" e "Macchie miste con alberi ed arbusti decidui e sempreverdi dei substrati basici"

ma è presente sporadicamente in quasi tutti gli altri tipi. Il lentisco è elemento strutturale dei tipi "Macchie di alberi ed arbusti sclerofillici dei substrati acidi", "Macchie miste con alberi ed arbusti decidui e sempreverdi dei substrati basici", "Macchie a olivastro (*Olea europaea* var. *sylvestris*)". Infine, la palma nana è elemento costitutivo dei tipi "Macchie a quercia spinosa" e "Garighe a palma nana".

4. Modelli di predizione della biomassa di singoli individui

4.1 Rilievi di campo

Per ciascuna specie considerata sono state individuate località rappresentative dei popolamenti siciliani: Euforbia: Sicani (Ag), Monte Pellegrino (Pa); Ginestra: bosco della Ficuzza (Pa), Monte Pellegrino (Pa), Monte Inici (Tp); Lentisco: Parco della favorita (Pa); Monte Inici (Tp), Misilmeri (Pa); Palma nana: Monte Inici (Tp), Monte Magaggiaro (Tp), Sambuca di Sicilia (Ag).

In ciascun popolamento sono stati raccolti almeno 15 esemplari facenti parte di comunità indisturbate e monospecifiche (es. ginestra in ginestreti). Sono state scelte piante non danneggiate da pascolo o incendio. I parametri dendrometrici rilevati sono stati:

- (i) D = diametro medio a petto d'uomo (cm);
- (ii) D_{coll} = diametro medio al colletto (cm);
- (iii) D_{chioma} = diametro medio della chioma all'altezza della sua massima espansione (cm);
- (iv) H = altezza totale (cm);
- (v) $H_{dchioma}$ = altezza rilevata in corrispondenza del diametro massimo della chioma (cm).

Una volta contrassegnate, le piante sono state abbattute, tagliandole al colletto, e trasportate al laboratorio del Dipartimento di Colture Arboree. Qui si è proceduto alla loro pesatura allo stato fresco e alla successiva essiccazione in stufa a 65°C fino al raggiungimento del peso costante (anidro). In Tabella 2 sono riportate le statistiche dei parametri dendrometrici rilevati.

4.2. Modalità di elaborazione

L'elaborazione dei modelli di predizione della biomassa totale epigea (B , in kg) di singoli individui delle specie arbustive considerate è stata condotta mediante regressione lineare, considerando come potenziali variabili predittive (indipendenti) i parametri (i)-(v) descritti al paragrafo precedente. La selezione dei predittori è stata condotta con metodo *stepwise* convenzionale adottando un valore di F critico nel processo di inclusione pari a quello del processo di eliminazione: il livello di significatività dell' F critico è stato posto pari a 0.90, così da garantire la selezione di un ridotto *pool* di predittori; il valore di tolleranza, misura della stabilità della matrice di correlazione, è stato fissato pari a 0.001.

4.3. Risultati

I modelli elaborati sono riportati in Tabella 3. In tutti i modelli i residui non presentano andamenti sistematici e la loro media risulta pari 0, come atteso.

La capacità inferenziale dei modelli elaborati è stata valutata in modo indipendente mediante procedura *leave-one-out* calcolando i cosiddetti residui "cancellati": in questo caso, il residuo in corrispondenza di una data osservazione è dato dalla differenza tra il valore di biomassa stimato con il modello calibrato omettendo quella osservazione e il valore misurato riferito a quella stessa osservazione. I risultati della validazione manifestano l'efficacia predittiva dei modelli elaborati (Tabella 4), che appaiono in grado di fornire stime non distorte (la distorsione valutata in modo indipendente risulta sempre inferiore a 0.3% del valore medio inventariato) e di spiegare una porzione elevata della variabilità della biomassa nell'ambito di ciascuna specie.

Il rapporto percentuale tra la media dei residui cancellati assoluti e la media della biomassa legnosa fornisce l'ordine di grandezza dello scostamento rispetto al valore vero che in genere si può avere nella stima della biomassa di un singolo individuo di una data specie: pur relativamente elevati (euforbia = 33%; ginestra = 27%; lentisco = 34%; palma nana = 25%), i valori di questo rapporto risultano comunque soddisfacenti se si tiene conto dell'alta eterogeneità morfologica delle specie

esaminate e della variabilità della biomassa individuale nei campioni selezionati (coefficiente di variazione della biomassa pari a oltre 100%, tranne che per la palma nana caratterizzata da un coefficiente pari a 70%).

5. Stima della biomassa per unità di superficie

La quantificazione del contributo che le singole specie possono fornire in termini di biomassa a ettaro è stato condotto a partire dalla valutazione del loro grado di copertura nell'ambito delle formazioni arbustive in Sicilia. Il numero medio di piante a ettaro di ciascuna specie è stato desunto dai dati medi di copertura riportati in letteratura (Brullo e Marcenò, 1985; Bernhardt, 1988, 1989; Brullo e Spampinato, 1990; Bartolo *et al.*, 1990) giustapposti ai valori di copertura rilevati in una apposita indagine di campo (Tabella 5). A partire dal numero di piante a ettaro, il campo di variazione della biomassa di ciascuna specie considerata per unità di superficie è stato inferito mediante i modelli di cui al § 4 applicati ai valori medi delle variabili indipendenti di ciascun modello, così come ottenuti dai rilievi campionari condotti.

Per l'euforbia la superficie media di una pianta di diametro medio è risultata pari a 1,5 m²: dai dati di copertura si deriva la superficie occupata complessivamente in funzione del grado di copertura (5-20% o 60-80%) e che è compresa tra 125 m²/ha e 700 m²/ha: la biomassa (peso anidro) varia di conseguenza tra 331 e 1855 kg/ha.

La stessa procedura è stata applicata per la ginestra di Spagna che, a motivo della ridotta superficie occupata (minimo pari a 125 m²/ha per una copertura del 5-20%; massimo pari a 500 m²/ha per una copertura del 40-60%), presenta mediamente nelle formazioni arbustive siciliane un ridotto numero di piante a ettaro (tra 69 e 276), con valori di biomassa tra 60 e 238 kg/ha.

La superficie mediamente occupata dal lentisco nelle formazioni arbustive siciliane è la maggiore tra le specie considerate, anche fino all'80-100% della superficie complessiva; la biomassa varia, in funzione della copertura, tra 400 e 2870 kg/ha.

La palma nana occupa una superficie oscillante tra 125 m²/ha e 700 m²/ha, in funzione del grado di copertura (5-20% o 60-80%): il numero di piante varia tra 66 e 371, con valori di biomassa tra 373 e 2092 kg/ha.

6. Conclusioni

Le informazioni quantitative reperibili in letteratura sulle formazioni arbustive in ambiente mediterraneo sono relativamente scarse (cfr. Costa e La Mantia, 2005). In tal senso, lo studio condotto offre un contributo originale in merito.

I modelli messi a punto per la predizione della biomassa di singoli individui risultano particolarmente efficaci per specie quali l'euforbia, monocaule e "sferica", e la ginestra. Anche la palma nana, sebbene talora policaule, è caratterizzata da forme dendrometriche relativamente regolari. Il lentisco è invece molto variabile nell'habitus: alcune piante sono monocauli, altre policauli (a volte nel caso con più di 15 polloni) e soprattutto alcune con portamento arboreo e altre arbustivo.

Per quanto concerne la biomassa per unità di superficie, i valori stimati sono puramente indicativi e, come atteso, inferiori a quelli riportati in letteratura (Costa e La Mantia, 2005): le formazioni a macchia infatti sono composte da più specie e la vegetazione risulta stratificata. A esempio, i valori relativamente modesti di biomassa a ettaro della ginestra di Spagna si spiegano considerando che questa specie è presente sporadicamente nei consorzi che contribuisce a edificare; tuttavia, la ginestra è diffusa ampiamente, e i valori per essa rinvenuti possono essere estesi alla stima della biomassa anche di altre leguminose della macchia mediterranea. L'euforbia presenta una più elevata biomassa per unità di superficie: questa specie, infatti, forma comunità quasi pure in condizioni pedologicamente difficili dove risulta di fatto l'unica fanerofita presente. Valori più elevati sono quelli del lentisco, specie legnosa che in alcune "macchie" costiere e delle isole forma popolamenti quasi puri ma che partecipa anche a formazioni miste. Anche la palma nana presenta valori elevati di biomassa formando in genere formazioni dense e quasi pure.

Tabella 1 – Superfici a macchia in Sicilia secondo fonti diverse (da Costa e La Mantia, 2005, modif.).

<i>Fonte</i>	<i>Formazioni</i>	<i>Superfici (ha)</i>
Uso del suolo Regione Siciliana (1995)	Macchia e cespuglietti	99.821
	Incolto e incolto roccioso	125.468
	Aree parzialmente boscate o bosco degradato	90.655
	Totale	315.944
Linee Guida del Piano Paesistico Regionale (A.A. V.V., 1996) (Scala 1:250.000)	Macchie di sclerofille sempreverdi (<i>Pistacio-Rhamnetalia alaterni</i>)	5.322
	Arbusteti, boscaglie e praterie arbustate (<i>Pruno-Rubion ulmifolii</i>)	81.724
	Arbusteti spinosi altomontani dell'Etna (<i>Rumici-Astragaletalia</i>)	9.026
	Formazioni termo-xerofile di gariga, prateria e vegetazione rupestre	203.959
	Totale	300.031
Corine Land Cover 90 (Scala 1:100.000)	3231-Macchia mediterranea bassa	35.771
	3232-Macchia mediterranea alta	108.637
	322- Arbusteto	77.640
	Totale	222.048
Corine Land Cover 2000 (Scala 1:100.000)	323-Macchia mediterranea	179.444
	324-Vegetazione in evoluzione	52.020
	322-Arbusteto	92.452
	Totale	323.916

Tabella 2. Statistiche dei parametri dendrometrici rilevati per la formulazione dei modelli di predizione della biomassa e numerosità campionarie.

<i>specie</i>	<i>numero osservazioni</i>	<i>attributo</i>	<i>minimo</i>	<i>massimo</i>	<i>media</i>	<i>deviazione std.</i>
Euforbia	23	Altezza massima (cm)	45,0	221,0	131,5	56,2
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	42,0	330,0	126,9	76,1
		Diametro massimo della chioma (cm)	5,0	384,0	140,7	104,2
		Diametro al colletto (cm)	0,6	21,5	8,5	6,1
		Biomassa totale epigea (kg)	0,01	15,39	4,05	5,00
Ginestra di Spagna	44	Altezza massima (cm)	63,0	680,0	247,6	144,1
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	35,0	650,0	189,9	140,8
		Diametro massimo della	25,0	400,0	152,2	81,4

		chioma (cm)				
		Diametro al colletto (cm)	0,4	14,5	4,2	3,3
		Biomassa totale epigea (kg)	0,04	59,60	5,84	14,88
Lentisco	21	Altezza massima (cm)	27,0	380,0	151,6	105,9
		Diametro massimo della chioma (m)	0,2	3,7	1,6	1,3
		Diametro (cm)	1,0	40,0	11,4	12,3
		Biomassa totale epigea (kg)	0,01	26,60	5,79	8,28
Palma nana	23	Altezza massima (cm)	80,0	252,0	151,2	48,1
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	18,0	130,0	75,0	31,0
		Diametro massimo della chioma (cm)	80,0	280,0	157,6	58,6
		Diametro al colletto (cm)	9,0	16,0	11,2	1,9
		Biomassa totale epigea (kg)	1,38	15,58	5,64	4,00

Tabella 3. Risultati dell'analisi di regressione per la stima dei coefficienti numerici dei modelli predittivi (r^2 = coefficiente di determinazione = rapporto tra devianza della regressione e devianza totale; *ess* = errore standard della stima).

<i>specie</i>	<i>equazione</i>	r^2	<i>ess</i> (kg)
Euforbia	$B = -4.390 + 0.032 * Dchioma + 0.030 * H$	0,923	1,46
Ginestra	$B = -1.119 - 2.900 * Dcoll + 0.431 * Dcoll^2 + 0.022 * Hdchioma$	0,983	2,00
Lentisco	$B = -0.394 + 1.588 * D^2$	0,866	3,11
Palma nana	$B = -11.272 + 0.721 * Dcoll + 0.059 * H$	0,816	1,80

Tabella 4. Risultati della validazione dei modelli di predizione mediante procedura *leave-one-out*.

<i>specie</i>	<i>media dei residui cancellati</i> (kg)	<i>media dei residui cancellati assoluti</i> (kg)	<i>percentuale di varianza spiegata</i> (%)
Euforbia	0,0549	1,33	89,5
Ginestra di Spagna	-0,0304	1,56	97,7
Lentisco	-0,0153	1,96	79,4
Palma nana	-0,0093	1,44	73,8

Tabella 5. Numero di rilievi di campo in funzione del grado di copertura riscontrato nei popolamenti delle specie considerate.

specie	grado di copertura					numero totale
	(80-100%)	(60-80%)	(40-60%)	(20-40%)	(5-20%)	
Euforbia	0	10	20	14	3	47
Ginestra di Spagna	0	0	2	4	4	10
Lentisco	1	1	8	12	10	32
Palma nana	0	4	15	4	4	27

Di seguito si riporta il modello elaborato per la stima della biomassa della Palma nana, euforbia e ginestra.

Modello PALMA NANA

$$B = -11.272 + 0.721 * Dcoll + 0.059 * H$$

B = biomassa totale epigea (kg); $Dcoll$ = diametro medio al colletto (cm); H = altezza totale (cm)

Numero osservazioni = 23 (sufficiente per contenere l'errore di campionamento entro la soglia del 15% in corrispondenza della predizione della biomassa su piante di dimensioni medie)

	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.
Altezza massima (cm)	80	252	151,22	48,143
Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	18	130	75,04	30,967
Diametro massimo della chioma (cm)	80	280	157,57	58,566
Diametro al colletto (cm)	9	16	11,17	1,916
Biomassa totale epigea (kg)	1,38	15,58	5,6351	4,00300

	coefficiente	errore std.	t	Sig.
Costante	-11,272	2,291	-4,919	0,000
Dcoll (cm)	0,721	0,220	3,275	0,004
H (cm)	0,059	0,009	6,674	0,000

R	R-quadrato	R-quadrato corretto	Errore std. della stima
0,903	0,816	0,797	1,802

	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.
Residuo	-3,873	3,860	,0000	1,718
Residuo cancellato	-5,185	4,127	-,0093	2,047

Modello EUFORBIA

$$P = -4390 + 32.332 * Dchioma + 29.610 * H$$

P = peso (g); $Dchioma$ = diametro medio della chioma all'altezza della sua massima espansione (cm); H = altezza totale (cm)

R	R-quadrato	R-quadrato corretto	Errore std. della stima
,961	,923	,915	1458,3041

	Coefficients non standardizzati		Coefficients standardizzati	t	Sig.
	B	Errore std.	Beta		
Costante	-4390,424	831,019		-5,283	,000
Dchioma (cm)	32,332	4,925	,674	6,565	,000
H (cm)	29,610	9,135	,333	3,241	,004

	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.	N
Residuo	-2240,750	2605,314	,000	1390,4384	23

Modello GINESTRA

$$B = -1.119 + 0.009 * H$$

B = biomassa totale epigea (kg); H = altezza totale (cm)

Numero osservazioni = 26 (l'errore di campionamento in corrispondenza della predizione della biomassa su piante di dimensioni medie è pari al 33%; teoricamente la numerosità del campione per contenere l'errore entro la soglia del 15% dovrebbe essere pari a 126)

	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.
Altezza massima (cm)	116	405	218,73	82,423
Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	62	340	148,88	71,695
Diametro massimo della chioma (cm)	64,0	275,0	151,885	53,2713
Diametro al colletto (cm)	0,9	6,2	3,488	1,6073
Biomassa totale epigea (kg)	0,04	3,89	,8643	1,03317

	coefficienti	errore std.	t	Sig.
Costante	-1,119	0,412	-2,715	0,012
H (cm)	0,009	0,002	5,131	0,000

R	R-quadrato	R-quadrato corretto	Errore std. della stima
0,723	0,523	0,503	0,72820

	Minimo	Massimo	Media	Deviazione std.
Residuo	-2,2407	2,6053	0,0000	1,39044
Residuo cancellato	-2,3428	3,0071	0,0549	1,61820

Bibliografia

- BARTOLO G., BRULLO S., MINISSALE P., SPAMPINATO G. (1990) - Contributo alla conoscenza dei boschi a *Quercus ilex* della Sicilia. Acta Bot. Malac. 15: 203-215.
- BERNHARDT K.G. (1988) - The *Chamaerops humilis* garigue in western Sicily (Italy). Tuexenia (8): 271-280.
- BERNHARDT K.G. (1989) - Die *Euphorbia dendroides* Gesellschaft der Gipsfelsen im südwestlichen Sizilien.. Webbia, 43, 2: 291-300.
- BRULLO S., MARCENÒ C., 1985 – Contributo alla conoscenza della classe *Quercetea ilicis* in Sicilia. – Not. Fitosoc. 19 (1): 183-229.
- BRULLO S., SPAMPINATO G. (1990) - La vegetazione dei corsi d'acqua della Sicilia. Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania, 23 (336): 119-252.
- CORONA P. (2007) - Metodi di inventariazione delle masse e degli incrementi legnosi in assestamento forestale. Aracne Editrice, Roma.
- COSTA G., LA MANTIA T. (2005) - Il ruolo della macchia mediterranea nello stoccaggio del carbonio atmosferico. Foresta@ 2 (4): 378-387. [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- INFC (2007) – Le stime di superficie 2005. Prima parte. Seconda parte. MIPAAF Corpo Forestale dello Stato, CRA-ISAF, Trento.
- LA MANTIA T., LUMICISI A. (2006) - Il bosco alleato del clima. QualEnergia anno IV, n.3: 25-28.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S. (2000) - Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia - I parte: metodologia ed inquadramento generale. Italia Forestale e Montana, 5: 307-326.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S. (2001) - Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia. II parte: descrizione delle categorie. Italia Forestale e Montana, 1: 24-47.
- MARICCHIOLO C., SAMBUCINI V., PUGLIESE A., MUNAFÒ M., CECCHI G., RUSCO E., BLASI C., MARCHETTI M., CHIRICI G., CORONA P. (2005) – La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000. Rapporti APAT 61, Roma.
- PASTA S., RÜHL J., CULLOTTA S., LA MANTIA T. (2007) - Le formazioni preforestali e i processi di successione secondaria in atto nei coltivi abbandonati della Sicilia. “Piante Mediterranee, 2° Convegno Nazionale - Valorizzazione delle risorse e sviluppo sostenibile Piante Mediterranee, Ag 7-8 ottobre 2004”, 140-145.

Relazione finale

Sommario

1. Introduzione	43
2. Superfici interessate	43
3. Specie investigate.....	43
4. Modelli di predizione della biomassa di singoli individui.....	44
4.1 Rilievi di campo	44
4.2. Modalità di elaborazione.....	44
4.3. Risultati	44
5. Stima della biomassa per unità di superficie.....	45
6. Conclusioni	45
Bibliografia	47

1. INTRODUZIONE

La determinazione del volume della biomassa dei popolamenti forestali e preforestali è un aspetto fondamentale della ricerca perché connesso alla pianificazione per una razionale utilizzazione dei boschi (Corona, 2007) ma anche alla luce delle determinazioni assunte a causa dei cambiamenti climatici. La stima del carbonio accumulato in queste formazioni assume notevole importanza tenuto conto degli accordi internazionali relativi all'applicazione del protocollo di Kyoto che prevedono che le biomasse provenienti dall'azione di rivegetazione possano rientrare nel computo del carbonio sebbene solamente se provenienti da una azione di tutela diretta (La Mantia e Lumicisi, 2006).

Se per i popolamenti forestali è possibile, con buona approssimazione, avere dati attendibili sulla biomassa delle diverse specie, per le formazioni preforestali risulta attualmente più difficile. Le ragioni di questa indeterminazione sono essenzialmente: 1) la mancanza di dati sperimentali sulle diverse specie che le costituiscono; 2) la composizione fortemente variabile di queste formazioni. A questi fattori di indeterminazione si sommano anche difficoltà legate alla esatta determinazione delle superfici.

Scopo della ricerca condotta nell'ambito della convenzione è stata l'individuazione per alcune specie costitutive le formazioni arbustive dell'Isola dei parametri dendrometrici che consentano la stima, attraverso metodi non distruttivi, della biomassa, sul modello di quanto fatto per altre specie in altre realtà mediterranee (Costa e La Mantia, 2005).

2. SUPERFICI INTERESSATE

Una sintesi dei dati disponibili per le superfici ad arbusteto in Sicilia è stata realizzata da Costa e La Mantia (2005) i quali ipotizzavano, anche sulla base dei dati raccolti sulle superfici agricole abbandonate in rinaturalizzazione in circa 300.000 ha le superfici a macchia (Tabella 1). Questo dato è confermato da Corine Land Cover 2000 (Maricchiolo et al., 2005), non noto ai tempi della redazione del contributo di Costa e La Mantia (2005). Sensibilmente ridotte appaiono invece le superfici riportate dall'inventario forestale nazionale (INFC, 2007) che per le boscaglie (formazioni forestali estese su una superficie maggiore di 5.000 m² aventi larghezza superiore a 20 m, copertura arborea maggiore del 10% e altezza potenziale a maturità in situ inferiore a 2 m) pari a 3.412 ha, per gli arbusteti (formazioni estese per più di 5.000 m² ed aventi larghezza superiore a 20 m, caratterizzate da una copertura arbustiva maggiore del 10% generalmente di altezza superiore a 0,5 m; le specie arboree, se presenti, non raggiungono il 5%) di estensione 51.307 ha e per le aree boscate inaccessibili o non classificate di 7.411 ha. Pur includendo le tre categorie i valori complessivi superano di poco 60.000 ha. Questo scarto appare spiegabile se si considera che l'inventario parte da fotointerpretazione e che quindi le formazioni arbustive basse ma anche le garighe e gli incolti in evoluzione possano essere sottostimati, tenuto anche conto che queste formazioni sono regolarmente incendiate.

In attesa dei dati dell'Inventario forestale della Sicilia, si considera 300.000 ha come dato attendibile per gli arbusteti a scala regionale.

3. SPECIE INVESTIGATE

Ai fini dello studio sulla biomassa delle formazioni a macchia sono state scelte le specie più rappresentative delle formazioni arbustive siciliane (La Mantia et al., 2000 e 2001; Pasta et al., 2007): ginestra di Spagna (*Spartium junceum*), euforbia ad alberello (*Euphorbia dendroides*), palma nana (*Chamaerops humilis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*). Infatti, negli otto tipi pre-forestali in cui è suddivisa la macrocategoria "macchie arbusteti e garighe" (Pasta et al., 2007; La Mantia et al., 2000, 2001), l'euforbia ad alberello è elemento costitutivo del tipo "Macchie a olivastro (*Olea europaea* var. *sylvestris*)" ma si rinviene in diversi altri tipi; la ginestra di Spagna è presente come

elemento strutturale nei tipi "Comunità di mantello", "Macchie di alberi ed arbusti sclerofillici dei substrati acidi" e "Macchie miste con alberi ed arbusti decidui e sempreverdi dei substrati basici" ma è presente sporadicamente in quasi tutti gli altri tipi. Il lentisco è elemento strutturale dei tipi "Macchie di alberi ed arbusti sclerofillici dei substrati acidi", "Macchie miste con alberi ed arbusti decidui e sempreverdi dei substrati basici", "Macchie a olivastro (*Olea europaea* var. *sylvestris*)". Infine, la palma nana è elemento costitutivo dei tipi "Macchie a quercia spinosa" e "Garighe a palma nana".

4. MODELLI DI PREDIZIONE DELLA BIOMASSA DI SINGOLI INDIVIDUI

4.1 Rilievi di campo

Per ciascuna specie considerata sono state individuate località rappresentative dei popolamenti siciliani: Euforbia: Sicani (Ag), Monte Pellegrino (Pa); Ginestra: bosco della Ficuzza (Pa), Monte Pellegrino (Pa), Monte Inici (Tp); Lentisco: Parco della favorita (Pa); Monte Inici (Tp), Misilmeri (Pa); Palma nana: Monte Inici (Tp), Monte Magaggiaro (Tp), Sambuca di Sicilia (Ag).

In ciascun popolamento sono stati raccolti almeno 15 esemplari facenti parte di comunità indisturbate e monospecifiche (es. ginestra in ginestreti). Sono state scelte piante non danneggiate da pascolo o incendio. I parametri dendrometrici rilevati sono stati:

- (vi) D = diametro medio a petto d'uomo (cm);
- (vii) D_{coll} = diametro medio al colletto (cm);
- (viii) D_{chioma} = diametro medio della chioma all'altezza della sua massima espansione (cm);
- (ix) H = altezza totale (cm);
- (x) $H_{dchioma}$ = altezza rilevata in corrispondenza del diametro massimo della chioma (cm).

Una volta contrassegnate, le piante sono state abbattute, tagliandole al colletto, e trasportate al laboratorio del Dipartimento di Colture Arboree. Qui si è proceduto alla loro pesatura allo stato fresco e alla successiva essiccazione in stufa a 65°C fino al raggiungimento del peso costante (anidro). In Tabella 2 sono riportate le statistiche dei parametri dendrometrici rilevati.

4.2. Modalità di elaborazione

L'elaborazione dei modelli di predizione della biomassa totale epigea (B , in kg) di singoli individui delle specie arbustive considerate è stata condotta mediante regressione lineare, considerando come potenziali variabili predittive (indipendenti) i parametri (i)-(v) descritti al paragrafo precedente. La selezione dei predittori è stata condotta con metodo *stepwise* convenzionale adottando un valore di F critico nel processo di inclusione pari a quello del processo di eliminazione: il livello di significatività dell' F critico è stato posto pari a 0.90, così da garantire la selezione di un ridotto *pool* di predittori; il valore di tolleranza, misura della stabilità della matrice di correlazione, è stato fissato pari a 0.001.

4.3. Risultati

I modelli elaborati sono riportati in Tabella 3. In tutti i modelli i residui non presentano andamenti sistematici e la loro media risulta pari 0, come atteso.

La capacità inferenziale dei modelli elaborati è stata valutata in modo indipendente mediante procedura *leave-one-out* calcolando i cosiddetti residui "cancellati": in questo caso, il residuo in corrispondenza di una data osservazione è dato dalla differenza tra il valore di biomassa stimato con il modello calibrato omettendo quella osservazione e il valore misurato riferito a quella stessa osservazione. I risultati della validazione manifestano l'efficacia predittiva dei modelli elaborati (Tabella 4), che appaiono in grado di fornire stime non distorte (la distorsione valutata in modo indipendente risulta sempre inferiore a 0.3% del valore medio inventariato) e di spiegare una porzione elevata della variabilità della biomassa nell'ambito di ciascuna specie.

Il rapporto percentuale tra la media dei residui cancellati assoluti e la media della biomassa legnosa fornisce l'ordine di grandezza dello scostamento rispetto al valore vero che in genere si può avere nella stima della biomassa di un singolo individuo di una data specie: pur relativamente elevati (euforbia = 33%; ginestra = 27%; lentisco = 34%; palma nana = 25%), i valori di questo rapporto risultano comunque soddisfacenti se si tiene conto dell'alta eterogeneità morfologica delle specie esaminate e della variabilità della biomassa individuale nei campioni selezionati (coefficiente di variazione della biomassa pari a oltre 100%, tranne che per la palma nana caratterizzata da un coefficiente pari a 70%).

5. STIMA DELLA BIOMASSA PER UNITÀ DI SUPERFICIE

La quantificazione del contributo che le singole specie possono fornire in termini di biomassa a ettaro è stato condotto a partire dalla valutazione del loro grado di copertura nell'ambito delle formazioni arbustive in Sicilia. Il numero medio di piante a ettaro di ciascuna specie è stato desunto dai dati medi di copertura riportati in letteratura (Brullo e Marcenò, 1985; Bernhardt, 1988, 1989; Brullo e Spampinato, 1990; Bartolo *et al.*, 1990) giustapposti ai valori di copertura rilevati in una apposita indagine di campo (Tabella 5). A partire dal numero di piante a ettaro, il campo di variazione della biomassa di ciascuna specie considerata per unità di superficie è stato inferito mediante i modelli di cui al § 4 applicati ai valori medi delle variabili indipendenti di ciascun modello, così come ottenuti dai rilievi campionari condotti.

Per l'euforbia la superficie media di una pianta di diametro medio è risultata pari a 1,5 m²: dai dati di copertura si deriva la superficie occupata complessivamente in funzione del grado di copertura (5-20% o 60-80%) e che è compresa tra 125 m²/ha e 700 m²/ha: la biomassa (peso anidro) varia di conseguenza tra 331 e 1855 kg/ha.

La stessa procedura è stata applicata per la ginestra di Spagna che, a motivo della ridotta superficie occupata (minimo pari a 125 m²/ha per una copertura del 5-20%; massimo pari a 500 m²/ha per una copertura del 40-60%), presenta mediamente nelle formazioni arbustive siciliane un ridotto numero di piante a ettaro (tra 69 e 276), con valori di biomassa tra 60 e 238 kg/ha.

La superficie mediamente occupata dal lentisco nelle formazioni arbustive siciliane è la maggiore tra le specie considerate, anche fino all'80-100% della superficie complessiva; la biomassa varia, in funzione della copertura, tra 400 e 2870 kg/ha.

La palma nana occupa una superficie oscillante tra 125 m²/ha e 700 m²/ha, in funzione del grado di copertura (5-20% o 60-80%): il numero di piante varia tra 66 e 371, con valori di biomassa tra 373 e 2092 kg/ha.

6. CONCLUSIONI

Le informazioni quantitative reperibili in letteratura sulle formazioni arbustive in ambiente mediterraneo sono relativamente scarse (cfr. Costa e La Mantia, 2005). In tal senso, lo studio condotto offre un contributo originale in merito.

I modelli messi a punto per la predizione della biomassa di singoli individui risultano particolarmente efficaci per specie quali l'euforbia, monocaule e "sferica", e la ginestra. Anche la palma nana, sebbene talora policaule, è caratterizzata da forme dendrometriche relativamente regolari. Il lentisco è invece molto variabile nell'habitus: alcune piante sono monocauli, altre policauli (a volte nel caso con più di 15 polloni) e soprattutto alcune con portamento arboreo e altre arbustivo.

Per quanto concerne la biomassa per unità di superficie, i valori stimati sono puramente indicativi e, come atteso, inferiori a quelli riportati in letteratura (Costa e La Mantia, 2005): le formazioni a macchia infatti sono composte da più specie e la vegetazione risulta stratificata. A esempio, i valori relativamente modesti di biomassa a ettaro della ginestra di Spagna si spiegano considerando che questa specie è presente sporadicamente nei consorzi che contribuisce a edificare; tuttavia, la ginestra è diffusa ampiamente, e i valori per essa rinvenuti possono essere estesi alla stima della

biomassa anche di altre leguminose della macchia mediterranea. L'euforbia presenta una più elevata biomassa per unità di superficie: questa specie, infatti, forma comunità quasi pure in condizioni pedologicamente difficili dove risulta di fatto l'unica fanerofita presente. Valori più elevati sono quelli del lentisco, specie legnosa che in alcune "macchie" costiere e delle isole forma popolamenti quasi puri ma che partecipa anche a formazioni miste. Anche la palma nana presenta valori elevati di biomassa formando in genere formazioni dense e quasi pure.

BIBLIOGRAFIA

- BARTOLO G., BRULLO S., MINISSALE P., SPAMPINATO G. (1990) - Contributo alla conoscenza dei boschi a *Quercus ilex* della Sicilia. Acta Bot. Malac. 15: 203-215.
- BERNHARDT K.G. (1988) - The *Chamaerops humilis* garigue in western Sicily (Italy). Tuexenia (8): 271-280.
- BERNHARDT K.G. (1989) - Die *Euphorbia dendroides* Gesellschaft der Gipsfelsen im südwestlichen Sizilien.. Webbia, 43, 2: 291-300.
- BRULLO S., MARCENÒ C., 1985 – Contributo alla conoscenza della classe *Quercetea ilicis* in Sicilia. – Not. Fitosoc. 19 (1): 183-229.
- BRULLO S., SPAMPINATO G. (1990) - La vegetazione dei corsi d'acqua della Sicilia. Boll. Acc. Gioenia Sci. Nat. Catania, 23 (336): 119-252.
- CORONA P. (2007) - Metodi di inventariazione delle masse e degli incrementi legnosi in assestamento forestale. Aracne Editrice, Roma.
- COSTA G., LA MANTIA T. (2005) - Il ruolo della macchia mediterranea nello stoccaggio del carbonio atmosferico. Foresta@ 2 (4): 378-387. [online] URL: <http://www.sisef.it/>
- INFC (2007) – Le stime di superficie 2005. Prima parte. Seconda parte. MIPAAF Corpo Forestale dello Stato, CRA-ISAF, Trento.
- LA MANTIA T., LUMICISI A. (2006) - Il bosco alleato del clima. QualEnergia anno IV, n.3: 25-28.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S. (2000) - Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia - I parte: metodologia ed inquadramento generale. Italia Forestale e Montana, 5: 307-326.
- LA MANTIA T., MARCHETTI M., CULLOTTA S., PASTA S. (2001) - Materiali conoscitivi per una classificazione dei tipi forestali e preforestali della Sicilia. II parte: descrizione delle categorie. Italia Forestale e Montana, 1: 24-47.
- MARICCHIOLO C., SAMBUCINI V., PUGLIESE A., MUNAFÒ M., CECCHI G., RUSCO E., BLASI C., MARCHETTI M., CHIRICI G., CORONA P. (2005) – La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2000. Rapporti APAT 61, Roma.
- PASTA S., RÜHL J., CULLOTTA S., LA MANTIA T. (2007) - Le formazioni preforestali e i processi di successione secondaria in atto nei coltivi abbandonati della Sicilia. “Piante Mediterranee, 2° Convegno Nazionale - Valorizzazione delle risorse e sviluppo sostenibile Piante Mediterranee, Ag 7-8 ottobre 2004”, 140-145.

Tabella 1 – Superfici a macchia in Sicilia secondo fonti diverse (da Costa e La Mantia, 2005, modif.).

<i>Fonte</i>	<i>Formazioni</i>	<i>Superfici (ha)</i>
Uso del suolo Regione Siciliana (1995)	Macchia e cespuglietti	99.821
	Incolto e incolto roccioso	125.468
	Aree parzialmente boscate o bosco degradato	90.655
	Totale	315.944
Linee Guida del Piano Paesistico Regionale (A.A. V.V., 1996) (Scala 1:250.000)	Macchie di sclerofille sempreverdi (<i>Pistacio-Rhamnetalia alaterni</i>)	5.322
	Arbusteti, boscaglie e praterie arbustate (<i>Pruno-Rubion ulmifolii</i>)	81.724
	Arbusteti spinosi altomontani dell'Etna (<i>Rumici-Astragaletalia</i>)	9.026
	Formazioni termo-xerofile di gariga, prateria e vegetazione rupestre	203.959
	Totale	300.031
Corine Land Cover 90 (Scala 1:100.000)	3231-Macchia mediterranea bassa	35.771
	3232-Macchia mediterranea alta	108.637
	322- Arbusteto	77.640
	Totale	222.048
Corine Land Cover 2000 (Scala 1:100.000)	323-Macchia mediterranea	179.444
	324-Vegetazione in evoluzione	52.020
	322-Arbusteto	92.452
	Totale	323.916

Tabella 2. Statistiche dei parametri dendrometrici rilevati per la formulazione dei modelli di predizione della biomassa e numerosità campionarie.

<i>specie</i>	<i>numero osservazioni</i>	<i>attributo</i>	<i>minimo</i>	<i>massimo</i>	<i>media</i>	<i>deviazione std.</i>
Euforbia	23	Altezza massima (cm)	45,0	221,0	131,5	56,2
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	42,0	330,0	126,9	76,1
		Diametro massimo della chioma (cm)	5,0	384,0	140,7	104,2
		Diametro al colletto (cm)	0,6	21,5	8,5	6,1
		Biomassa totale epigea (kg)	0,01	15,39	4,05	5,00
Ginestra di Spagna	44	Altezza massima (cm)	63,0	680,0	247,6	144,1
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	35,0	650,0	189,9	140,8
		Diametro massimo della chioma (cm)	25,0	400,0	152,2	81,4

<i>specie</i>	<i>numero osservazioni</i>	<i>attributo</i>	<i>minimo</i>	<i>massimo</i>	<i>media</i>	<i>deviazione std.</i>
		Diametro al colletto (cm)	0,4	14,5	4,2	3,3
		Biomassa totale epigea (kg)	0,04	59,60	5,84	14,88
Lentisco	21	Altezza massima (cm)	27,0	380,0	151,6	105,9
		Diametro massimo della chioma (m)	0,2	3,7	1,6	1,3
		Diametro (cm)	1,0	40,0	11,4	12,3
		Biomassa totale epigea (kg)	0,01	26,60	5,79	8,28
Palma nana	23	Altezza massima (cm)	80,0	252,0	151,2	48,1
		Altezza del massimo diametro della chioma (cm)	18,0	130,0	75,0	31,0
		Diametro massimo della chioma (cm)	80,0	280,0	157,6	58,6
		Diametro al colletto (cm)	9,0	16,0	11,2	1,9
		Biomassa totale epigea (kg)	1,38	15,58	5,64	4,00

Tabella 3. Risultati dell'analisi di regressione per la stima dei coefficienti numerici dei modelli predittivi (r^2 = coefficiente di determinazione = rapporto tra devianza della regressione e devianza totale; *ess* = errore standard della stima).

<i>specie</i>	<i>equazione</i>	r^2	<i>ess (kg)</i>
Euforbia	$B = -4.390 + 0.032 * Dchioma + 0.030 * H$	0,923	1,46
Ginestra	$B = -1.119 - 2.900 * Dcoll + 0.431 * Dcoll^2 + 0.022 * Hdchioma$	0,983	2,00
Lentisco	$B = -0.394 + 1.588 * D^2$	0,866	3,11
Palma nana	$B = -11.272 + 0.721 * Dcoll + 0.059 * H$	0,816	1,80

Tabella 4. Risultati della validazione dei modelli di predizione mediante procedura *leave-one-out*.

<i>specie</i>	<i>media dei residui cancellati (kg)</i>	<i>media dei residui cancellati assoluti (kg)</i>	<i>percentuale di varianza spiegata (%)</i>
Euforbia	0,0549	1,33	89,5
Ginestra di Spagna	-0,0304	1,56	97,7
Lentisco	-0,0153	1,96	79,4
Palma nana	-0,0093	1,44	73,8

Tabella 5. Numero di rilievi di campo in funzione del grado di copertura riscontrato nei popolamenti delle specie considerate.

<i>specie</i>	<i>grado di copertura</i>					<i>numero totale</i>
	<i>(80-100%)</i>	<i>(60-80%)</i>	<i>(40-60%)</i>	<i>(20-40%)</i>	<i>(5-20%)</i>	
Euforbia	0	10	20	14	3	47
Ginestra di Spagna	0	0	2	4	4	10
Lentisco	1	1	8	12	10	32
Palma nana	0	4	15	4	4	27