

Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui invecchiati di leccio in Sardegna e di faggio in Toscana

Giada Bertini*⁽¹⁻³⁾, Gianfranco Fabbio⁽¹⁾, Maurizio Piovosi⁽¹⁾, Marco Calderisi⁽²⁾

(1) CRA-SEL, v.le S. Margherita 80, I-52100 Arezzo (Italy); (2) TerraData Environmetrics, Loc. Campo al Ciotolo 2 bis, I-58025 Monterotondo Marittimo (GR - Italy); (3) DIBAF, Università della Toscana, v. San Camillo de Lellis, I-01100 Viterbo (Italy) - *Corresponding Author: Giada Bertini (giada.bertini@entecra.it).

Abstract: Tree biomass and deadwood density into aged holm oak (Sardinia) and beech coppices (Tuscany). Current National Forest Inventory highlight the further increase over the last two decades of coppice area under the position of mature standing crop or in the post-cultivation phase, both being developed throughout the original cultivation area. This pattern, mainly due to the unprofitable fuel wood harvesting, also involved holm oak and beech forests, some of the most diffused forest covers in Sardinia, along the Apennines and pre-Alps. The alternative management option to ageing (the pro-active way of coppice conversion into high forest) has been also practiced in the public domain, but on much smaller areas as compared with those undergoing post-cultivation phase. Aged coppices located into medium-good site classes showed a positive growth pattern resulting in a high, age-related, wood matter storage. At the meantime, regular mortality occurring since former rotation into the fully-stocked shoot populations, stocked up high deadwood amounts, this becoming an outstanding attribute of these types. Carbon storage is becoming one of the major tasks attributable to these systems within the post-cultivation phase. Purposes are here to: (i) estimate living woody and standing + lying deadwood mass densities; (ii) determine deadwood/living mass ratio; (iii) verify lying deadwood decay class; (iv) analyse diversity between two sites aged likewise but different as for geographical location and tree species. A holm oak coppice aged 55 in Sardinia and a beech coppice aged 57 in Tuscany were selected at the purpose. Both stands have been developing the post-cultivation phase since two-three times the traditional rotation and represent the maximum ages in this position. Living and standing dead woody dry mass density were determined in each site by specific allometric functions. Lying deadwood amount was assessed by a sampling design covering systematically the full test area. Three decay classes were determined according to Hunter (modified). The tree species, both shade-tolerant, showed a similar pattern as for time of wood formation and its transfer to deadwood, as well. The main difference consists only in their evergreen and deciduous habit. Auto-ecology seems to be the main driver of stand development as for carrying capacity, mortality rate and survival time into the overstocked stand structures. Leaf standing mass and leaf /thin branches ratio are two and three times higher in holm oak, consistently with its biology. Living woody mass density is made basically by stem and thick branches (88%) and varies from 322 Mg ha⁻¹ (beech) to 225 Mg ha⁻¹ (holm oak). Deadwood amount ranges from 28 to 25 Mg ha⁻¹ i.e., from 9 to 11% of living woody mass. Standing deadwood is 70 to 73% of total amount. As for lying material, the intermediate decay class is prevailing: 74%, (beech) and 66% (holm oak). Both dynamics and age-related data suggest the active role these types may play in soil conservation, improvement of forest quality and carbon storage. The need of a consistent monitoring of the further post-cultivation progress is finally stressed to recognize driving forces acting, the onset of possible limiting factors and feedbacks.

Keywords: Holm oak, Beech, Aged coppice forest, Living woody biomass, Deadwood, Wood decay.

Received: Jul 21, 2011; Accepted: Mar 19, 2012; Published online: May 07, 2012

Citation: Bertini G, Fabbio G, Piovosi M, Calderisi M, 2012. Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui invecchiati di leccio in Sardegna e di faggio in Toscana. Forest@ 9: 108-129 [online 2012-05-07] URL: <http://www.sisef.it/forest@/contents/?id=efor0690-009>

Introduzione

I dati del primo Inventario forestale nazionale (MAF-ISAF 1988) riportano per il 73% dei cedui di faggio e il 65% dei cedui di leccio età superiori a 20 anni, corrispondenti allo stadio adulto (Amorini & Fabbio 1994). L'attuale Inventario (INFC 2009) colloca l'89% del bosco ceduo negli stadi adulto e "invecchiato", corrispondenti alle età rispettivamente prossima e superiore al turno. Per il faggio le due fasi assommano all'84.5% (36.9+47.6) in Toscana e al 91.8% (53.5+38.3) a livello nazionale; per il leccio, al 68.7% (59+9.7) in Sardegna e all'85.6% (51.2+34.4) a livello nazionale. Se complessivamente i valori specifici sono simili e la fase adulta (soprassuoli ancora suscettibili di utilizzazione) è sempre maggiore di quella in "invecchiamento", a livello regionale (Toscana) il faggio prevale come post-coltura mentre il leccio (Sardegna) è più presente come ceduo adulto. Questa situazione evidenzia la dinamica adattativa della gestione, che da un lato ha ridotto le utilizzazioni e posticipato i turni per aumentare le masse unitarie raccolte (Fabbio 2007), dall'altro si è confrontata con la rinuncia crescente alla coltivazione secondo il modello tradizionale (Fabbio & Bertini 2008). A livello locale, la prevalenza del tipo di proprietà pubblico/privato, la collocazione territoriale delle tipologie di bosco, l'accorpamento o piuttosto la dispersione e frammentazione delle superfici, le sollecitazioni economiche del mercato, la regolazione corrente e l'incidenza crescente di aree protette, contribuiscono a mantenere un equilibrio tra gestione e non gestione o a sviluppare la progressione della post-coltura (Fabbio 2010). Questa risulta tuttavia in aumento se si confrontano le superfici dei "cedui adulti e invecchiati" con quelle di utilizzazione recente, definite dagli stadi di sviluppo "cedui giovani e in rinnovazione".

Il faggio rappresenta ambienti di vegetazione appenninici e prealpini, il leccio caratterizza il piano basale lungo la penisola, e progressivamente quello sub-montano e montano verso sud e nelle Isole maggiori. In Toscana, come in altre aree appenniniche, la presenza diffusa dei cedui di querce caducifoglie ha marginalizzato l'utilizzazione dei cedui di faggio. In Sardegna, i cedui di leccio rappresentano invece ancora i soprassuoli più produttivi. Due contesti quindi molto diversi in cui le due specie si accomunano per la collocazione sub-montana e montana e le valenze di protezione territoriale che ne derivano, soprattutto in Sardegna, dove i cedui di leccio sono anche la copertura forestale residuale più rilevante. In questo quadro, la post-coltura realizza l'opportunità del ri-

pristino di sistemi forestali più complessi e strutturati per il maggiore tempo di permanenza del soprassuolo.

I boschi di origine cedua si presentano oggi in condizioni molto diversificate in funzione della fertilità iniziale, del numero di ceduazioni subite, dell'intensità e qualità della coltivazione. Dove il bosco ha mantenuto continuità e il suolo fertilità sufficiente, il mancato periodico azzeramento della massa epigea ha consentito di occupare e articolare uno spazio di crescita superiore. Si va così consolidando una fase successiva in cui queste strutture assumono attributi qualitativi nuovi per i processi bio-ecologici collegati al maggiore tempo di sviluppo. Questi tipi sono a oggi studiati fino ad età massime non superiori a due, tre volte quelle del turno tradizionale (Amorini & Fabbio 2009).

Le maggiori biomasse per unità di superficie sono il risultato della prolungata ripresa dell'accrescimento registrata in queste strutture successivamente alla prima culminazione incrementale di poco seguente le età della tradizionale raccolta (Amorini & Fabbio 1986, 1988, 1989, 1990). Il contemporaneo accumulo di necromassa legnosa è il prodotto dell'elevato livello di competizione che avviene fino dalle stesse età. La produzione sostenuta di biomassa, la sua trasformazione in necromassa e il suo progressivo decadimento nel suolo significano sequestro e accumulo di carbonio, e sono quindi espressione della funzione ambientale emergente di mitigazione, non più condizionata dalle utilizzazioni del soprassuolo ripetute a turni brevi (Fabbio et al. 2003).

Se la componente biomassa è stata oggetto di diversi contributi che riportano modelli allometrici appositamente sviluppati per queste tipologie (Amorini & Fabbio 1988, Hermanin & Pollini 1990, Hermanin & Belosi 1993, Amorini et al. 1995, Piovesan et al. 1995, Brandini & Tabacchi 1996, La Marca et al. 1998, Amorini et al. 2000, Fabbio et al. 2002, Marziliano 2002, Corona et al. 2007, Nocetti et al. 2007), soltanto da pochi anni la necromassa è diventata oggetto di indagine negli stessi tipi (Guby & Dobbertin 1996, Chirici et al. 2003, Travaglini et al. 2006, Bertini & Fabbio 2006, La Fauci & Mercurio 2008, Marziliano 2009, Bertini et al. 2010).

L'interesse per questa componente nasce dai molteplici significati della necromassa sulla fisiologia e sull'evoluzione delle popolazioni, delle comunità, degli ecosistemi (Franklin et al. 1987). Una definizione recente di necromassa è quella del *Global Forest Resources Assessment* (FAO 2004): "necromassa è tutta la biomassa legnosa non vivente non contenuta nella

lettiera, in piedi, a terra e nel suolo" (Morelli et al. 2007). La necromassa comprende alberi interi morti in piedi e a terra, rami, frammenti di legno, ceppaie (Li Zhou et al. 2007). La presenza di massa legnosa morta è rilevante per la funzionalità (Keddy & Drummond 1996, Jonsson & Kruys 2001, Vallauri et al. 2003, MCPFE 2007) e la produttività delle foreste (Harmon et al. 1986, Freedman et al. 1996, Stevens 1997), ed è collegata al mantenimento di un ampio spettro di diversità biologica, in quanto microhabitat di centinaia di specie di invertebrati, funghi, briofite, licheni, anfibi, piccoli mammiferi e uccelli (Norden et al. 2004, Woodall & Nagel 2006, Ekblom et al. 2006, Marchetti & Lombardi 2006, Travaglini et al. 2006, Liira et al. 2007), allo stoccaggio e al rilascio graduale del carbonio e dei nutrienti nel suolo (Kirby et al. 1991, Turner et al. 1995, Laiho & Prescott 1999, Holub et al. 2001, Janisch & Harmon 2001, Mackensen & Bauhus 2003), al mantenimento di condizioni favorevoli alla rinnovazione naturale e alla creazione di substrati adatti alla germinazione (Harmon & Franklin 1989, Stockli 1996, Grey & Spies 1997, Xu 1998), alla conservazione del suolo e della stabilità dei versanti, limitando l'erosione per azione battente dell'acqua, trattenendo l'umidità e offrendo un'efficace protezione dal congelamento (Pesson 1980, Falinski 1986, Prescott et al. 1993, Hagan & Grove 1999, Bobiec 2002, Lousier & Parkinson 1979, Salvadori et al. 2009). Per questi motivi, la necromassa è tra gli indicatori di Gestione Forestale Sostenibile (Criterio 4: mantenimento, conservazione e sviluppo della diversità biologica negli ecosistemi forestali - MCPFE 2007).

La dinamica accelerata dei cedui di medio-buona fertilità nella fase di post-coltura e l'entità delle superfici occupate da queste tipologie rende questa funzione rilevante, perché biomassa e necromassa, insieme a lettiera e suolo, rappresentano *pool* accreditabili ai fini di Kyoto (UNEP 1997) e quindi elementi di contabilità ambientale.

Nei cedui, soprassuoli giovani formati da dendrotipi medio-piccoli, predomina la mortalità per competizione (*regular mortality* - Oliver & Larsson 1990) e la componente prevalente della massa legnosa morta, soprattutto a terra, è costituita da elementi di dimensioni molto ridotte e frammentati.

Quasi tutti i lavori in letteratura rappresentano tuttavia la condizione di fustaie mature e vetuste caratterizzate dalla fase terminale di elementi dominanti di medie e grosse dimensioni. I metodi di censimento fissano di conseguenza soglie diametriche minime di rilievo relativamente alte. Le linee guida del Pro-

TOCOLLO di Kyoto suggeriscono di inglobare nella lettiera tutto il materiale inferiore alla soglia di 10 cm (IPCC 2006, Morelli et al. 2007). Questo è il limite inferiore più utilizzato per il campionamento del legno morto (Kruys & Jonsson 1999, Fridman & Walheim 2000, Nilsson et al. 2002, Norden et al. 2004, FAO 2004); soltanto in pochi casi lo stesso scende a 5 o 2.5 cm (Siitonen et al. 2000, Peterken 1996). La soglia di 10 cm divide, in molte analisi, necromassa grossa (CWD) e fine (FWD). I frammenti di necromassa legnosa di piccole dimensioni vengono di regola considerati parte integrante della lettiera se inferiori a 2.5 cm di diametro (Woldentorp et al. 2002, Morelli et al. 2007). Altri autori (Hegetschweiler et al. 2009) li classificano invece nella categoria necromassa molto fine (VFWD). La dimensione diametrica è un fattore rilevante per qualità e quantità della diversità biologica ospitata e si collega al processo di decadimento, ai tempi di decomposizione, al contenuto nutrizionale (Yan et al. 2006).

Obiettivi del lavoro sono: (i) la stima delle densità di massa legnosa viva e di necromassa in piedi e a terra, senza limiti dimensionali minimi di censimento e di raccolta per approssimare la sua determinazione alla quantità reale presente; (ii) la definizione dei rapporti tra stati della necromassa (in piedi/a terra) e massa viva; (iii) la ripartizione della necromassa a terra in classi di decadimento; (iv) l'analisi di due siti diversi per collocazione geografica e composizione, ma simili per storia culturale, età e fototemperamento specifico.

Materiali

I casi di studio sono rappresentati da un ceduo di faggio del pre-Appennino toscano e da un ceduo a prevalenza di leccio della Sardegna sud-occidentale, entrambi in fase di post-coltura (Tab. 1 e Tab. 2, Box 1). I due siti sono parte dei protocolli permanenti realizzati e monitorati dal Centro di ricerca per la Selvicoltura di Arezzo (CRA-SEL).

- *Sito (a)*. Ubicato nel complesso forestale (2360 ha) Alpe di Catenaia (Arezzo), che prosegue il rilievo orografico oltre i monti della Verna e divide Casentino e alta Valtiberina, località Buca Zamponi. Stazione pre-appenninica montana su terra bruna non pienamente evoluta da scisti argillosi alternati a marne e arenarie fini. Suolo mediamente profondo, fertilità buona. Clima umido, mesotermico, con deficit idrico estivo ridotto.
- *Sito (b)*. Foresta di Pula (9500 ettari) nel complesso montuoso che chiude a Ovest il Golfo di Cagliari, località Sa Spinarba (Is Cannoneris). Stazione sub-

Tab. 1 - Descrizione stazionale.

Sito	Coordinate geografiche	Quota (m s.l.m.)	Esp.	Giacitura	Precipitazione media annua estiva (mm)	Temp. media annua mese + caldo (°C)
Catenaia (a)	43°40'N	1000	SO	alto versante/	1170	9.3
	11°55'E			pendenza moderata	172	19.4
Is Cannoneris (b)	39°03'N	900	SE	alto versante/	1000	15
	08°50'E			pendenza moderata	35	21

costiera montana su terre brune mediterranee delle foreste xerofile e mesofile. Substrato di rocce granitiche a struttura porfirica. Fertilità buona. Clima sub-umido con marcato deficit idrico estivo mitigato dalla giacitura/ esposizione e dalla presenza notturna anche estiva di umidità atmosferica per intercettazione delle nebbie marine.

Oggi, a distanza di quasi sessanta anni dall'ultima ceduzione, i parametri descrivono soprassuoli di età da doppia a tripla degli ultimi turni applicati. La consistenza delle popolazioni (polloni e ceppaie vive), il numero dei polloni per ceppaia, i valori di area basimetrica e altezza dominante, il rapporto diametro medio/dominante, esprimono la fase di post-coltura osservata. Per approfondimenti sui siti e sui temi di ricerca sviluppati, si rimanda a Amorini & Gambi 1977, Amorini & Fabbio 1986, Amorini et al. 1990, 2010, Cutini et al. 2010 (faggio); Amorini et al. 1996a, 1996b, 1997, 1998, Fabbio et al. 1996, 1998a, 1998b, Cutini & Mascia 1998 (leccio).

Metodi

Per entrambe i siti, sono state considerate le aree di controllo (evoluzione naturale) del disegno sperimentale originale. (Amorini et al. 1996a 1996b, Amorini & Gambi 1977). Nel sito (a) la tesi di controllo è rappresentata da un'unica parcella di 5000 m² (50 x 100 m); nel sito (b) la stessa tesi è inserita in un disegno a blocchi randomizzati con tre repliche e aree di 1600 m² (40 x 40 m).

Determinazione della biomassa epigea e della necromassa in piedi

I rilievi dendrometrici sono consistiti nella misurazione della circonferenza a 1.30 m degli alberi vivi e morti di tutte le specie presenti. Sito (a): misura campionaria delle altezze per la popolazione polloni vivi e morti in piedi, interi, cimati e stroncati; sito (b): costruzione della relazione ipso-diametrica soltanto per i polloni vivi di leccio, dato che quelli morti in piedi si mantengono in genere integri e comprensivi

di cimale fino alla caduta e sono assimilabili ai dendrotipi vivi.

Le densità di biomassa e di necromassa in piedi, espresse in peso secco (Mg ha⁻¹), sono state calcolate tramite relazioni allometriche specifiche costruite su alberi modello misurati nei due siti (Amorini et al. 1995 per il faggio; Brandini & Tabacchi 1996, Fabbio et al. 2002 per il leccio). I modelli forniscono i valori di: volume (dm³) e peso (kg) del fusto + rami grossi (>3 cm) e dei rami sottili (≤ 3 cm); il peso totale legnoso epigeo. Per le determinazioni sul corbezzolo, unica altra specie arborea di rilevanza dendrometrica nel sito (b), l'analisi si è limitata alle relazioni tra le diverse espressioni della biomassa arborea e il diametro. Il portamento prostrato della specie sconsiglia infatti l'impiego dell'altezza dendrometrica tra le variabili esplicative nei modelli di previsione (Brandini & Tabacchi 1996).

Per la determinazione del volume dei polloni morti in piedi di faggio cimati e stroncati (sito a), sono stati calcolati i coefficienti di riduzione per classi di diametro e altezze di rottura diverse e quindi il peso secco via densità basale. I rilievi sono stati condotti nel periodo invernale in assenza di foglie. La produzione annuale di massa fogliare è stata calcolata per campionamento con il metodo della raccolta tramite trappole (Cutini 1994). Nel sito (b), la massa fogliare è stata determinata per separazione campionaria delle componenti rami sottili e foglie e la produzione annuale misurata tramite trappole. La massa epigea calcolata, così come per casi analoghi (Bertini et al. 2010), è considerata comprensiva della massa fuori terra delle ceppaie.

Determinazione della necromassa a terra

La componente necromassa legnosa a terra è stata determinata per campionamento sistematico in funzione del disegno sperimentale. Nel sito (a) sono stati realizzati 3 allineamenti paralleli a metà del terzo superiore, medio e inferiore dell'area e individuate su ciascuno 5 aree elementari di 5.4 m² (15 in totale)

Box 1 - La storia culturale dei due soprassuoli.

Le informazioni di archivio riportano situazioni diverse per le due foreste, esemplificative di forme consolidate del governo a ceduo e dell'uso multiplo associato, pascolo soprattutto; nel secondo caso, anche dell'inversione relativamente recente nel rapporto ceduo/fustaia avvenuto tra il 1868 e il 1911 (Agnoletti 2003).

I boschi dell'Alpe della Catenaia, attualmente gestiti dalla C.M. del Casentino, sono così descritti da Di Tella (1915) nel Piano di Assestamento del 1915: "Tutta la superficie era compresa nell'estesa proprietà privata detta Tenuta di Valenzano. Nella fascia del faggio, i soprassuoli erano governati a ceduo con turni di 25-26 anni, pari al raggiungimento di diametri medi dai 6 ai 10 cm per la produzione di carbone di qualità "cannuolo", la più remunerativa allora. Tre le classi di produttività corrispondenti ad incrementi medi di maturità da 3 a 1.5 m³ ha⁻¹. Tutti i boschi erano a dotazione e ripartiti tra i poderi di collina e di montagna e sottoposti a un moderato pascolo ovino e bovino. Conseguentemente, i tagli del ceduo erano regolati in modo che nella superficie assegnata a un podere essi si seguissero a intervalli di almeno tre o quattro anni. In tal modo, mentre una sezione cadeva al taglio, l'altra attigua poteva riaprirsi al pascolo che veniva così a disporre costantemente della stessa estensione di bosco".

L'archivio AFDRS (Ente Foreste Regione Sardegna 2000) descrive gli anni successivi alla seconda metà dell'800 per la foresta demaniale di Pula che, come alcune delle principali foreste di leccio dell'isola, si era mantenuta ad alto fusto nonostante gli usi civici collettivi di legnatico, ghiandatico ed erbatico. "Con l'avvento del Regno di Sardegna prima e poi del Regno d'Italia e le leggi promulgate tra il 1863 e il 1865 che abolivano i diritti degli "ademprivi" (usi civici, caratteristici della Sardegna, consistenti nel godimento collettivo della terra, specialmente del pascolo), la superficie che costituisce il nucleo originale della foresta fu assegnata alla Compagnia Reale delle Ferrovie Sarde (1864) che la tenne fino al 1870 tra mille controversie e liti tra quanti ne pretendevano il possesso; fu quindi restituita al Demanio che la vendette, nel 1881, a tale Tonietti, imprenditore boschivo. Questi utilizzò tutto il soprassuolo a taglio raso senza riserve per ricavarne legname, carbone e scorza da tannino. L'utilizzazione massiccia in pochi anni fu resa possibile dalla costruzione di un'apposita strada ferrata che consentiva il trasporto del materiale fino alla costa. Terminato il taglio nel 1887, il Tonietti cedette la proprietà a un privato locale che utilizzò il suolo forestale per pascolo. Rifiutatosi il proprietario di eseguire le opere idrauliche sistematorie, il fondo ritornò allo Stato nel 1905 per devoluzione. All'atto dei primi lavori di ripristino, la superficie era popolata da lentisco, fillirea e corbezzolo con poche ceppaie di leccio, danneggiate dagli incendi e dal pascolo. Con la Legge Luzzatti del 1910, la stessa fu trasferita all'Azienda demaniale come bene suscettibile di sola coltura forestale". In soli due decenni (1881-1905), avvenne così la completa demolizione dell'originaria copertura forestale. Un articolo su l'Alpe (Inghilleri 1928) ripercorre gli ultimi secoli di utilizzazione di queste foreste e riferisce dello stato miserevole dei boschi in provincia di Cagliari e dei problemi della loro ricostituzione all'inizio del secolo scorso.

Nel sito (b), sono state rilevate 4 aree di raccolta di 6.75 m² isodisposte sulle diagonali di ciascuna parcella (12 in totale). La superficie complessiva di campionamento risulta così eguale in entrambi i siti e pari a 81 m² secondo il criterio già utilizzato in rilievi

dello stesso tipo (Bertini et al. 2010), che ha privilegiato la ripetizione della raccolta su aree piccole ma numerose per controllare la variabilità di accumulo del materiale a terra.

Dato l'obiettivo del lavoro di censire il materiale

Tab. 2 - Parametri dendrometrici (fonte: Amorini et al. 2010, Bertini & Fabbio 2006).

Sito	Età anni	Ceppaie vive (n ha ⁻¹)	Polloni vivi (n ha ⁻¹)	Polloni/ceppaia (n)	G (m ² ha ⁻¹)	I _m G (m)	d _m (cm)	d _{dom} (cm)	h _{dom} (m)	I _m h _{dom} (m)
Catenaia (a)	57	744	2580	3.5	45.3	0.8	15	33	25.1	0.44
Is Cannoneris (b)	55	2813	6000	2.1	50.6	0.9	11.7	21	13.9	0.25

legnoso senza limiti dimensionali minimi (*coarse* → *medium* → *fine woody debris* - Lee et al. 1997), la raccolta ha compreso tutti gli elementi legnosi ancora riconoscibili sopra e nello strato di lettiera per ottenere una stima quanto più possibile accurata.

Determinazione delle classi di decadimento

Il decadimento del legno è funzione di caratteristiche specifiche, dimensioni, stato al momento della caduta, tempo trascorso, condizioni micro-ambientali (radiazione, temperatura e umidità), che determinano il livello di attività dei decompositori e della diversità biologica (comunità di organismi) associata ai vari stadi del processo. La classificazione adottata è quella di Hunter (1990) modificata riunendo in tre categorie le cinque originali (Tab. 3). Questo raggruppamento ha consentito di adattare le classi alla tipologia di materiale e di semplificare e rendere meglio replicabile il criterio di attribuzione. L'ordinamento si basa su precisi parametri fisionomici - presenza-assenza di corteccia, presenza-assenza di gemme e/o rametti - e caratteristiche distinguibili al tatto - grado di consistenza del legno.

Sono stati quindi misurati e calcolati: il peso allo stato "fresco" per classe e totale per ciascuna area elementare e per la superficie complessiva di campionamento.

Per ciascuna classe sono stati formati due campioni: un campione (a) tramite estrazione casuale semplice (n = 30) ; un campione (b), formato dagli elementi con forma regolare e ancora apparentemente intatta (cilindrici), in numero variabile da 10 a 30 in proporzione alle quantità presenti in ciascuna classe. I campioni stati sottoposti alle seguenti deter-

Tab. 3 - Definizione delle classi di decadimento e corrispondenza con le classi originali di Hunter (1990).

Classe	Definizione	Classi Hunter
classe A	corteccia intatta, rametti e gemme presenti (anche foglie), tessitura intatta.	1
classe B	corteccia presente - tracce di corteccia - assenza di corteccia, rametti e gemme assenti, legno di consistenza dura.	2+3
classe C	tracce di corteccia - assenza di corteccia, legno di consistenza morbida e tessitura molto friabile (polverosa)	4+5

minazioni di laboratorio:

- peso "fresco" (approssimazione 0.1 g - a);
- volume per via geometrica (superficie ortogonale mediana x lunghezza - b);
- peso secco in stufa ventilata alla temperatura di 102°C, fino a peso costante (in media 72 ore - a+b).

Sulla base delle analisi di laboratorio, sono stati quindi calcolati:

- rapporto ponderale (a);
- densità basale (b);
- peso secco per classe e per superficie di campionamento;
- densità di necromassa in peso secco e volume (Mg ha⁻¹ e m³ ha⁻¹).

Il calcolo della densità basale ha permesso di trasformare il valore di necromassa totale (peso secco) in volume e quindi il confronto con i valori in letteratura, in genere espressi in m³ ha⁻¹.

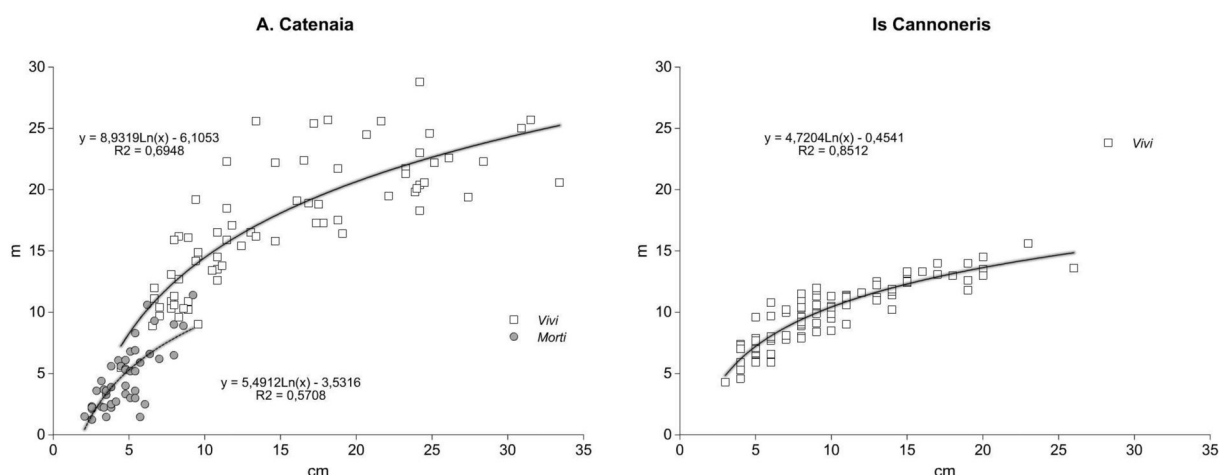


Fig. 1 - Relazione ipso-diametrica per le popolazioni dei polloni vivi e morti in piedi.

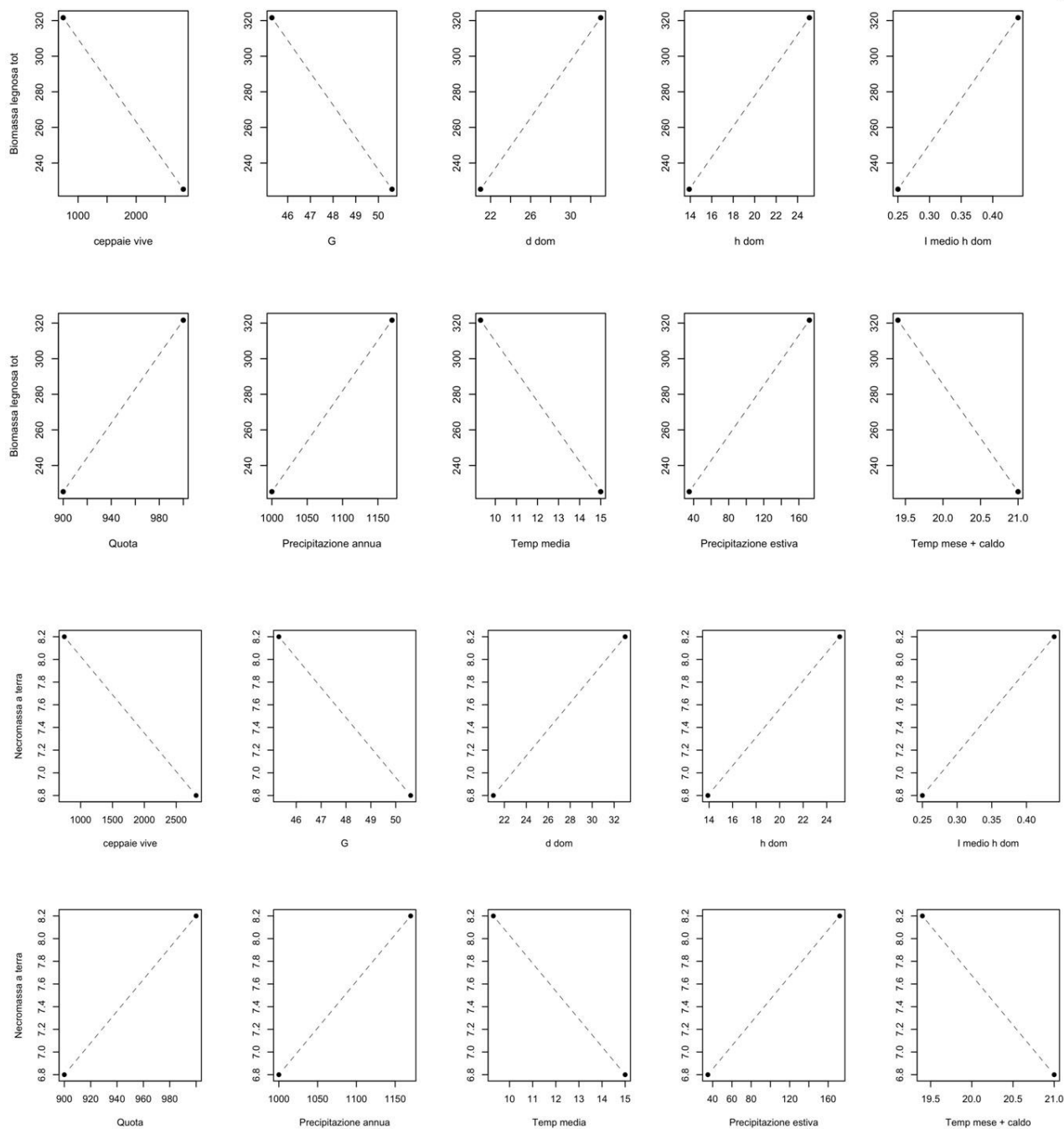


Fig. 2 - Relazioni tra i valori di biomassa e necromassa ed i parametri dendrometrico/descrittivi nei due siti.

Tutti i valori di biomassa e necromassa espressi in sostanza secca sono traducibili in contenuto di C applicando un coefficiente di conversione pari a 0.5 (Cannell & Dewar 1995) o pari al valore determinato sperimentalmente per specie e tipologia di massa legnosa variabile da 0.4895 a 0.494 per le querce e da 0.4914 a 0.493 per il faggio (Matthews 1993).

I dati di distribuzione della necromassa a terra e i rapporti ponderali, per sito e classe, sono stati mediante analizzati con l'analisi della varianza (ANO-

VA con test *post-hoc Tukey's honest significance test*). I valori di densità basale per sito sono stati invece confrontati con il test *t* di Student. Le elaborazioni sono state eseguite con il software statistico *open source R* (R Development Core Team 2011).

Risultati

Parametri dendrometrici

I valori dendrometrici (Tab. 2) evidenziano, a età

circa eguali, i caratteri dei due soprassuoli. Il tipo (a), quasi puro di faggio, si articola su un numero molto inferiore di ceppaie e di polloni e comunque mantiene un rapporto polloni/ceppaie più elevato. Il tipo (b), a prevalenza di leccio (71%) e con presenza complementare di corbezzolo (28%) e accessoria di fillirea, ginepro, erica arborea, ha una densità molto superiore. I valori di area basimetrica complessiva, elevati in rapporto alle età (Fabbio & Amorini 2006, Amorini et al. 2010, Bertini 2012), sono poco diversi

tra le due popolazioni e descrivono densità colme e l'occupazione totale dello spazio di crescita. L'incremento medio annuo di area basimetrica, di poco inferiore a $1 \text{ m}^2 \text{ anno}^{-1}$, esprime livelli di fertilità medio-elevati. Il diametro medio si differenzia coerentemente alle densità correnti e in entrambi i soprassuoli ha un valore pari circa alla metà rispetto al diametro dominante. L'altezza dominante è quasi doppia nel sito a (faggio) rispetto al sito b (leccio).

Le curve ipsometriche dei polloni vivi (Fig. 1) han-

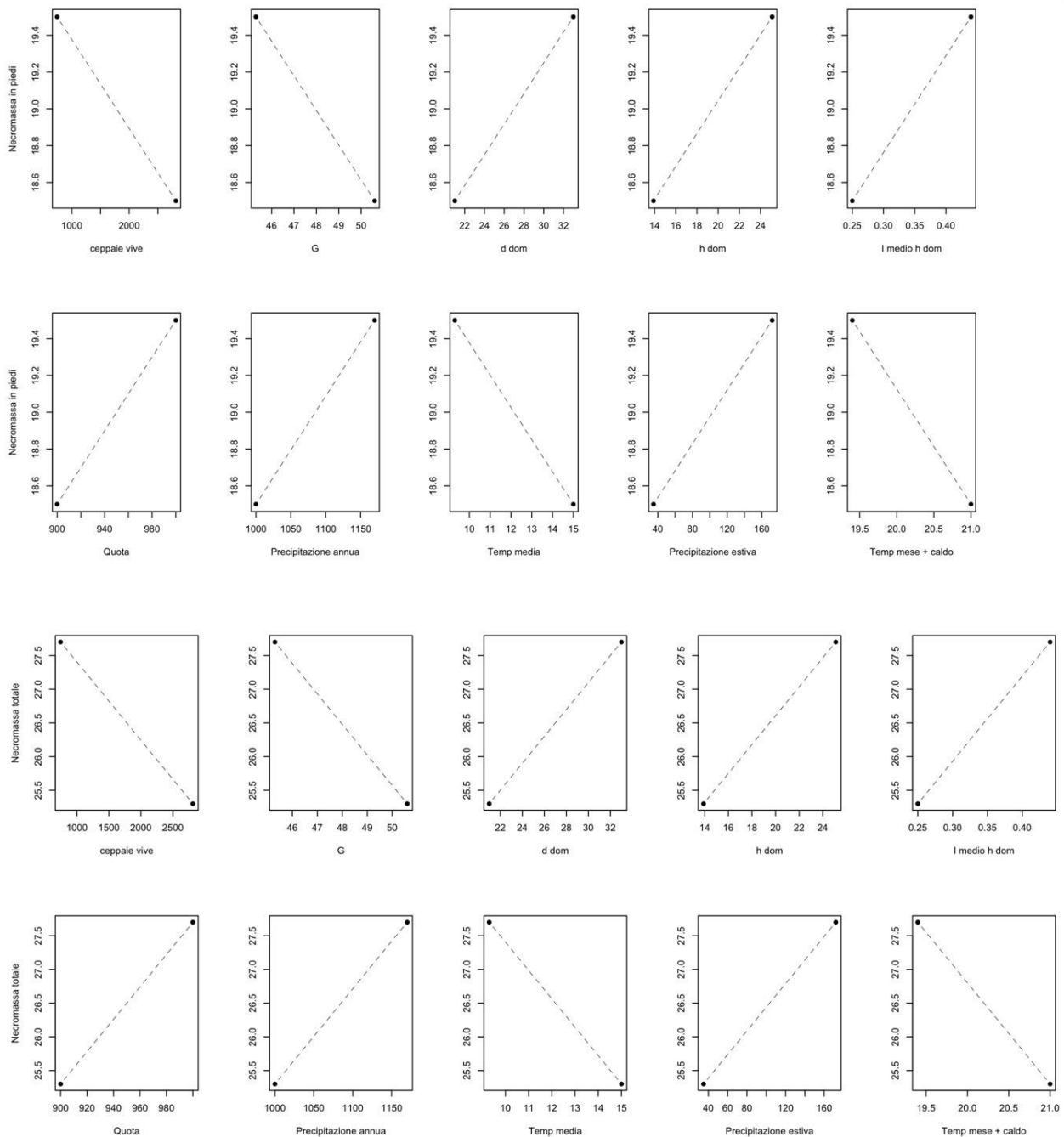


Fig. 3 - Relazioni tra i valori di biomassa e necromassa ed i parametri dendrometrico/descrittivi nei due siti.

Tab. 4 - Densità di biomassa e di necromassa, incrementi e allocazioni relative. Valori espressi in peso secco ($Mg\ ha^{-1}$ e $Mg\ ha^{-1}\ a^{-1}$). (1) Cutini et al. 2010; (2) Amorini et al. 1996a.

Tipo	Parametro	Catenaia (a)	Is Cannoneris (b)
		Età anni	57
Biomassa legnosa	Fusto + rami grossi	284	198.6
	Rami sottili	37.6	26.7
	Totale	321.6	225.3
	Im biomassa legnosa	5.6	4.1
Biomassa fogliare	Massa fogliare	3.8 ⁽¹⁾	7.3 ⁽²⁾
	Massa fogliare / rami sottili	0.1	0.27
	Massa fogliare / legn. tot. (x100)	1.18	3.24
Necromassa legnosa	In piedi	19.5	18.5
	A terra	8.2	6.8
	Totale	27.7	25.3
	Accumulo medio necromassa legn. totale	0.5	5

no pendenza diversa risultante della maggiore stratificazione verticale delle altezze nel sito (a), in cui anche la dispersione dei valori misurati è più ampia nel campo diametrico intermedio. Nello stesso sito, le altezze di stroncamento dei polloni morti in piedi sono

molto variabili per i diametri piccoli-intermedi (2-7 cm) e limitate alla parte terminale nei soggetti di diametro maggiore (fino a 10 cm). Nel sito (b) la relazione ipso-diametrica è stata costruita solo sui polloni vivi (vedi metodo).

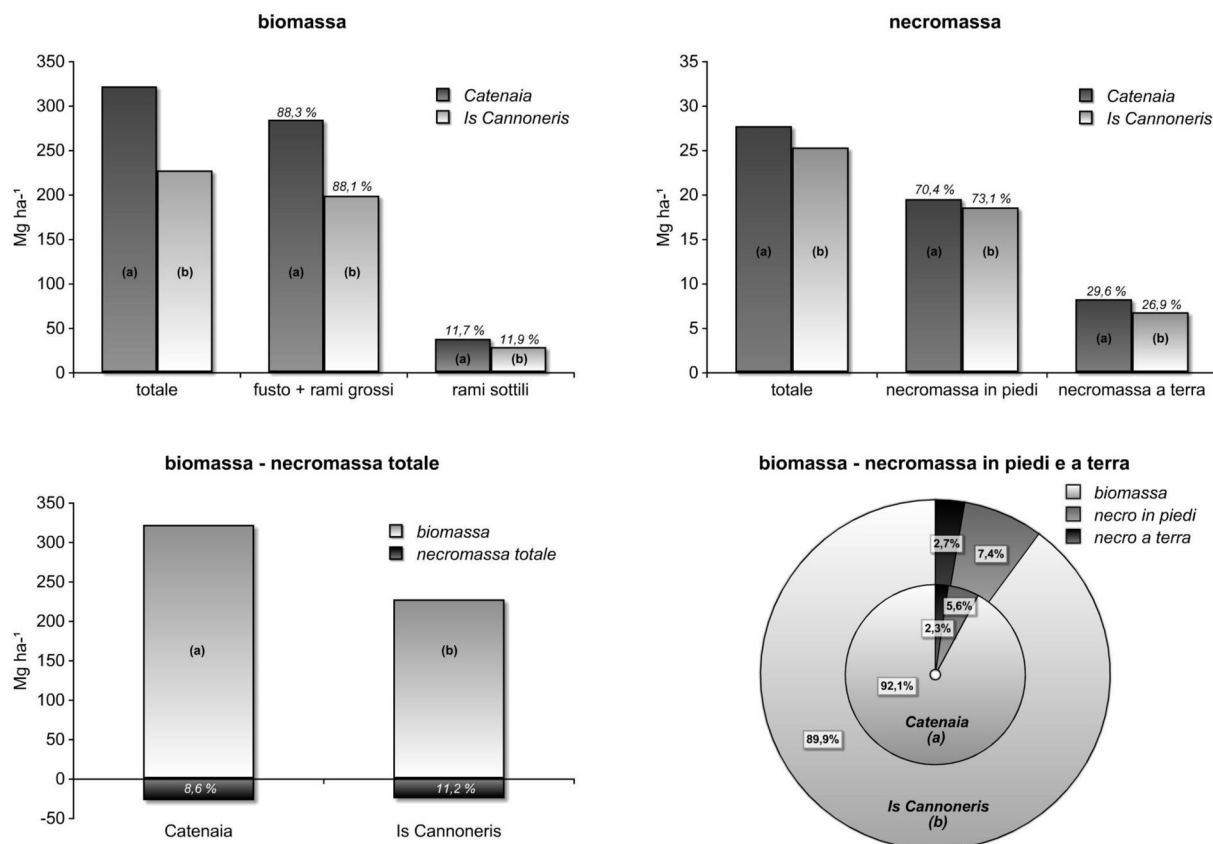


Fig. 4 - Relazioni percentuali per componente e tra le componenti la massa legnosa.

Tab. 5 - Statistiche dendrometriche relative alla popolazione dei polloni morti in piedi.

Parametro	Catenaia (a)	Is Cannoneris (b)
Età anni	57	55
Polloni morti (n ha ⁻¹)	2658	2690
dm (cm)	5.7	5.5
G (m ² ha ⁻¹)	6.77	6.4
Valore modale (cm)	4	4
Campo var. diam. (cm)	3-12	3-11

Le relazioni tra i valori di biomassa e necromassa e i parametri dendrometrico/descrittivi sono riportate in Fig. 2 e Fig. 3.

Densità di biomassa e necromassa in piedi e a terra

I due soprassuoli (Tab. 4) hanno valori di biomassa pari a 322 e 225 Mg ha⁻¹. In entrambi la massa del fusto e dei rami grossi costituisce l'88% del totale (Fig.

4). I valori di incremento medio di biomassa (4.1-5.6 Mg ha⁻¹ anno⁻¹) indicano una dinamica di accrescimento sostenuta. La massa fogliare è quasi doppia nella specie sempreverde (7.3 contro 3.8 Mg ha⁻¹), la produzione annuale è pari a 3.2 Mg ha⁻¹ e il suo tempo di *turnover* è di 2.3 anni. La produzione media annuale di lettiera totale è pari a 5.2 (a) e 4.5 Mg ha⁻¹ (b) (Amorini et al. 1996a, Cutini et al. 2010). Il rapporto massa fogliare/massa dei rami sottili, variabile da 0.10 (a) a 0.27 (b), e quello massa fogliare/massa legnosa totale (x100), 1.18 (a) e 3.24 (b), differenziano la specie caducifolia dalla sempreverde.

I valori di necromassa totale sono simili: 27.7 (a) e 25.3 (b) Mg ha⁻¹; l'accumulo medio annuale è eguale e pari a 0.5 Mg ha⁻¹anno⁻¹. La necromassa totale rappresenta circa il 9 (a) e 11% (b) della massa viva (Fig. 4) nei due siti. I rapporti percentuali necromassa in piedi/a terra sono 70/30 (a) e 73/27 (b).

Il numero dei polloni morti in piedi (Tab. 5) è simile nei due siti: 2658 (a), 2690 (b); il diametro medio (6 cm) e i valori modali (4 cm) sono eguali; l'escursione

Tab. 6 - Valori di densità della necromassa a terra e valori rilevati nelle aree di campionamento, per classe di decadimento.

Sito	Età	Necromassa a terra (Mg ha ⁻¹)			Media (d.s.) per aree elementari (Kg)		
		Classe A	Classe B	Classe C	Classe A	Classe B	Classe C
Catenaia (a)	57	0.33	6.10	1.78	0.2 ± 0.2	3.3 ± 2.5	1 ± 1
Is Cannoneris (b)	55	0.10	4.46	2.19	0.07 ± 0.07	3.0 ± 1.8	1.5 ± 0.7

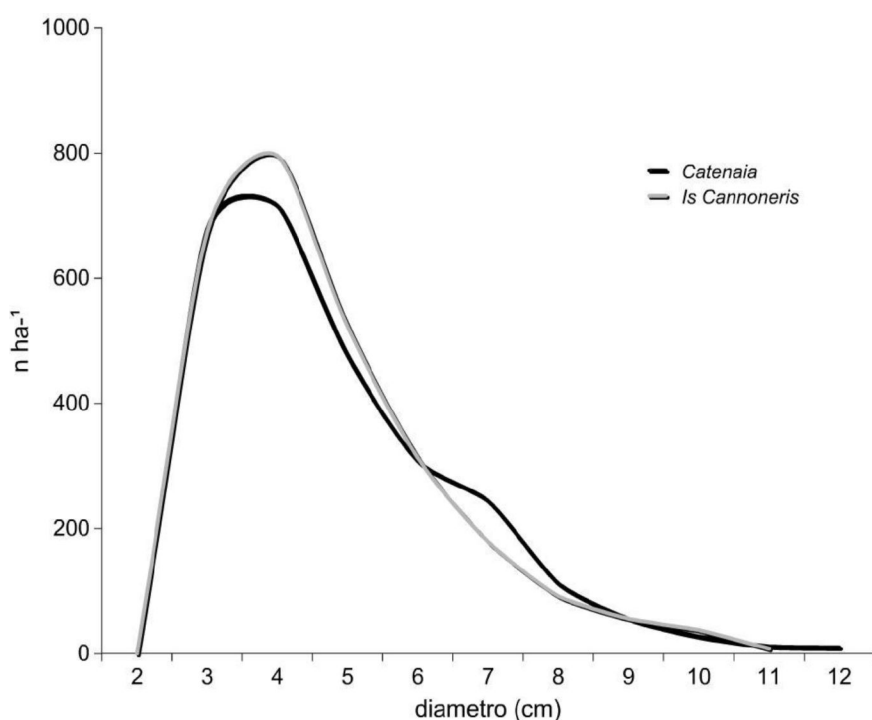
**Fig. 5** - Distribuzione di frequenza dei polloni morti in piedi nelle due popolazioni.

Fig. 6 - Distribuzione percentuale della necromassa in classi di decadimento.

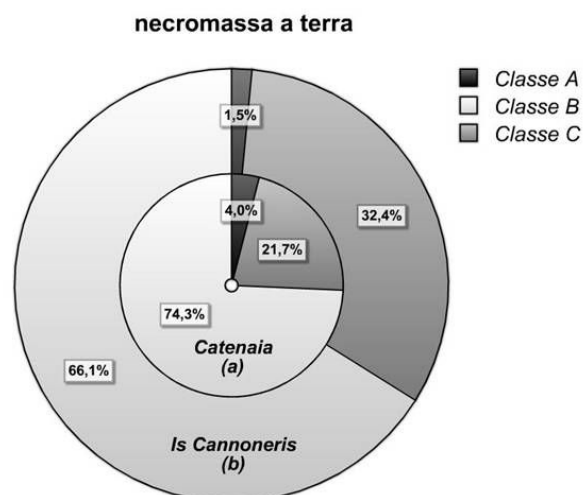
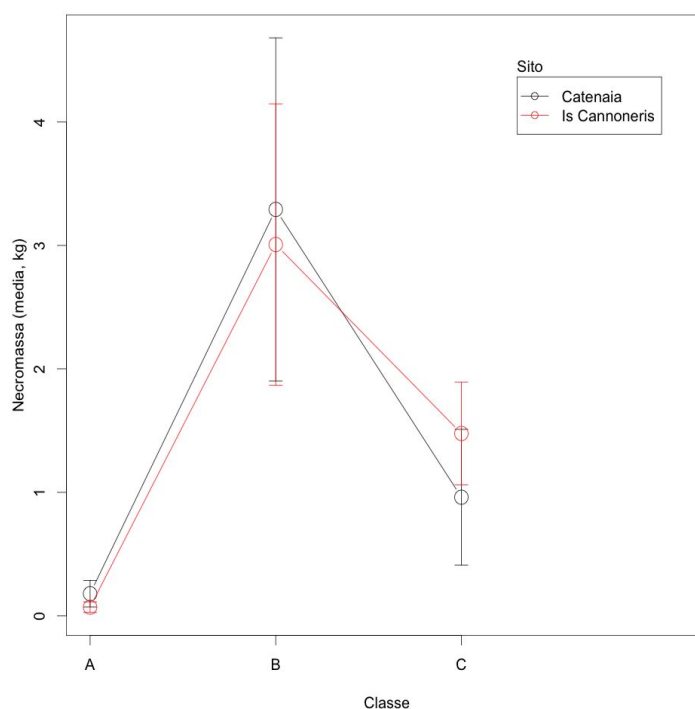


Fig. 7 - Confronto tra la quantità di necromassa per classe di decadimento. Le barre indicano gli intervalli di confidenza.



Tab. 7 - Valori degli indici di conversione e determinazione del volume della necromassa in piedi e a terra.

Sito	Densità basale media (gdm^{-3})	Volume (m ha^{-1})			Rapporto ponderale necromassa a terra (peso secco / peso fresco)	
		in piedi	a terra	tot.	classe A	classe B
Catenaiia (a)	0.37 ± 0.13	52.7	22.2	74.9	classe A	0.72 ± 0.04
					classe B	0.55 ± 0.06
					classe C	0.40 ± 0.04
					media	0.56 ± 0.14
Is Cannoneris (b)	0.54 ± 0.14	34.3	12.5	46.8	classe A	0.77 ± 0.11
					classe B	0.76 ± 0.05
					classe C	0.67 ± 0.07
					media	0.73 ± 0.09

Tab. 8 - Analisi della varianza della distribuzione di necromassa.

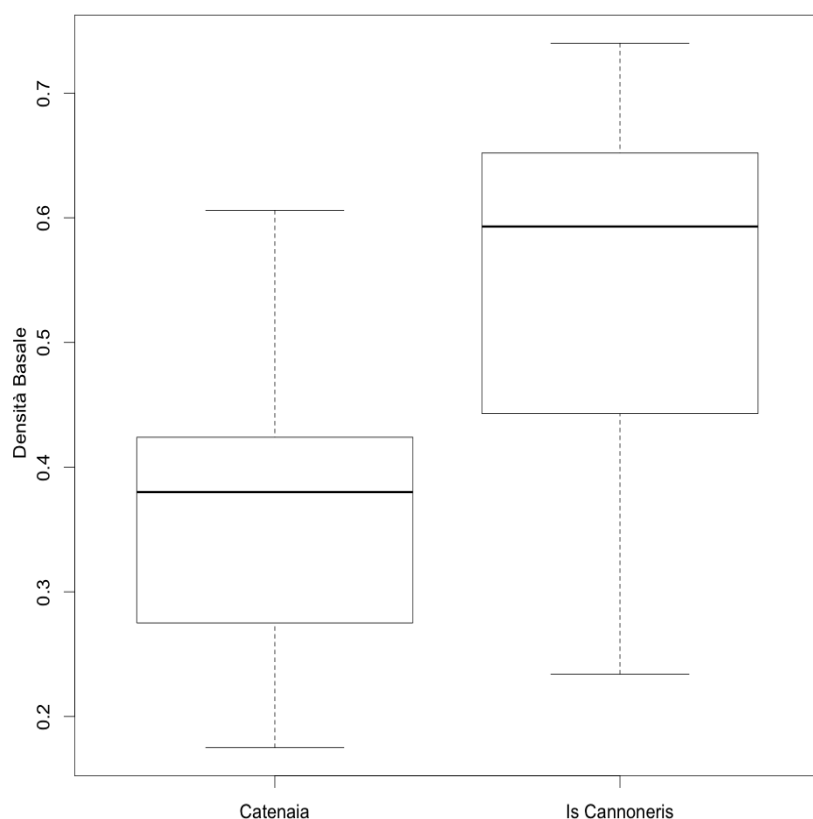
Componente	df	SS	MS	F value	p-value
Sito	1	0.033	0.033	0.0175	0.0175
Classe	2	128.115	64.058	33.6822	3.65e-11 ***
Sito x Classe	2	2.361	1.181	0.6207	0.5403
Residui	75	142.637	1902	-	-

Tab. 9 - Analisi della varianza della distribuzione di necromassa. Test *post-hoc* di Tukey HSD.

Classi	diff	lwr	upr	P-adj
B - A	3.034855	2.1373870	3.932324	0.0000000
C - A	1.059427	0.1619588	1.956896	0.0165950
C - B	-1.975428	- 2.8728966	- 1.077960	0.0000039

Tab. 10 - Analisi della varianza dei rapporti ponderali.

Componente	df	SS	MS	F	p-value
Sito	1	0.62385	0.62385	157.516	<2.20e-16***
Classe	2	0.68077	0.34038	85.944	<2.20e-16***
Sito x Classe	2	0.18203	0.09101	22.98	1.64e-08***
Residui	75	0.29704	0.00396	-	-

**Fig. 8** - Analisi della varianza dei rapporti ponderali per sito e classe di decadimento.

diametrica è quasi coincidente (Fig. 5). Entrambe le distribuzioni hanno asimmetria positiva. L'area basimetrica rappresentata dalla necromassa morta in piedi è compresa tra i 6 e i 7 m² ha⁻¹.

Necromassa a terra e classi di decadimento

La distribuzione della necromassa a terra (Tab. 6 e Fig. 6) indica (a) - (b) la prevalenza della classe B (74-66%); seguono, molto distanziate, la classe C (22-32%) e la A (4-1.5%).

I valori medi di densità basale e rapporto ponderale (Tab. 7) variano secondo le caratteristiche specifiche del legno (leccio > faggio). Il volume della necromassa in piedi varia da 53 (a) a 34 (b), di quella a terra da 22 (a) a 12 (b), della necromassa totale da 75 a 47 m³ ha⁻¹.

I rapporti ponderali diminuiscono, come atteso, all'aumentare della classe di decadimento, in misura molto meno sensibile nel caso del leccio.

L'analisi della varianza sui valori di necromassa a terra per classe di decadimento indica analogia tra i due siti. Risulta invece significativa la differenza tra le classi, particolarmente tra la classe B e le altre due (Fig. 7, Tab. 8, Tab. 9).

I due siti hanno densità basali statisticamente differenti ($p = 0.004092$).

L'analisi dei rapporti ponderali mostra invece differenze significative sia tra i siti che tra le classi. I test *post-hoc* mostrano che le tre classi sono significativamente diverse tra loro (Fig. 8 e Tab. 10).

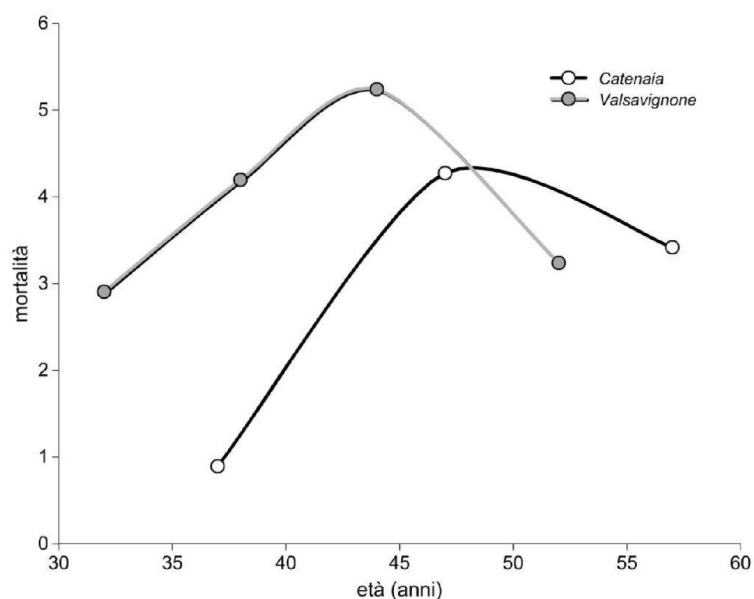


Fig. 9 - Dinamica della mortalità dei polloni in funzione dell'età del soprassuolo in popolazioni a prevalenza di cerro (Valsavignone) e di faggio (Catenaia). La mortalità calcolata come velocità media di variazione = $n/(N t) \cdot 100$ (Odum (1973)).

Discussione

Dinamica dendro-auxometrica e comportamento auto-ecologico

La capacità di interazione della specie con l'ambiente di crescita, il livello quindi di corrispondenza caratteristiche stazionali - ecologia specifica, la qualità del sito (fertilità), gli effetti del trattamento pregresso e la durata della sua applicazione, rappresentano la base e condizionano lo sviluppo successivo all'interruzione della coltivazione. Il maggiore tem-

po di permanenza del soprassuolo e l'apporto continuo di sostanza organica prodotta da una massa epigea crescente non più azzerata periodicamente dal taglio, si riflettono nell'andamento auxologico positivo. In entrambi i siti, la densità colma, l'assenza di vuoti nella copertura, i valori dei parametri altezza dominante, area basimetrica e i relativi incrementi, esprimono condizioni di buona fertilità e una sensibile capacità di recupero in condizioni stazionali che storicamente ospitavano la vegetazione naturale delle due specie (Amorini et al. 1996a, 2010).

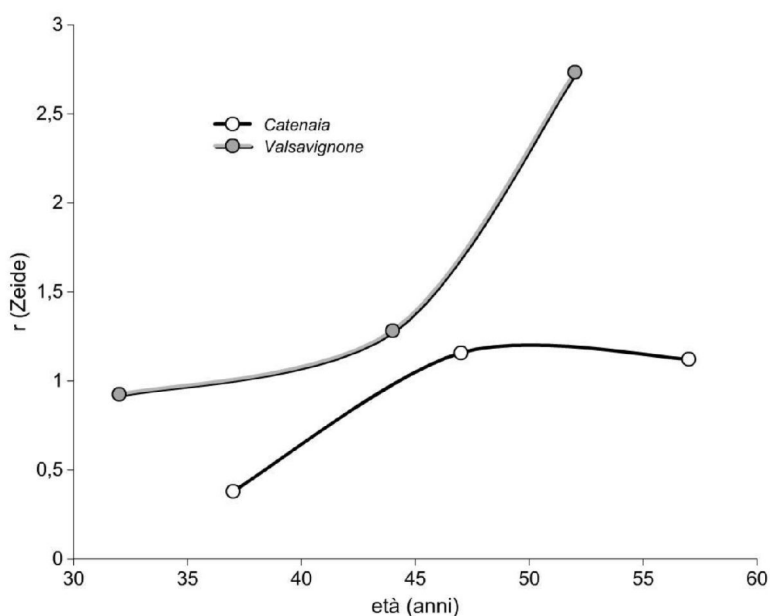


Fig. 10 - Andamento dell'indice r di Zeide negli stessi siti in popolazioni tolleranti dell'ombra (faggio) e esigenti di luce (cerro).

La densità nel sito (b), a prevalenza di leccio ma con presenza complementare di corbezzolo e accessoria di fillirea, ginepro, erica arborea, è molto superiore per la diversità specifica che ha la capacità di saturare in modo estremamente efficace lo spazio di crescita. Il comportamento sociale delle specie complementari, corbezzolo soprattutto, è infatti opportunistico e la strategia adottata è mirata a individuare e occupare, con portamento spesso prostrato, i vuoti anche minimi esistenti nella copertura. Data l'altezza dei polloni dominanti di leccio relativamente ridotta (14 m), le altre specie riescono a essere ancora competitive e a mantenere un accesso superiore anche minimo che ne consente la sopravvivenza. Il "peso" relativo dei polloni di leccio aumenta secondo il descrittore utilizzato (numero → area basimetrica → massa epigea → massa fogliare → produzione annuale di lettiera), per la prevalenza nel piano dominante (Amorini et al. 1996b).

Il modello di sviluppo dimensionale delle popolazioni è descritto dall'andamento del rapporto diametro medio/dominante (Fabbio & Amorini 2006, Amorini et al. 2010). La relazione confronta il valore medio per l'intera popolazione con quello della sub-popolazione dominante che utilizza l'ambiente di crescita epigeo e ipogeo più favorevole.

I rapporti diametrici nei due siti pari a 0.45 (a) e a 0.56 (b) rivelano una fase di selezione avanzata ed esplicitano la differenziazione tra una sotto-popolazione principale e una recessiva, che occupa il piano inferiore della struttura verticale e che sopravvive con incrementi prossimi allo zero per le ridotte esigenze di luce.

L'altezza dominante molto superiore a parità di età nel sito a (faggio), è espressione della maggiore capacità di accrescimento specifica, ma soprattutto della fertilità stazionale e del clima locale, soggetto a un minore stress idrico estivo.

Tab. 11 - Comparazione dei protocolli di rilievo e dei dati di densità di necromassa dalla letteratura.

Tipologia /specie	Paese	gestione si/no	d. min. camp. in piedi cm	massa morta in piedi (m ha ⁻¹)	d. min. camp. a terra (cm)	massa morta a terra (m ha ⁻¹)	necro massa totale (m ha ⁻¹)	Fonte bibliografica
Ceduo matricinato di faggio	Svizzera	no	≥ 12	13.8	≥ 5	28.3	42.1	Guby & Dobbertin 1996
Ceduo di leccio	Italia (Toscana)	no	-	-	d ≥ 10 + 10 > d ≥ 5	8.3	-	Travaglini et al. 2006
	Italia (Sardegna)	no	-	-	d ≥ 10 + 10 > d ≥ 5	3.6	-	Travaglini et al. 2006
Cedui invecchiati di leccio	Italia (Puglia)	no	d ≥ 2.5	19.1	2.5	14.8	33.9	Marziliano 2009
Ceduo invecchiato di faggio	Italia (Emilia)	no	d ≥ 3	18.9	d ≥ 3	5.9	24.8	Bertini & Fabbio 2006
Cedui invecchiati di leccio	Italia (Toscana 1)	no	d ≥ 3	16.0	d ≥ 3	13.0	29.0	Bertini & Fabbio 2006
	Italia (Toscana 2)	no	d ≥ 3	20.0	d ≥ 3	25	45.0	Bertini & Fabbio 2006
	Italia (Sardegna)	no	d ≥ 3	27.0	d ≥ 3	0	27.0	Bertini & Fabbio 2006
	Italia (Lazio)	no	d ≥ 3	5.0	d ≥ 3	1.0	6.0	Bertini & Fabbio 2006
Boschi alti di faggio	Italia (Toscana)	-	d ≥ 4.5	7.4	d ≥ 9.5	1.7	10.8	IFNC 2009
	Italia	-	d ≥ 4.5	4.0	d ≥ 9.5	1.8	7.6	IFNC 2009
Boschi alti di leccio	Italia (Sardegna)	-	d ≥ 4.5	1.2	d ≥ 9.5	0.5	2.1	IFNC 2009
	Italia	-	d ≥ 4.5	1.7	d ≥ 9.5	0.4	2.9	IFNC 2009

I parametri relativi alla popolazione dei polloni morti in piedi sono molto simili nei due soprassuoli e la loro area basimetrica, sommata a quella della massa viva, produce i valori di 52.1 e 57.0 m² ha⁻¹ che rappresentano la densità della massa totale in piedi all'età osservata. Le due componenti sono espressione biologica: (i) della capacità portante della stazione; e (ii) della occupazione corrente dello spazio epigeo da parte della mortalità recente. Quest'ultima varia dal 14.9% (a) al 12.6% (b) dell'area basimetrica viva ed è minore dove l'occupazione dello spazio di crescita è più efficiente (caso b).

Dinamica della mortalità e auto-tolleranza specifica

La densità colma e i valori dei parametri correlati sono funzione del fototemperamento di faggio e leccio, che permette loro una sopravvivenza prolungata. Questo attributo auto-ecologico ha effetto sul mantenimento in vita degli alberi, ma non sul loro accrescimento (Zeide 2005). Sulla base di questo assunto, Zeide ha formulato l'indice r sensibile all'auto-tolleranza o capacità competitiva intraspecifica (eqn. 1):

$$r = \frac{\Delta n / N}{\Delta d / D}$$

come rapporto tra la mortalità ($\Delta n / N$) e l'incremento del diametro medio ($\Delta d / D$) misurati in un intervallo di tempo. Minore è il rapporto r meno sono gli alberi che muoiono a parità di incremento diametrico, e più tollerante è la specie. A livello specifico, il valore di r varia secondo l'origine del bosco, la struttura, l'età del soprassuolo.

Un esempio applicativo di utilizzo dell'indice di Zeide per la verifica del differente comportamento tra specie sciafile e eliofile si ottiene dal confronto tra il sito di faggio (a) e un ceduo a prevalenza di cerro (Amorini et al. 2006). Si riportano (Fig. 9) le età di culminazione della mortalità e gli andamenti dell'indice (Fig. 10) e si evidenziano: (i) la culminazione più precoce della mortalità nella quercia eliofila rispetto al faggio; (ii) l'andamento opposto dell'indice (r) dalle età comprese tra i 40 e i 50 anni, in cui il faggio stabilizza la sua auto-tolleranza mentre il cerro continua viceversa a ridurla in modo deciso. Negli andamenti di culminazione e di (r) relativi al sito di confronto (cerro), è da considerare la presenza complementare di carpino nero, non isolata nei dati di complesso della popolazione, che ritarda l'età di culminazione e aumenta la tolleranza relativa nel primo periodo, rispetto a un soprassuolo monospecifico di quercia.

Formazione della biomassa e della necromassa, rapporti relativi e confronto con soprassuoli di quercia eliofile

Massa viva e necromassa iniziano a formarsi con l'ultimo taglio (1945-1948), salvo i polloni e le poche matricine rilasciati dal ciclo precedente. L'utilizzo per produzione di carbone (la presenza di aree carbonili è ancora bene riconoscibile in entrambi i siti) e il confezionamento delle fascine ripulivano la superficie di taglio dai residui legnosi e dalla frasca.

I valori di massa arborea (322 e 225 Mg ha⁻¹) e di incremento medio (5.6 e 4.2 Mg ha⁻¹ a⁻¹) confermano quanto già verificato in soprassuoli cedui di buona fertilità e età simile in fase di post-coltivazione a prevalenza di cerro (313 e 239 Mg ha⁻¹; 5.7 e 4.6 Mg ha⁻¹ a⁻¹ - Bertini et al. 2010).

Il modello di sviluppo evidenzia la ripresa dell'accrescimento successivamente alla prima culminazione dell'incremento medio di massa totale registrata dalle tavole alsometriche per i cedui a regime e circa coincidente con le età della tradizionale ceduzione. L'allocazione prevalente della massa è nel fusto e rami grossi. La massa fogliare, elevata in rapporto alle età, spiega il livello sostenuto di accrescimento. I rapporti massa fogliare/massa dei rami sottili e massa fogliare/massa legnosa totale sono pari a circa 1/3 nel faggio rispetto al leccio.

I valori di necromassa totale sono simili (25-28 Mg ha⁻¹) e compresi nel campo di variazione già osservato per i soprassuoli di cerro (22-30 Mg ha⁻¹), così come i valori medi di accumulo: 0.5 (faggio-leccio) vs. 0.4-0.5 Mg ha⁻¹anno⁻¹ (cerro).

Il rapporto necromassa a terra/in piedi varia da 1/2 a 1/3 in misura opposta a quanto osservato nei soprassuoli di cerro, per lo sviluppo più precoce e la culminazione anticipata della mortalità nella quercia eliofila, ma anche per la minore durabilità in piedi del legno morto della stessa specie. Anche il *range* dimensionale della mortalità è diverso: il diametro medio dei polloni morti in piedi è eguale a 6 cm (faggio-leccio) contro gli 8-11 cm in soprassuoli di età simile di cerro. La differente auto-ecologia è ancora il determinante dei tempi di formazione e di trasferimento a terra della necromassa.

Il rapporto percentuale necromassa/biomassa è superiore nel sito a prevalenza di leccio e suggerisce la proporzionalità diretta tra mortalità e densità in origine più elevate, anche se la mortalità, nella fase corrente, è simile in entrambe le popolazioni.

La diversa durabilità del legno di faggio e di leccio influisce sui valori di necromassa legnosa misurati soprattutto a terra. Secondo Leibundgut (in Detsch et

al. 1994), la scarsa quantità di necromassa rilevata nei boschi naturali di faggio è da ricondurre alla velocità di decomposizione di questa specie (10-30 anni), analogamente a quanto avviene in altri boschi di latifoglie a legno dolce. Nelle specie con durame sviluppato come le querce i tempi di decomposizione possono viceversa durare anche più di 45 (Wolynski 2001) e fino a 90-100 anni (Ammer 1991), particolarmente in specie con legno a densità elevata come il leccio. Nelle due stazioni non sono stati registrati eventi estremi recenti di particolare entità come quello verificato in siti di leccio del Gargano riferito da Marziliano (2009), che hanno contribuito con crolli diffusi a incrementare in modo sensibile la quantità di necromassa rilevata.

Classi di decadimento della necromassa a terra

La velocità di decadimento del legno dipende da un complesso di fattori: specie legnosa, dimensioni e tipo del materiale, cause di morte, ambiente (quota, esposizione, microclima), diversità, consistenza e livello di attività metabolica della comunità dei decompositori specializzati nelle diverse fasi di demolizione. Risulta per questo complesso definire una durata media del processo (Detsch et al. 1994, Wolynski 2001, Rock et al. 2008) e i dati in letteratura sono carenti. La velocità di decomposizione aumenta al contatto del terreno consentendo agli organismi del suolo di partecipare alla degradazione del legno. In climi caldi e umidi è superiore rispetto a climi freddi e secchi mentre, in ambienti montani, la quota può costituire un rallentamento. La frammentazione da parte di insetti lignivori velocizza molto il processo rispetto a quando questo è dovuto prevalentemente ad attività fungina. L'assenza o il numero ridotto di specie saproxiliche in foreste coltivate da lungo tempo, può aumentare i tempi di decomposizione rispetto a foreste naturali (Wolynski 2001).

Nel caso in esame, il criterio di formazione delle classi definisce lo stato del materiale legnoso: da "fresco" (A), a perdita parziale delle parti esterne e consistenza ancora evidente (B), a disfacimento medio-avanzato (C). Quest'ultima classe non contabilizza la quantità ulteriormente trasformata e incorporata nel suolo. La stessa definizione di classe implica tempi di permanenza diversi e quindi quantità rilevate differenti. La forte frammentazione del materiale associato alla classe C facilita e accelera la fase terminale di decomposizione.

La classe A (4 -1.5%) è quella meno rappresentata e include il materiale caduto nell'anno o in quelli immediatamente precedenti, essenzialmente per frizio-

ne di parti della chioma verde e sollecitazioni meccaniche del vento o schianti di porzioni di fusto e rami per neve o gelo. La quantità è tre volte superiore nel sito di faggio dove le rotture per eventi meteo sono superiori anche per le altezze e il coefficiente di snellezza maggiori.

Le quantità in classe B (74-66%) sono prodotte dall'occorrenza dei successivi cicli di mortalità e dal rifornimento annuale del legno già morto in piedi. I valori di necromassa sono qui largamente prevalenti perché l'apporto della massa epigea morta in piedi avviene già in questa classe e per il tempo di permanenza nella stessa relativamente lungo. Il prolungato mantenimento di polloni interi in piedi (leccio *vs.* faggio) può influire sulla quantità di necromassa a terra.

In classe C (22-32%) è presente materiale di età databile all'età assoluta del soprassuolo (ultimo taglio) o inferiore. La minore durabilità del legno di faggio rispetto a quello di leccio rende maggiore per la prima specie la frazione legnosa già incorporata nel suolo e quindi non più determinabile con il tipo di rilievo condotto. La maggiore densità del legno (leccio *vs.* faggio) si riflette nei valori specifici medi di densità basale e rapporto ponderale.

Comparazione con i dati di necromassa legnosa in letteratura

I lavori in letteratura utilizzano dimensioni minime di campionamento del legno morto in piedi e a terra variabili secondo la tipologia di soprassuolo, gli obiettivi, le determinazioni nazionali (Marchetti 2004). Non esiste una definizione dimensionale comune di legno morto e questo preclude in grande misura i confronti possibili (Yan et al. 2006).

Si riportano in Tab. 11 i limiti dimensionali minimi e le densità di necromassa rilevate in studi diversi condotti in Europa e in Italia su soprassuoli di leccio e di faggio, sia gestiti che non gestiti. I limiti dimensionali variano da 2.5 a 12 cm per il legno morto in piedi; da 2.5 a 10 cm per quello a terra. I valori rilevati, molto variabili, dipendono dalla strategia di campionamento adottata, dal livello di accuratezza fissato, dalla soglia minima del protocollo di rilievo, particolarmente in soprassuoli giovani e produttori di mortalità quasi esclusiva di elementi di ridotte dimensioni.

Le densità di necromassa variano per i soprassuoli di faggio da 13.8 a 18.9 m³ ha⁻¹ (in questo lavoro: 52.7 m³ ha⁻¹ in piedi), da 5.9 a 28.3 m³ ha⁻¹ (22.2 m³ ha⁻¹ a terra) e da 24.8 a 42.1 m³ ha⁻¹ (74.9 m³ ha⁻¹ totale). Il valore medio secondo l'INFC (2009) è di 10.8 (Tosca-

na) e di $7.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (nazionale). Per i soprassuoli di leccio da 5 a $27 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (in questo lavoro: $34.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in piedi), fino a $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($12.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a terra) e da 6 a $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ($46.8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ totale). Il valore medio inventariale è di 1.2 (Sardegna) e di $1.7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (nazionale).

Valori generali di riferimento per la densità di necromassa legnosa calcolata secondo i criteri FAO (2004), sono di $9.9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (da 0.9 a 23 media europea) e di $12.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (media nazionale), di cui $8.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ a terra e $4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ in piedi (MCPFE 2007).

Conclusioni

Biomassa e necromassa legnosa sono stati funzionali diversi che condividono per un tempo variabile lo stesso spazio. La prima rappresenta la dinamica di formazione e accumulo, la seconda l'uscita dalla produzione corrente e il rientro nel *pool* complessivo della sostanza organica prodotta e poi trasformata nel sistema. Data la definizione convenzionale di massa viva (la maggiore parte dei fusti è formata da legno morto di supporto ai tessuti viventi - Zeide 2005), biomassa e necromassa legnosa esprimono insieme la parte più rilevante della produttività biologica del sistema forestale. I dati analizzati escludono la lettiera prodotta annualmente, la biomassa legnosa ipogea e la necromassa già incorporata nel suolo. Sono parimenti esclusi il *turnover* delle radici fini e la dismissione di interi settori e branche radicali, particolarmente attiva nei soprassuoli di origine cedua per affrancamento dal sistema originale. I valori rilevati sono quindi per difetto di una quota di produzione che diventa importante in prospettiva dei cicli successivi, soprattutto per il tempo di residenza molto superiore nel suolo. Approfondimenti previsti riguardano il contenuto della sostanza organica e la determinazione del C nel suolo rispetto alla *baseline* dei cedui a regime, dopo alcuni decenni di accumulo indisturbato e a seguito di un modello di accrescimento positivo fino alle età osservate.

L'auto-ecologia simile di faggio e leccio (tolleranza dell'ombra), dimostra essere il determinante dell'andamento simile dello sviluppo della massa vivente e della necromassa, la diversità relativa rimanendo limitata ai parametri correlati allo stato di sempreverde e caducifolia. Le differenze viceversa evidenti con soprassuoli a prevalenza di querce eliofile (cerro - stesse tipologie ed età simili), convalidano ulteriormente la tesi del fototemperamento come elemento discriminante la dinamica di formazione e di trasferimento da biomassa a necromassa e da massa morta in piedi a terra.

Queste tipologie e classi di età, sempre più diffuse

nelle foreste già governate a ceduo, dimostrano in modo chiaro il risultato del mutamento o interruzione della gestione tradizionale - da intensiva e mirata alla produzione diretta di combustibile (legna e carbone) - alla fase attuale di post-coltivazione. Gli stessi soprassuoli assumono valenze importanti di conservazione e mitigazione per l'accumulo e per la capacità elevata di sequestro corrente di C. In questo senso, l'evoluzione descritta si può definire come un autonomo adattamento pro-attivo a esigenze oggi prioritarie e lontane da quelle prevalenti solo alcuni decenni orsono.

Diventa basilare per la gestione conservare questo stato "virtuoso", tenendo presente che il modello di sviluppo osservato a età da doppie a triple della tradizionale ceduzione descrive soltanto una fase della dinamica complessiva nel ciclo di vita del soprassuolo. Alcune vulnerabilità sono già percepibili: la più evidente è la suscettibilità agli incendi, particolarmente in aree sensibili e accorpate per la presenza di elevati *stock* di necromassa. Un'altra è rappresentata dalla presenza continua di legno di morte recente, habitat utile per la colonizzazione di insetti potenzialmente dannosi per la successiva pullulazione su piante vive. Il primo appare il rischio più importante a breve termine, dato l'effetto distruttivo immediato del fuoco che può compromettere su ampie superfici alcuni decenni di formazione, sviluppo e accumulo di sostanza organica. La riduzione del danno possibile attraverso opere di difesa e prevenzione attive va compreso, riconosciuto, condiviso e valutato in rapporto al valore indiretto di copertura e protezione del suolo insieme alla capacità di mitigazione svolta. Queste appaiono oggi le funzioni emergenti, concretamente contabilizzabili in termini di difesa ambientale e di attenuazione degli effetti del cambiamento climatico.

La buona gestione forestale deve prevedere anche la possibilità di rottura dell'equilibrio ecologico creatosi in questa prima fase di post-coltivazione per le forze agenti, l'insorgenza di possibili fattori limitanti, le retroazioni naturali. Il governo di questi sistemi, che trovano oggi motivo coerente di esistere alternati a quelli coltivati secondo le forme tradizionali e in avviamento ad alto fusto, implica azioni coordinate di monitoraggio, ricerca e sperimentazione, formulazione e confronto di soluzioni mirate ad anticipare e risolvere nel senso voluto le dinamiche future, nell'insieme quindi l'applicazione di strumenti di gestione di tipo adattativo.

La mancanza di modelli di riferimento per queste strutture di neoformazione può realisticamente ipo-

tizzare l'occorrenza di fasi più avanzate apparentemente caotiche e molto diverse dalle precedenti esperienze "ordinate" di coltivazione, e tuttavia perfettamente naturali. Sapere interpretare questi fenomeni e risolvere eventuali criticità, soprattutto nello stadio maturo di crollo, insediamento e affermazione della rinnovazione, significherà aver saputo concludere con successo la fase dinamica di trasformazione in atto.

Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del progetto "Ri.Selv.Italia" sottoprogetto 3.2 "Selvicoltura, funzionalità e gestione sostenibile dei cedui nell'area appenninica e mediterranea".

Si ringraziano i due *referee* per l'attenta revisione che ha consentito di migliorare la stesura finale del lavoro.

Bibliografia

- Agnoletti M (2003). Note sui principali mutamenti avvenuti negli ecosistemi forestali italiani dall'Unità ad oggi. Atti SISEF 3: 127-132.
- Ammer U (1991). Konsequenzen aus den Ergebnissen der Totholzforchung für die forstliche Praxis. Forstwissenschaftliches Centralblatt 110: 149-157. - doi: [10.1007/BF02741249](https://doi.org/10.1007/BF02741249)
- Amorini E, Fabbio G (1986). Studio auxometrico in un ceceo invecchiato e in una fustaia da polloni di faggio, sull'Appennino toscano: Primo contributo. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 14: 283-328.
- Amorini E, Fabbio G (1988). L'avviamento all'altofusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Primo contributo. Ann. Ist. Sper. Selv. 17: 7-101.
- Amorini E, Fabbio G (1989). L'avviamento all'alto fusto nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 15 anni dalla sua impostazione. Studio auxometrico. Secondo Contributo. Ann. Ist. Sper. Selv. 18: 19-70.
- Amorini E, Fabbio G (1990). Le "vieillessement" des taillis en Italie: étude auxométrique et traitement de la futaie sur souches. In: Proceedings of the "IUFRO XIX World Congress". Montreal (Canada) August 1990, vol. 1, pp. 363-374.
- Amorini E, Fabbio G (1994). The coppice area in Italy. General aspects, cultivation trends and state of knowledge. In: Proceedings of the Workshop "Improvement of coppice forests in the Mediterranean region". Arezzo 1992. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 23: 292-298.
- Amorini E, Fabbio G (2009). I boschi di origine cedua nella selvicoltura italiana: sperimentazione, ricerca, prassi operativa. In: Atti III Congresso Nazionale di Selvicoltura, Taormina, vol. II, pp. 201-207.
- Amorini E, Gambi G (1977). Il metodo dell'invecchiamento nella conversione dei cedui di faggio. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 8: 21-42.
- Amorini E, Fabbio G, Frattegiani M, Manetti MC (1990). L'affrancamento radicale dei polloni. Studio sugli apparati radicali in un soprassuolo avviato ad altofusto di faggio. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 19: 201-261.
- Amorini E, Fabbio G, Tabacchi G (1995). Le faggete di origine agamica: evoluzione naturale e modello culturale per lavviamento ad alto fusto. In: Atti del Seminario "Funzionalità del sistema faggeta". AISF, Firenze 16-17 Nov 1995, pp. 331-345.
- Amorini E, Bruschini S, Cutini A, Fabbio G, Manetti MC (1996a). Studi su struttura e processi ecologici in popolamenti di leccio della Sardegna meridionale. Comunicazioni di ricerca ISAF, vol. 96/1, pp. 35-47.
- Amorini E, Bruschini S, Cutini A, Fabbio G (1996b). Struttura e produttività di popolamenti di leccio in Sardegna. In: Atti VI Congresso Nazionale SItE, Napoli 11-14 Sett. 1996, pp. 133-137.
- Amorini E, Cutini A, Fabbio G (1997). Gestion visant la conservation des écosystèmes de chêne vert résiduel en Sardaigne (Italie). In: "Comptes Rendus XI Congrès Forestier Mondial". Antalya (Turkey) 13-22 Oct. 1997, vol. 2, pp. 171.
- Amorini E, Bruschini S, Cutini A, Fabbio G, Manetti MC (1998). Silvicultural treatment of holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices in Southern Sardinia: thinning and related effects on stand structure and canopy cover. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 27: 167-176.
- Amorini E, Brandini P, Fabbio G, Tabacchi G (2000). Modelli di previsione delle masse legnose e delle biomasse per i cedui di cerro della Toscana centro-meridionale. Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 29: 41-56.
- Amorini E, Fabbio G, Cantiani P (2006). Avviamento ad alto fusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Valsavignone (Arezzo). Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo 33: 115-132.
- Amorini E, Fabbio G, Bertini G (2010). Dinamica del ceceo oltre turno e avviamento ad alto fusto dei cedui di faggio. Risultati del protocollo Germano Gambi sull'Alpe di Catenaiola (Arezzo). Ann. Centro Ric. Selv. 36: 151-172.
- Bertini G, Fabbio G (2006). Determinazione della necromassa legnosa sulla rete di aree di livello II. Programma ConEcoFor, rilievo 2005, Rapporto interno.
- Bertini G (2012). Relazioni tra struttura, selvicoltura, stato biologico e funzioni attese del bosco in uno scenario di cambiamento gestionale e ambientale. Analisi dal monitoraggio bio-ecologico di lungo periodo. Tesi di dottorato,

- DIBAF, Università della Tuscia.
- Bertini G, Fabbio G, Piovosi M, Calderisi M (2010). Densità di biomassa e necromassa legnosa in cedui di cerro in evoluzione naturale in Toscana. *Forest@* 7: 88-103. - doi: [10.3832/efor0620-007](https://doi.org/10.3832/efor0620-007)
- Bobiec A (2002). Living stands and dead wood in the Białowieża forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165: 125-140. - doi: [10.1016/S0378-1127\(01\)00655-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00655-7)
- Brandini P, Tabacchi G (1996). Modelli di previsione del volume e della biomassa per i polloni di leccio e di corbezzolo in boschi cedui della Sardegna meridionale. *Comunicazioni di ricerca ISAFSA*, vol. 96/1, pp. 59-69.
- Cannell MGR, Dewar RC (1995). The carbon sink provided by plantation forests and their products in Britain. *Forestry* 68 (1): 35-48. - doi: [10.1093/forestry/68.1.35](https://doi.org/10.1093/forestry/68.1.35)
- Chirici G, Corona P, Marchetti M, Travaglini D (2003). Rilievamento campionario e spazializzazione cartografica della necromassa legnosa in biocenosi forestali. *Monti e Boschi* 6: 40-45.
- Corona P, Coppini M, Di Bartolo M, Mattioli W, Paletta D, Salvati R, Tedesco A, Hermanin L (2007). Criteri di analisi e ipotesi gestionali per una faggeta appenninica della rete Natura 2000. *Annali AISF* 56: 173-190.
- Cutini A, Mascia V (1998). Silvicultural treatment of holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices in southern Sardinia: effects of thinning on water potential, transpiration and stomatal conductance. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo* 27: 47-53.
- Cutini A (1994). Indici di area fogliare, produzione di lettiera ed efficienza di un ceduo di cerro in conversione. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo* 23: 147-166.
- Cutini A, Chianucci F, Giannini T (2010). Effetti del trattamento selvicolturale su caratteristiche della copertura, produzione di lettiera e di seme in cedui di faggio in conversione. *Ann. Centro Ric. Selv.* 36: 109-124.
- Detsch R, Klbel M, Schulz U (1994). Totholz-vielseitiger Lebensraum in naturnahen Waldern. *Allg. Forstzeitschr.* 11: 586-591.
- Di Tella G (1915). Piano di assestamento dei boschi cedui della Tenuta di Valenzano in Casentino. *Annali Regio Ist. Sup. For. Naz.*, vol. I, anni 1914-15. Tip. M. Ricci, Firenze, pp. 3-31.
- Ekbom B, Schroeder ML, Larsson S (2006). Stand specific occurrence of coarse woody debris in a managed boreal forest landscape in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 221: 2-12. - doi: [10.1016/j.foreco.2005.10.038](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.038)
- Ente Foreste Regione Sardegna (2000). Le foreste demaniali di Settefratelli, Montimannu e Pula. Documenti interni, pp. 16.
- Fabbio G, Bertini G (2008). Monitoraggio, gestione, selvicoltura. *Atti III Congresso Nazionale di Selvicoltura*, Taormina, vol. II, pp. 182-190.
- Fabbio G (2007). Selvicoltura, funzionalità e gestione sostenibile dei cedui nell'area appenninica e mediterranea. Progetto Ri.Selv.Italia 3.2, Relazione finale, pp. 15.
- Fabbio G (2010). Il ceduo tra passato e attualità: opzioni colturali e dinamica dendro-auxonomica e strutturale nei boschi di origine cedua. In: *Atti "46° Corso di Cultura in Ecologia"*. S. Vito di Cadore (BL) 7-10 giugno 2010, pp. 27-43.
- Fabbio G, Manetti MC, Puxeddu M (1996). La lecceta: un ecosistema in riserva. *Atti VI Congresso Nazionale SItE*, Napoli 11-14 Sett. 1996, pp. 139-143.
- Fabbio G, Cutini A, Mascia V (1998a). Silvicultural treatment of holm oak coppices (*Q. ilex* L.) in southern Sardinia: effects of canopy and crop thinning on microclimate. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo* 27: 55-63.
- Fabbio G, Amorini E, Cutini A (1998b). Towards a sustainable management of Mediterranean forest: the MED-COP experience (1994-98). In: *Proceedings of the "VII International Congress of Ecology (INTECOL)"*. Florence (Italy) 19-25 July 1998, pp. 295-308.
- Fabbio G, Iovino F, Menguzzato G, Tabacchi G (2002). Confronto fra modelli di previsione della biomassa arborea elaborati per cedui di leccio. In: *"Il bosco ceduo in Italia"* (Ciancio O, Nocentini S eds). AISF, Firenze, pp. 469-495.
- Fabbio G, Merlo M, Tosi V (2003). Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe - the Mediterranean region. *Journal of Environmental Management* 67 (1): 67-76. - doi: [10.1016/S0301-4797\(02\)00189-5](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00189-5)
- Fabbio G, Amorini E (2006). Avviamento ad alto fusto e dinamica naturale nei cedui a prevalenza di cerro. Risultati di una prova sperimentale a 35 anni dalla sua impostazione. Il protocollo di Caselli (Pisa). *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo* 33: 79-104.
- Falinski JB (1986). Vegetation dynamics in temperate lowland primeval forest. *Ecological studies in Białowieża forest*. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- FAO (2004). Global Forest Resources Assessment. Update 2005 terms and definitions. Working paper 83/E, FAO, Rome, Italy.
- Franklin JF, Shugart HH, Harmon ME (1987). Tree death as an ecological process. *Bioscience* 37 (8): 550-556. - doi: [10.2307/1310665](https://doi.org/10.2307/1310665)
- Freedman B, Zelazny V, Beaudette D, Fleming T, Fleming S, Forbes G, Gerrow JS, Johnson G, Woodley S (1996). Biodiversity implications of changes in the quantity of dead organic matter in managed forests. *Environmental Reviews* 4: 238-265. - doi: [10.1139/a96-013](https://doi.org/10.1139/a96-013)
- Fridman J, Walheim M (2000). Amount, structure and dynamics of dead wood on managed forestland in Sweden. *Forest Ecology and Management* 132: 23-36. - doi: [10.1016/S0378-1127\(00\)00000-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00000-0)

[10.1016/S0378-1127\(99\)00208-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00208-X)

- Grey AN, Spies TA (1997). Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps. *Ecology* 78: 2458-2473. - doi: [10.1890/0012-9658\(1997\)078\[2458:MCOTSE\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[2458:MCOTSE]2.0.CO;2)
- Guby NAB, Dobbertin M (1996). Quantitative estimates of coarse woody debris and standing dead trees in selected Swiss forests. *Global Ecology and Biogeography Letters* 5: 327-341. - doi: [10.2307/2997588](https://doi.org/10.2307/2997588)
- Hagan JM, Grove SL (1999). Coarse woody debris. *Journal of Forestry* 1: 6-11.
- Harmon ME, Franklin JF (1989). Tree seedlings on logs in Picea-Tsuga forests of Oregon and Washington. *Ecology* 70 (1): 48-59. - doi: [10.2307/1938411](https://doi.org/10.2307/1938411)
- Harmon ME, Franklin JF, Swanson FJ, Sollins P, Gregory SV, Lattin JD, Anderson NH, Cline SP, Aumen NG, Sedell JR, Lienkaemper GW, Cromack K, Cummins KW (1986). Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133-302. - doi: [10.1016/S0065-2504\(08\)60121-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60121-X)
- Hegetschweiler KT, van Loon N, Ryser A, Rusterholz HP, Baur B (2009). Effects of fireplace use on forest vegetation and amount of woody debris in suburban forests in Northwestern Switzerland. *Environmental Management* 43: 299-310. - doi: [10.1007/s00267-008-9194-3](https://doi.org/10.1007/s00267-008-9194-3)
- Hermanin L, Belosi A (1993). Tavola alsometrica dei cedui di carpino nero dell'Appennino romagnolo. *L'It. For. Mont.* 48 (6): 353-372.
- Hermanin L, Pollini M (1990). Produzione legnosa e paesaggio; considerazioni sul turno in cedui di leccio. *Cellulosa e carta* 41 (2): 6-10 : 553.
- Holub SM, Lajtha K, Spears JD (2001). A reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1894-1902. - doi: [10.1139/x01-125](https://doi.org/10.1139/x01-125)
- Hunter ML (1990). *Wildlife, forests, and forestry*. Prentice and Hall, Englewood Cliffs, UK, pp. 370.
- INFC (2009). I caratteri quantitativi 2005, parte 1, vers. 2. In: "Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio" (Gasparini P, De Natale F, Di Cosmo L, Gagliano C, Salvadori I, Tabacchi G, Tosi V eds). MiPAAF - Isp. Gen. CFS, CRA-MPF, Trento. [online] URL: <http://www.sian.it/inventarioforestale/jsp/documentazione.jsp>
- Inghilleri C (1928). Problemi forestali in provincia di Cagliari. Distruzione dei boschi e loro ricostituzione. *L'Alpe* 15 (1): 106-116.
- IPCC (2006). Guidelines for National greenhouse gas inventories. In: "The National Greenhouse Gas Inventories Programme" (Egglestone HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T, Tanabe K eds). IGES, Japan.
- Janisch JE, Harmon ME (2001). Successional changes in live and dead wood carbon stores: implications for net ecosystem productivity. *Tree Physiology* 22: 77-89. - doi: [10.1093/treephys/22.2-3.77](https://doi.org/10.1093/treephys/22.2-3.77)
- Jonsson BG, Kruys N (2001). Ecology of woody debris in boreal forests. *Ecological Bulletin* 49, Lavoisier, Paris, France, pp. 280.
- Keddy PA, Drummond CG (1996). Ecological properties for the evaluation, management and restoration of temperate deciduous forest ecosystems. *Ecological Applications* 6: 748-762. - doi: [10.2307/2269480](https://doi.org/10.2307/2269480)
- Kirby KJ, Webster SD, Antczak A (1991). Effects of forest management on stand structure and quality of fallen dead wood: same British and Polish examples. *Forest Ecology and Management* 43: 167-174. - doi: [10.1016/0378-1127\(91\)90083-8](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90083-8)
- Kruys N, Jonsson BG (1999). Fine woody debris is important for species richness on logs in managed boreal spruce forests of northern Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1295-1299. - doi: [10.1139/x99-106](https://doi.org/10.1139/x99-106)
- La Fauci A, Mercurio R (2008). Caratterizzazione della necromassa in piedi in cedui di castagno (*Castanea sativa* Mill.) nel Parco nazionale dell'Aspromonte. *Forest@* 5: 92-99. - doi: [10.3832/efor0511-0050092](https://doi.org/10.3832/efor0511-0050092)
- La Marca O, Marziliano PA, Moretti N (1998). Experimental research in ageing holm oak (*Quercus ilex* L.) coppices: preliminary results. *Ann. Sci. For.* 55: 461-476. - doi: [10.1051/forest:19980406](https://doi.org/10.1051/forest:19980406)
- Laiho R, Prescott CE (1999). The contribution of coarse woody debris to carbon, nitrogen, and phosphorus cycles in tree Rocky Mountains coniferous forests. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1502-1603. - doi: [10.1139/x99-132](https://doi.org/10.1139/x99-132)
- Lee PC, Crites S, Nietfeld M, Van Nguyen H, Stelfox JB (1997). Characteristics and origins of dead wood material in Aspen-dominated boreal forests. *Ecological Applications* 7 (2): 691-701. - doi: [10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0691:CAODM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0691:CAODM]2.0.CO;2)
- Li Zhou, Li-min Dai, Hui-yan Gu, Lei Zhong (2007). Review on the decomposition and influence factors of coarse woody debris in forest ecosystem. *Journal of Forestry Research* 18 (1): 48-54. - doi: [10.1007/s11676-007-0009-9](https://doi.org/10.1007/s11676-007-0009-9)
- Liira J, Sepp T, Parrest O (2007). The forest structure and ecosystem quality in condition of anthropogenic disturbance along productivity gradient. *Forest Ecology and Management* 250: 34-46. - doi: [10.1016/j.foreco.2007.03.007](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.03.007)
- Lousier JD, Parkinson D (1979). Organic matter and chemical element dynamics in an aspen woodland soil. *Canadian Journal of Forest Research* 9: 449-463. - doi: [10.1139/x79-073](https://doi.org/10.1139/x79-073)
- Mackensen J, Bauhus J (2003). Density loss and respiration rates in coarse woody debris of *Pinus radiata*, *Eucalyptus*

- regnants* and *Eucalyptus maculata*. *Soil Biology and Biochemistry* 35: 177-186. - doi: [10.1016/S0038-0717\(02\)00255-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00255-9)
- MAF-ISAF (1988). *Inventario Forestale Nazionale 1985. Sintesi metodologica e risultati*. MiPAF, Istituto Sper. Assestamento Forestale e Alpicoltura, Trento.
- Marchetti M, Lombardi F (2006). *Analisi quali-quantitativa del legno morto in soprassuoli non gestiti: il caso di Bosco Pennataro, Alto Molise*. *L'Italia Forestale e Montana* 61 (4): 275-301.
- Marchetti M (2004). *Monitoring and indicators of forest biodiversity in Europe. From ideas to operationality*. *EFI Proceedings*, vol. 51, pp. 526.
- Marziliano PA (2002). *Studi sulla biomassa in un ceduo di leccio (Q. ilex L.) del Gargano*. In: "Il bosco ceduo in Italia" (Ciancio O, Nocentini S eds). AISF, Firenze, pp. 447-467.
- Marziliano PA (2009). *Analisi quali-quantitativa della necromassa in cedui invecchiati di leccio (Quercus ilex L.) del Gargano*. *Forest@* 6: 19-28. - doi: [10.3832/efor0555-006](https://doi.org/10.3832/efor0555-006)
- Matthews G (1993). *The carbon content of trees*. Technical paper 4, Forestry Commission, Edinburgh, UK.
- MCPFE (2007). *State of Europe's forests 2007. The MCPFE report on sustainable forest management in Europe*. Warsaw, Poland, pp. 263.
- Morelli S, Paletto A, Tosi V (2007). *Il legno morto dei boschi: indagine sulla densità basale del legno di alcune specie del Trentino*. *Forest@* 4 (4): 395-406. - doi: [10.3832/efor0492-0040395](https://doi.org/10.3832/efor0492-0040395)
- Nilsson SG, Niklasson M, Hedin J, Aronsson G, Gutowski JM, Linder P, Ljungberg H, Mikusinski G, Ranius T (2002). *Densities of large living and dead trees in old-growth temperate and boreal forests*. *Forest Ecology and Management* 161: 189-2004. - doi: [10.1016/S0378-1127\(01\)00480-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00480-7)
- Nocetti M, Bertini G, Fabbio G, Tabacchi G (2007). *Equazioni di previsione della fitomassa arborea per soprassuoli di cerro in avviamento ad altofusto in Toscana*. *Forest@* 4 (2): 204-212. - doi: [10.3832/efor0449-0040204](https://doi.org/10.3832/efor0449-0040204)
- Norden B, Gtmark F, Tnnberg M, Ryberg M (2004). *Dead wood in semi-natural broadleaved woodland: contribution of coarse and fine dead wood, attached dead wood and stumps*. *Forest Ecology and Management* 194: 235-248 - doi: [10.1016/j.foreco.2004.02.043](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.02.043)
- Odum EP (1973). *Principi di Ecologia*. Ed. Piccin, Padova, pp. 584.
- Oliver CD, Larsson BC (1990). *Forest stand dynamics*. Biological Resource Management Series, McGraw-Hill, USA, pp. 467.
- Pesson P (1980). *Actualités d'écologie forestière*. Ina, Gauthier Villars, Paris, France.
- Peterken GF (1996). *Natural woodlands. Ecology and conservation in northern temperate regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Piovesan G, Hermanin L, Schirone B (1995). *Considerazioni sulla crescita e lo sviluppo di un ceduo matricinato di faggio di et avanzata*. *L'It. For. Mont.*, 50 (4): 404-424.
- Prescott CE, Taylor BR, Parsons WFJ, Durall DM, Parkinsons D (1993). *Nutrient release from decomposing litter in rocky Mountain coniferous forests: influence of nutrient availability*. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1576-1586. - doi: [10.1139/x93-198](https://doi.org/10.1139/x93-198)
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [online] URL: <http://www.R-project.org/>
- Rock J, Badeck FW, Harmon ME (2008). *Estimating decomposition rate constants for European tree species from literature sources*. *European Journal of Forest Research* 127: 301-313. - doi: [10.1007/s10342-008-0206-x](https://doi.org/10.1007/s10342-008-0206-x)
- Salvadori G, Bianchi L, Calamini G (2009). *Interventi colturali e necromassa legnosa al suolo: il caso delle faggete Casentinesi*. *Forest@* 6: 39-49. - doi: [10.3832/efor0551-006](https://doi.org/10.3832/efor0551-006)
- Siitonen J, Martikainen P, Punttila P, Rauh J (2000). *Coarse woody debris and stand characteristics in mature, managed and boreal mesic forests in southern Finland*. *Forest Ecology and Management* 128: 211-225. - doi: [10.1016/S0378-1127\(99\)00148-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00148-6)
- Stevens V (1997). *The ecological role of coarse woody debris. An overview of the ecological importance of CWD in BC forests*. British Columbia. Ministry of Forests Research Program, 26 p.
- Stockli B (1996). *La regeneration des forts de montagne sur du bois mort*. *La Fort* 49: 6-12.
- Travaglini D, Mason F, Lopresti M, Lombardi F, Marchetti M, Chirici G, Corona P (2006). *Aspects of biological diversity in the Conecofor plots. V. Deadwood surveying experiments in alpine and Mediterranean forest ecosystems*. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo* 30 (suppl. 2): 71-86.
- Turner DP, Koerber GJ, Harmon ME (1995). *A carbon budget for forests of conterminous United States*. *Ecological Applications* 5: 421-436. - doi: [10.2307/1942033](https://doi.org/10.2307/1942033)
- UNEP (1997). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. United Nations Environmental Program, Kyoto.
- Vallauri D, Andr J, Blondel J (2003). *Le bois mort, une lacune des forets gerees*. *Revue Forestière Française* 2: 99-112.
- Woldentorp G, Keenan RJ, Ryan MF (2002). *Coarse woody debris in Australian forest ecosystems. Report for the national Greenhouse Strategy, Module 6.6 (Criteria and Indicators of Sustainable Forest Management)*, April 2002.
- Wolynski A (2001). *Significato della necromassa legnosa in bosco in un ottica di gestione forestale sostenibile*. *Sherwood* 67: 6-12.

- Woodall CW, Nagel LM (2006). Coarse woody type: a new method for analyzing coarse woody debris and forest change. *Forest Ecology and Management* 227:115-121. - doi: [10.1016/j.foreco.2006.02.032](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.032)
- Xu H (1998). *China Daxinganling forest*. Science Press, Beijing, China.
- Yan E, Wang X, Huang J (2006). Concept and classification of coarse woody debris in forest ecosystems. *Front. Biol. China* 1: 76-84.
- Zeide B (2005). How to measure stand density. *Trees - Structure and Function* 19: 1-14. - doi: [10.1007/s00468-004-0343-x](https://doi.org/10.1007/s00468-004-0343-x)