



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Ente Parco Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna
e
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna
Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali
Gruppo di Ricerca in Diversità, Ecologia e Conservazione delle Piante

STIMA DELLA NECROMASSA VEGETALE IN BOSCHI DI FAGGIO A DIFFERENTE INTENSITÀ DI GESTIONE

Progetto biennale 2018-2019
per l'analisi dello stato di conservazione
e delle tendenze dinamiche delle foreste del Parco

Relazione conclusiva

A cura di:

Chiara Lelli, Juri Nascimbene, Alessandro Chiarucci
(Università di Bologna, Dipartimento BiGeA)

Bologna, 20 Dicembre 2019

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
1.1. L'importanza del legno morto in foresta per la funzionalità dell'ecosistema	3
1.2. Quantità e qualità del legno morto: stato delle conoscenze	5
1.3. Obiettivo del progetto	6
2. MATERIALI E METODI	7
2.1. Area di studio	7
2.2. Individuazione delle particelle forestali in cui eseguire i rilevamenti	7
2.3. Localizzazione dei punti di rilevamento	9
2.4. Protocollo operativo per il rilevamento del legno morto	12
2.5. Inventario del legno morto nel plot di rilevamento	13
2.5.1. Categorie inventariali	14
2.5.2. Classi di decadimento	14
2.5.3. Tavole di cubatura	14
2.6. Biodiversità	15
2.7. Analisi dei dati	16
3. RISULTATI	17
3.1. Volume e tipologie di legno morto nei plot rilevati	17
3.2. Relazione tra il volume di legno morto e il tempo intercorso dall'ultimo intervento silvicolturale (taglio)	21
3.3. Relazione tra il volume di legno morto e le diverse modalità gestionali	21
3.4. Classi di decadimento	22
3.5. Biodiversità	24
4. CONCLUSIONI	26
4.1. Considerazioni sui risultati ottenuti	26
4.2. Indicazioni gestionali e linee di ricerca suggerite	28
BIBLIOGRAFIA	30
RINGRAZIAMENTI	32
ALLEGATI	32

1. INTRODUZIONE

1.1. L'IMPORTANZA DEL LEGNO MORTO IN FORESTA PER LA FUNZIONALITÀ DELL'ECOSISTEMA

Il legno morto è un importante componente delle foreste naturali, riveste un ruolo funzionale chiave in numerosi processi ecologici e rappresenta un habitat fondamentale per centinaia di specie diverse (Christensen et al., 2005; Müller & Bütler, 2010; Kraus & Krumm, 2013).

Il legno morto, detto anche necromassa, è costituito dalla porzione morta e in decomposizione di un albero in una foresta, quindi da tutta la biomassa non vivente che rimane in foresta e che non viene prelevata per scopi commerciali. Tutte le diverse componenti del legno rientrano in questa definizione di necromassa legnosa: gli alberi morti in piedi, quelli già caduti al suolo, gli alberi stroncati di diverse dimensioni, i rami rotti, i pezzi di tronchi e le ceppaie (Kraus & Krumm, 2013). Queste varie tipologie di necromassa rivestono ruoli funzionali differenti (Jonathan & Sallie, 2012; Kraus & Krumm, 2013).

Inoltre la necromassa è un sistema dinamico che attraversa successivi stadi di decomposizione caratterizzati da modifiche strutturali che favoriscono lo sviluppo di numerosi e diversificati microhabitat per altrettante specie con importanti ruoli funzionali nei sistemi-bosco: l'importanza del legno morto come *key habitat* per numerose specie è ormai ampiamente riconosciuto. Per esempio, numerose specie di invertebrati, funghi, briofite, licheni, uccelli e mammiferi dipendono o utilizzano il legno morto come fonte di nutrimento o rifugio (e.g., Ódor et al. 2006; Abrego et al., 2007; Nascimbene et al. 2008; Fritz & Brunet 2010; Heilmann-Clausen et al., 2014; Bässler et al. 2015; Ujházy et al. 2018). A questo proposito, sono note in primo luogo numerose ricerche focalizzate sugli insetti, che hanno mostrato come le diverse componenti del legno morto ospitino uno straordinario numero di organismi saproxilici (e.g., Dickson et al., 1983; Grove, 2002; Davies et al., 2008). Molte di queste specie sono tutelate da leggi specifiche (come la L.R. n. 15 " Disposizioni per la tutela della fauna minore in Emilia-Romagna" o la nota Direttiva 92/43/CEE), perché rare e a rischio a causa della rarefazione dei loro microhabitat. Proprio nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi sono stati condotti diversi progetti *Life Natura* mirati a favorire la tutela delle popolazioni residuali di alcune di queste specie di prioritario interesse conservazionistico, come *Osmoderma eremita* e *Rosalia alpina* (progetti *Life Eremita*, *Life MIPP*). Inoltre, già nel 2002 il Parco delle Foreste Casentinesi aveva dedicato un convegno proprio al tema del legno morto in bosco e alla biodiversità ad esso connessa (PNFC, 2003).

Oltre ad essere un elemento fondamentale per la biodiversità e per numerosi processi ecologici, geomorfologici e idrologici del suolo (Bragg & Kershner, 1999), il legno morto riveste un ruolo chiave nel ciclo dei nutrienti (N, P, Ca e Mg) (Holub et al., 2001), rappresentando un importante serbatoio di carbonio (Harmon, 2001) ed al contempo una riserva di energia sotto forma di composti di carbonio (Harmon et al., 1986; Keenan et al., 1993), che vengono resi nuovamente disponibili grazie all'intervento di organismi

decompositori, come funghi e batteri, con un ruolo chiave nei cicli biogeochimici dei nutrienti. Essi, infatti, degradano i resti vegetali e animali, scindendo le molecole complesse in composti più semplici e rendendo così nuovamente disponibili nutrienti alla base delle reti trofiche. I tronchi in decomposizione agiscono sostanzialmente come fertilizzanti a lenta cessione, arricchendo di sostanza organica il suolo e migliorandone la struttura e la capacità di ritenzione idrica e di filtrazione dell'acqua (Carey, 1980). Ne consegue che la rimozione del legno morto determina l'interruzione dei cicli di riutilizzo e mineralizzazione dei nutrienti, processo che impoverisce gradualmente il sistema.

Tronchi in decomposizione possono, inoltre, favorire la germinazione e lo sviluppo dei semenzali di specie arboree, agendo come siti *nursery* e contribuendo, così, alla rinnovazione del bosco (e.g., Hofgaard, 2000; Takahashi et al., 2000).

Mentre il legno morto è stato per lungo tempo considerato un indicatore di degrado, o di cattiva salute della foresta, numerosi studi degli ultimi decenni e una crescente attenzione verso la conservazione della biodiversità e della funzionalità degli ecosistemi l'hanno reso, al contrario, un indicatore di qualità e naturalità dei boschi (Gao et al., 2015).

L'importanza del legno morto è riconosciuta, infatti, da normative in materia di gestione sostenibile forestale e di conservazione della biodiversità: in Europa, il volume del legno morto in piedi e a terra è uno dei nove indicatori di gestione forestale sostenibile (*criterion 4: maintenance, conservation and appropriate enhancement of biological diversity in forest ecosystems*) (MCPFE, 2003).

Tuttavia, nonostante l'importanza della necromassa per la biodiversità e per numerosi processi ecologici sia oggi ampiamente riconosciuta, sono ancora scarse conoscenze di base relative a quantità, qualità e dinamica del legno morto (Christensen et al., 2005) in vari tipi di bosco e aree geografiche e a valori soglia di necromassa da mantenere in foresta per garantire una buona conservazione della biodiversità (Müller & Bütler 2010). Ulteriori approfondimenti in materia potrebbero fornire le indicazioni pratiche per garantire una corretta gestione e conservazione degli ecosistemi forestali.

Per i parchi dei rilievi appenninici si è riscontrata una limitata e frammentaria conoscenza in merito alla quantità e tipologia di necromassa presente negli ecosistemi forestali. La mancanza di questa stima limita la definizione di strategie gestionali efficaci per una conservazione ottimale della biodiversità e delle funzionalità ecologiche dei sistemi-bosco. Proprio per sopperire a questa mancanza, il protocollo di gestione stipulato tra molti dei principali parchi situati sui rilievi appenninici ha l'obiettivo di raccogliere dati nelle diverse aree protette, mediante standard condivisi, per stimare la quantità di necromassa attualmente presente in relazione alla diversità ed intensità gestionale, così da ottenere un dato quantitativo da poter utilizzare come riferimento in future azioni gestionali, di conservazione e di monitoraggio.

1.2. QUANTITÀ E QUALITÀ DEL LEGNO MORTO: STATO DELLE CONOSCENZE

In relazione alle dimensioni dell'albero, alle caratteristiche del legno e al clima della zona, alberi morti possono persistere come tronchi in decomposizione per periodi di tempo che variano da alcuni anni nei tropici a diversi secoli nelle foreste temperate (Tyrrell & Crowe, 1994).

Oltre alle condizioni climatiche, la quantità di legno morto nelle foreste naturali e seminaturali dipende da numerosi fattori ambientali, tra i quali i principali sono:

- Il tipo di foresta (composizione specifica e struttura);
- Lo stadio di sviluppo della cenosi;
- Il tipo e la frequenza dei disturbi naturali tipici della regione.

Tuttavia, un ruolo prioritario rispetto a questi fattori ambientali nel determinare il volume di legno morto in bosco è associato alla gestione silvicolturale (Christensen et al., 2005): in Italia tutti i sistemi forestali sono stati influenzati dall'azione dell'uomo, che ha determinato in varia misura una semplificazione dei sistemi forestali, in termini di struttura e composizione, limitandone la stessa funzionalità (Nocentini, 2002).

Storicamente il legno morto è stato sistematicamente rimosso dai boschi per scopi produttivi, economici, ma anche culturali. Con il progredire della gestione silvicolturale finalizzata ad una maggiore produttività, il prelievo di materiale legnoso è stato massimizzato entro i limiti suggeriti dalle differenti pratiche silvicolturali, ma anche tradizioni locali, nelle diverse aree geografiche o progressivamente imposti dalle normative vigenti nei diversi paesi. La conseguenza è stato un impoverimento generalizzato della necromassa, quasi sempre associata ad un declino della biodiversità.

Per tali ragioni il volume di legno morto è considerevolmente inferiore negli ecosistemi forestali soggetti a gestione rispetto alle foreste lasciate a libera dinamica: la necromassa nei boschi gestiti risulta tra il 2% e il 30% rispetto a quella dei boschi non gestiti (e.g., Green & Peterken, 1997; Kirby et al., 1998).

Tuttavia, i dati quantitativi sull'effettiva presenza di necromassa nei boschi sono ancora scarsi e frammentari, mancando spesso valori di riferimento. A livello europeo negli ultimi decenni la maggior parte degli studi si è focalizzata sulle faggete, l'ecosistema forestale prevalente in Europa e lungo la fascia montana appenninica in Italia. Anche per questo ecosistema, i dati non sono, però, ancora incompleti. Un recente studio ha considerato il volume di legno morto stimato in 86 delle riserve naturali con faggete vetuste meglio conservate in Europa. I dati erano disponibili soprattutto per aree del Centro e Nord Europa, indicando un valore medio di 100 m³/ha con ampi margini di variazione, da 550 m³/ha a valori molto bassi, pari quasi allo zero (Christensen et al. 2005). In Italia il volume di necromassa presente nei boschi, indipendentemente dalla specie dominante e dalla gestione, è stato stimato intorno a 8,8 m³/ha (INFC, 2009). Nei boschi di faggio dell'Emilia Romagna i volumi stimati si aggirano intorno agli 8,3 m³/ha mentre in quelli della Toscana i volumi sono leggermente superiori (10,9 m³/ha) (INFC, 2009). In alcune faggete vetuste abruzzesi sono stati stimati valori medi pari a circa 65 m³/ha, con un massimo di 200 m³/ha

(Piovesan et al., 2005).

Per progettare e mettere in atto azioni efficaci di conservazione degli ecosistemi forestali è necessario in primo luogo migliorare la conoscenza relativa alla quantità di necromassa presente e cercare poi di definire soglie minime di legno morto che è necessario preservare in foresta, in relazione a differenti tipologie strutturali/gestionali/composizionali, per poter sostenere la biodiversità forestale legata al legno morto (Kraus & Krumm, 2013). Un importante miglioramento delle conoscenze può partire da progetti condivisi tra le principali aree protette, facendo rete per misurare con protocolli condivisi e standardizzati dati riguardanti la necromassa, così da consentire di attuare interventi finalizzati a migliorare la qualità degli ambienti forestali sulla base di dati oggettivi. Proprio questo è l'obiettivo del progetto in cui rientra lo studio oggetto della presente relazione.

1.3. OBIETTIVO DEL PROGETTO

Secondo quanto previsto nel "Protocollo per la valutazione della qualità ecosistemica degli habitat forestali, di crinale e degli agro-ecosistemi nei parchi della provincia appenninica" (2017), che coinvolge il PN dell'Appennino Tosco Emiliano (di seguito PNATE), il PN Foreste Casentinesi (di seguito PNFC), il PN dei Monti Sibillini, il PN Gran Sasso e Monti della Laga, il PN della Majella, e il PN d'Abruzzo, Lazio e Molise, questo presente studio ha l'obiettivo di campionare dati mediante standard condivisi per stimare la necromassa presente negli ambienti forestali maggiormente diffusi nel Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna in relazione a:

- Differenti regimi gestionali;
- Distanza temporale dall'ultimo intervento di prelievo legnoso.

Nel PNFC i boschi montani a prevalenza di faggio (*Fagus sylvatica* L.) costituiscono la tipologia forestale maggiormente diffusa e rappresentativa anche del più ampio contesto appenninico. La stima della necromassa presente nelle faggete del Parco può permettere, dunque, anche analisi di confronto con le stime effettuate negli altri parchi della provincia appenninica. Tali boschi presentano, inoltre, un ampio gradiente gestionale all'interno del Parco, andando da foreste vetuste, come l'emblematica foresta di Sasso Fratino, a particelle tuttora gestite con differenti regimi silvicolture, ancora attivi o non più attuati, ma che mostrano ancora una forte impronta strutturale nelle particelle forestali: stimare la necromassa presente lungo questo gradiente può consentire di valutare gli effetti di differenti strategie gestionali e di conservazione. Nella presente relazione si farà riferimento ai risultati già ottenuti nel 2017 per il PNATE con il medesimo protocollo di rilevamento, così da fornire già alcuni utili dati di confronto (Petraglia et al, 2017).

2. MATERIALI E METODI

2.1. AREA DI STUDIO

Lo studio è stato effettuato all'interno del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna (PNFC). Il Parco si sviluppa lungo il crinale appenninico, con una porzione toscana a sud-ovest del crinale principale ed una porzione romagnola a nord-est del crinale. Tale distinzione geomorfologica è alla base anche di differenze climatiche (regimi pluviometrici e temperature) che variano dal versante toscano al romagnolo (Dati climatici: SIR Toscana e ISPRA Emilia Romagna). Queste differenze ambientali possono influenzare le caratteristiche del legno morto in bosco, determinando, ad esempio, differenti tassi di decadimento. Tenendo conto di questa variabilità ambientale, le particelle forestali di faggeta da campionare sono state selezionate in modo da mantenere una distribuzione spaziale il più possibile bilanciata tra il versante toscano e romagnolo e nei vari settori del parco.

2.2. INDIVIDUAZIONE DELLE PARTICELLE FORESTALI IN CUI ESEGUIRE I RILEVAMENTI

La selezione delle particelle forestali è stata effettuata mediante utilizzo di materiale cartografico e consultazione dei piani di assestamento disponibili, secondo le fasi riportate in **Figura 2.2-1**.

FASE 1

Utilizzando la Carta delle Vegetazione del Parco sono state selezionate le sole superfici forestali a prevalenza di faggio (**Fig. 2.2-1**), sulle quali si è concentrata la successiva selezione delle particelle.

FASE 2

Mediante la consultazione dei piani di assestamento più recenti a disposizione (**Fig. 2.2.1**), le particelle forestali sono state selezionate secondo i seguenti criteri:

- composizione specifica del piano arboreo, con dominanza di faggio;
- tipologia di gestione e struttura forestale (cedui/fustaie);
- anni trascorsi dall'ultimo intervento di utilizzazione forestale;
- accessibilità dei siti per monitoraggi futuri;
- condizioni ambientali (topografiche, climatiche) il più possibile omogenee;
- distribuzione spaziale dei siti e delle categorie individuate rispetto all'area del Parco;

FASE 3

La consultazione dei piani di assestamento ha consentito di individuare alcune particelle forestali con diverse modalità di gestione caratterizzate da una buona distribuzione della distanza temporale dall'ultimo intervento gestionale (taglio o diradamento). Tra queste ne sono state selezionate e campionate 18 ritenute idonee per effettuare i rilievi mirati a quantificare il volume di legno morto in foresta e rispondere ai quesiti principali obiettivo della ricerca.

Al fine di stabilire "benchmarks", ovvero livelli ottimali di riferimento, sono stati inclusi nel campionamento

anche siti da lungo tempo non disturbati da interventi silvicolture, come la Riserva Integrale di Sasso Fratino, il cui nucleo storico è stato istituito nel 1959.

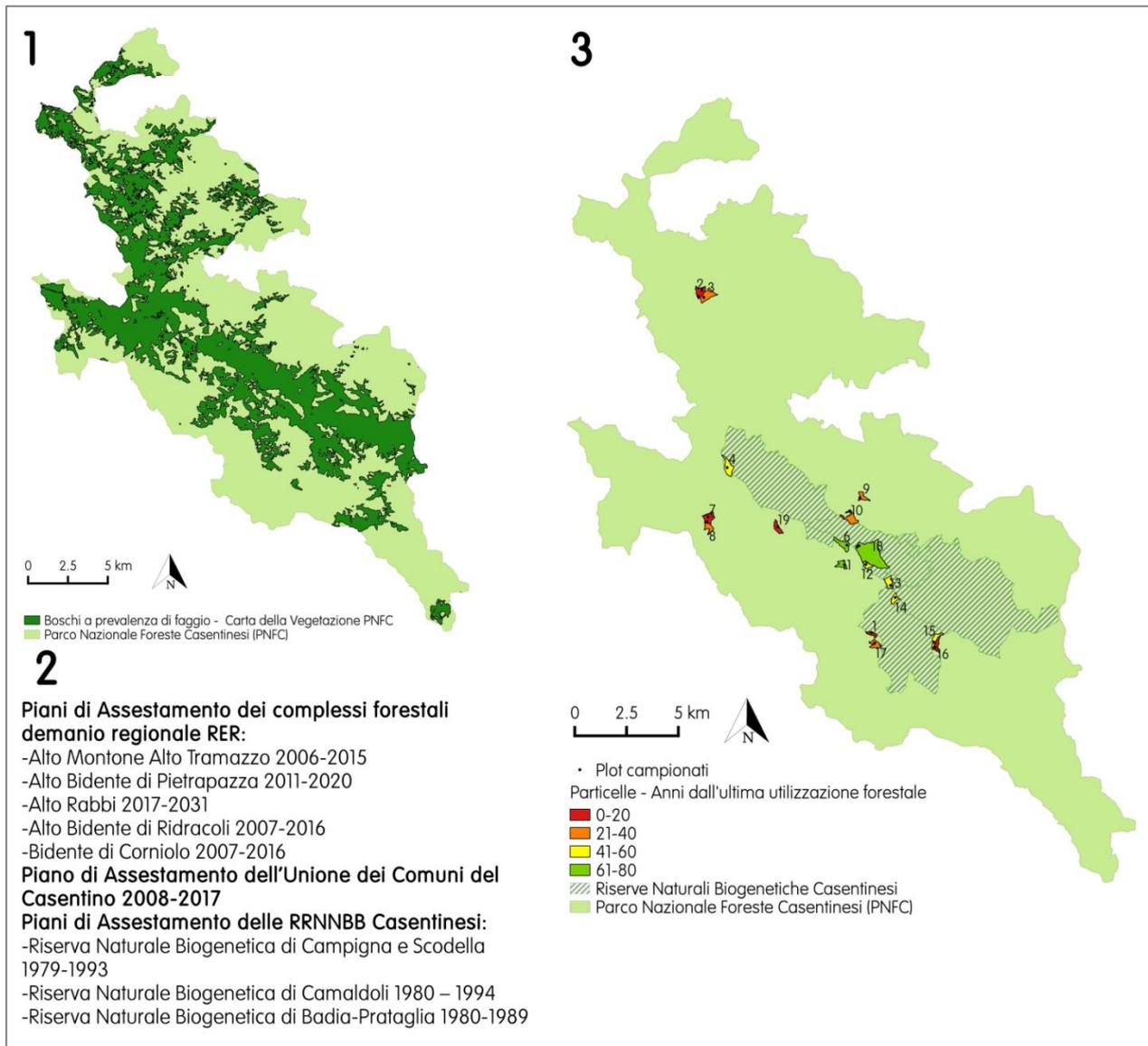


Fig. 2.2-1 – Procedura di selezione delle particelle forestali oggetto di campionamento nell'anno 2019.

2.3. LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI DI RILEVAMENTO

Nei mesi di maggio e giugno 2019 sono stati effettuati i sopralluoghi di campo ed i successivi rilevamenti. Per ciascuna particella, mediante una preliminare verifica in campo delle condizioni stazionali, si è individuato un sito rappresentativo delle condizioni generali della particella stessa, escludendo fenomeni localizzati (ad esempio crolli di alberi isolati, rii, strade forestali) al fine di ottenere una stima del volume di necromassa quanto più possibile legata ai due parametri principali oggetto dell'indagine e non ad altri fattori stazionali che possono influire sulla quantità di piante o legno morto. In ciascuna particella è stata individuata un'area di 50 m x 50 m quanto più possibile omogenea in termini di struttura e caratteristiche topografiche ad una distanza minima dai margini della particella pari a 50 m. I plot sono stati fissati in maniera permanente mediante installazione di un picchetto metallico interrato, corrispondente al punto centrale. Lo stesso punto centrale è stato georeferenziato, così da favorire una precisa rilocalizzazione dei siti di rilievo per future attività di monitoraggio. In **Tabella 2.3-1** sono riportati i dati relativi ad ogni plot campionato.

Tab. 2.3-1 – Dati di stazione relativi ai plot rilevati: Anni ultimo intervento = anni intercorsi dall'ultimo taglio; Data di rilievo; Complesso/Territorio = si riferisce ai Piani di Assestamento; ID particella = fa riferimento al codice identificativo presente nei Piani di Assestamento; Macrotipo = classificazione gestionale/strutturale in due macrotipi principali; Categoria = si riferisce alle classi di anni dall'ultimo intervento. Le coordinate geografiche fanno riferimento al centro di ciascun plot.

Anni ultimo intervento	Plot	Longitudine (WGS84)	Latitudine (WGS84)	Data	Complesso/Territorio	ID particella	Macrotipo	Categoria
0-20	1	11.798300	43.808216	18/06/2019	UdC Casentino	019C004F01	fustaia	a
0-20	2	11.694541	43.954268	26/06/2019	Alto Montone - Alto Tramazzo	108a	fustaia	a
0-20	7	11.700430	43.858573	25/06/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019A018F01	fustaia	a
0-20	16	11.836392	43.801764	19/06/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019C052F01	fustaia	a
0-20	19	11.742265	43.854196	17/05/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019A045F01	fustaia	a
21-40	3	11.697832	43.953852	26/06/2019	Alto Rabbi	141	fustaia	b
21-40	8	11.699683	43.856180	25/06/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019A032F01	ceduo	c
21-40	9	11.791415	43.866770	16/05/2019	Alto Bidente di Ridracoli	166a	fustaia	b
21-40	10	11.785265	43.861063	17/05/2019	Bidente Corniolo	140a	fustaia	b
21-40	17	11.800285	43.803691	19/06/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019C005F01	ceduo	c
41-60	4	11.711864	43.879930	16/05/2019 - 22/06/2019	RNB Campigna	campigna-8	ceduo	c
41-60	12	11.794932	43.837829	20/06/2019	RNB Badia-Prataglia	badia-8	ceduo	c
41-60	13	11.809714	43.828782	23/06/2019	RNB Badia-Prataglia	badia-34	fustaia	b
41-60	14	11.812519	43.823479	21/06/2019	RNB Camaldoli	camaldoli-17	fustaia	b
41-60	15	11.835697	43.803998	21/06/2019	RNB Camaldoli	camaldoli-176	fustaia	b
61-80	6	11.783590	43.846240	20/06/2019	RI La Pietra (UdC Casentino)	019B001F01	fustaia	d
61-80	11	11.782146	43.837715	23/06/2019	Unione dei Comuni del Casentino	019B009F01	ceduo	c
61-80	18-1	11.789669	43.845508	24/06/2019	RI Sasso Fratino (RCB Pratovecchio)	SF-1959	fustaia	d
61-80	18-2	11.790759	43.845959	24/06/2019	RI Sasso Fratino (RCB Pratovecchio)	SF-1959	fustaia	d

Considerando le tipologie gestionali/strutturali maggiormente rappresentate nel parco si sono individuate particelle appartenenti a due macrotipi strutturali di sintesi: cedui e fustaie. Le fustaie considerate sono nella quasi totalità di origine agamica.

Inoltre, sono state selezionate particelle suddivise in quattro categorie, coincidenti anche con classi di intensità di gestione, qui intesa come tempo intercorso dall'ultimo intervento di taglio (**Fig. 2.3-1**):

- a) Fustaia in conversione con due cicli di diradamento,
- b) Fustaia avviata senza diradamenti successivi,
- c) Cedui invecchiati,
- d) Riserve Integrali e boschi non soggetti ad interventi da più di 60 anni.



Fig. 2.3-1 – Esempi di particelle classificate nei quattro gruppi gestionali/strutturali: a) Fustaia in conversione con due cicli di diradamento; b) Fustaia avviata senza diradamenti successivi; c) Ceduo invecchiato; d) Riserve integrali e boschi non soggetti ad interventi da più di 60 anni.

Nel complesso sono state selezionate 18 particelle forestali (per la RI di Sasso Fratino si è considerato come

particella il nucleo storico della Riserva Integrale, ovvero l'area soggetta a tutela da più lungo tempo, anno 1959). I rilievi sono stati svolti in un totale di 11 giornate di campo, tra maggio e giugno 2019 (Fig. 2.3-2). In queste 18 particelle sono stati campionati 19 plot (due nella RI di Sasso Fratino, considerata la maggiore estensione del sito rispetto alle altre particelle incluse nel campionamento e la maggiore variabilità interna dovuta a dinamiche naturali).

Le particelle campionate sono incluse nelle seguenti macrozone: M.Bucine e M.Pian Casciano (San Benedetto in Alpe); M. Falco e Lago degli Idoli; San Paolo in Alpe; Crinale tra Poggio Acerone, Passo del Porcareccio e Prato al Soglio; M.Faggiolo e Poggio Muschioso; Poggio Tre Confini; RI La Pietra e RI Sasso Fratino.

Ai campionamenti hanno partecipato:

- Chiara Lelli (Università di Bologna, coordinatrice dell'attività);
- Eva Turicchia, Giulio Chiapponi, Beatrice Cecchetti (studenti tirocinanti dell'Università di Bologna – corsi di laurea triennale in Scienze Naturali e laurea magistrale in Scienze e Gestione della Natura);
- Luca Di Nuzzo (studente tirocinante dell'Università di Firenze – laurea magistrale in Scienze della Natura);
- Renato Benesperi e Elisabetta Bianchi (Professore e Ricercatrice dell'Università di Firenze che hanno fornito supporto in quattro giornate di campionamento);
- Volontari del progetto *Life ESC 360* (CUFA e D.R.E.A.M. Italia), che hanno partecipato a quattro giornate di campionamento nel mese di giugno.

Hanno fornito un importante supporto logistico il Raggruppamento Carabinieri Biodiversità – Reparto Biodiversità di Pratovecchio e i CTA-CC di Stia (per raggiungere le due particelle nella zona del Lago degli Idoli, il 25 giugno) e di Premilcuore (per raggiungere le particelle nella zona di Monte Pian Casciano, il 26 giugno 2019).



Fig. 2.3-2 – Campionamenti 2019 nelle faggete del Parco Nazionale delle Foreste Casentinesi e nelle RRNNBB Casentinesi.

2.4. PROTOCOLLO OPERATIVO PER IL RILEVAMENTO DEL LEGNO MORTO

Per la stima dei dati quantitativi di legno morto è stato utilizzato il protocollo di rilevamento presentato nell'ambito dell'*International Co-operative Programme on Assessment and Monitoring of Air Pollution Effects on Forests*, successivamente integrato e perfezionato (Travaglini et al., 2007).

Il protocollo prevede un disegno inventariale basato su un plot di forma quadrata di 50 m di lato, con un lato orientato verso il nord magnetico, al cui interno è posizionato un cluster di quattro subplot circolari di 7 m di raggio (**Fig. 2.4-1**). Durante il presente studio il plot è stato orientato in direzione NW-SE, **Fig. 2.4-1**, per uniformarsi anche al protocollo previsto nel progetto *DarkDivNet*. Questo progetto mira a sviluppare un network a scala globale per esplorare la *dark diversity* delle comunità di piante vascolari, includendo nel 2019 già più di 150 aree di studio in tutto il mondo (Pärtel & Carmona, 2019).

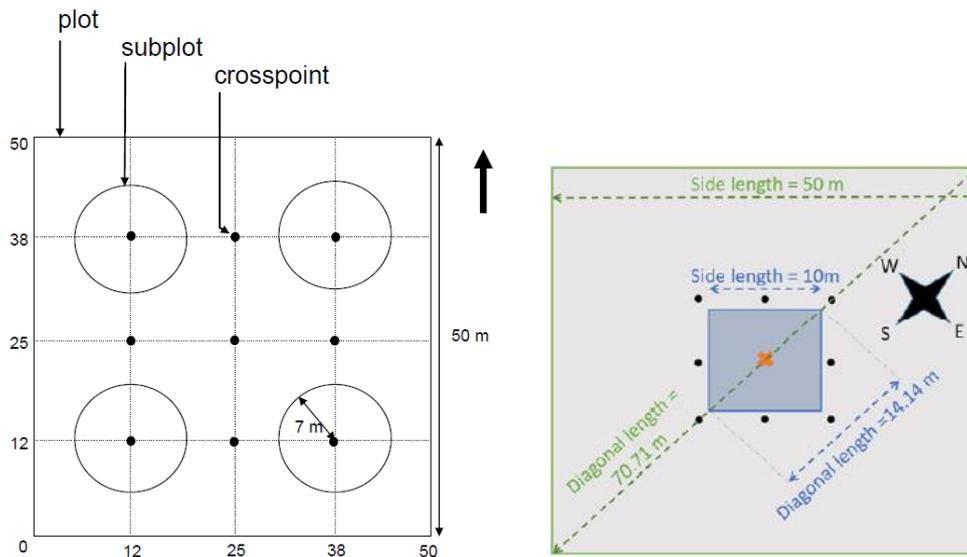


Fig. 2.4-1 – A sinistra: schema del plot di 50 m di lato con la collocazione relativa dei quattro subplot circolari di 7 m di raggio (da Travaglini et al., 2007). A destra: collocazione del plot di 10 m x 10 m per il campionamento della flora vascolare, all'interno dell'area di monitoraggio della necromassa.

I quattro subplot di 7 m di raggio sono centrati ai vertici di un quadrato di 26 m di lato, con i lati paralleli al quadrato di 50 m di lato.

Di seguito si riporta il materiale utilizzato in campo:

- 2 cordelle metriche da 50 m;
- Paline di legno per delimitare il subplot quadrato centrale di 10 m x 10 m;
- 1 cordella metrica da 10 o 20 metri (per individuare il centro dei subplot circolari);
- 2 metri a nastro per la misura della necromassa di piccole dimensioni;
- Cavalletto dendrometrico;
- Ipsometro;
- Bussola e inclinometro;
- GPS;
- Schede di rilevamento.

2.5. INVENTARIO DEL LEGNO MORTO NEL PLOT DI RILEVAMENTO

L'inventario della necromassa è stato effettuato seguendo il protocollo di Travaglini et al. (2007) considerando: tutti gli alberi morti in piedi (*standing deadwood*), gli alberi troncati (*snags*) e gli alberi morti a terra (*dead downed trees*) nel quadrato di 50 m di lato, i pezzi di legno morto di piccole dimensioni (*lying deadwood*) e le ceppaie (*stumps*) nei 4 subplot di 7 m di raggio.

2.5.1. Categorie inventariali

I dettagli del protocollo sono riportati di seguito in modo schematico (**Tab. 2.5.1-1**).

Tab. 2.5.1-1 - Inventario della necromassa, standard di rilevamento (UdC: Unità di Campionamento)

CATEGORIA	UdC	SOGLIE	ATTRIBUTI
Standing deadwood (minimum DBH \geq 5 cm)	plot	DBH \geq a 5 cm e base del fusto all'interno del plot	- DBH (con o senza corteccia) - Altezza - Specie - Livello di decadimento
Snags > 4 m (minimum DBH \geq 5 cm)	plot	DBH \geq a 5 cm e base del fusto all'interno del plot. Gli alberi troncati vengono classificati tali se la loro altezza è \geq 1.3 m, altrimenti sono da includere tra le ceppaie (quindi da rilevare all'interno dei subplot circolari)	- DBH (con o senza corteccia) - Altezza (altezza della troncatura) - Specie - Livello di decadimento
Snags \leq 4 m (minimum DBH \geq 5 cm)	plot	DBH \geq a 5 cm e base del fusto all'interno del plot. Gli alberi troncati vengono classificati tali se la loro altezza è \geq 1.3 m, altrimenti sono da includere tra le ceppaie	- Diametro a metà della loro altezza - Altezza - Specie - Livello di decadimento
Dead downed trees (minimum DBH \geq 5 cm)	plot	Ogni albero morto a terra (in un unico pezzo o in più pezzi inequivocabilmente riconoscibili come un singolo albero) viene incluso nell'inventario se la sua parte più larga giace all'interno del plot	- DBH (con o senza corteccia) - Lunghezza totale - Specie - Livello di decadimento
Rami e pezzi di legno a terra (diameter at thicker end \geq 5 cm)	subplot	I rami a terra vengono inclusi nell'inventario quando il loro diametro in corrispondenza dell'estremità maggiore è \geq 5 cm e la loro estremità maggiore giace all'interno del subplot. Se il pezzo contiene numerosi rami allora tutti dovranno essere considerati e misurati come pezzi separati se il loro diametro è \geq 5 cm all'estremità maggiore	- Lunghezza totale del pezzo dal punto più spesso al punto in cui il diametro raggiunge o scende sotto i 3 cm - Diametro a metà della lunghezza - Specie - Livello di decadimento
Stumps ((diameter at the level of cut \geq 10 cm, height < 1.3 m)	subplot	Le ceppaie vengono incluse nell'inventario se il loro diametro a livello del taglio (o della rottura del fusto) è \geq 10 cm e più del 50% della ceppaia si trova all'interno del subplot	- Diametro della ceppaia a livello del taglio (o della rottura) - Altezza della ceppaia - Specie - Livello di decadimento

2.5.2. Classi di decadimento

Per ciascuno dei pezzi di legno rilevati nel plot di 50 m di lato e nei 4 subplot circolari è stata assegnata la classe di decadimento secondo il metodo proposto da Hunter (1990) ed ampiamente utilizzato, che prevede la stima di tale parametro secondo caratteristiche tattili e visive. Le classi di decadimento assegnate ai diversi pezzi di legno morto nel presente lavoro sono definite di seguito (**Tab. 2.5.2-1**).

Tab. 2.5.2-1 - Descrizione delle classi di decadimento tratte da Hunter (1990)

Classe 1	Ceppaie tagliate di fresco; tronchi o branche con legno duro, corteccia intatta; tronco rotondo in sezione trasversale.
Classe 2	Il legno può essere decomposto superficialmente (al di sopra di 1 cm), corteccia staccata ed in parte caduta, fusto rotondo in sezione trasversale.
Classe 3	La maggior parte del fusto può essere decomposto per parecchi centimetri, fusto rotondo in sezione trasversale.
Classe 4	Legno soffice completamente decomposto, fusto ovale in sezione trasversale, con grandi aperture; il legno perde la sua consistenza e si disintegra quando viene toccato.
Classe 5	I residui della pianta possono essere riconosciuti nello stato di lettiera o sono evidenziati dalla diversa vegetazione.

2.5.3. Tavole di cubatura

Per calcolare i volumi del legno morto rilevati nel presente lavoro sono state utilizzate le tavole di cubatura a doppia entrata riportate in Castellani et al. (1984). Nell'utilizzo delle tavole di cubatura, il calcolo del volume viene effettuato applicando le specifiche formule previste per ciascuna tipologia forestale e strutturale (**Tab. 2.5.3-1**).

Tab. 2.5.3-1 - Nome delle tavole di cubatura in Castellani et al. (1984) utilizzate per calcolare i volumi delle specie rilevate durante il presente lavoro.

Specie	Tipo di gestione silviculturale della particella	Nome della tavola
Fagus sylvatica	Fustaia transitoria	Tavola del faggio allevato a fustaia
Fagus sylvatica	Fustaia naturale	Tavola del faggio allevato a fustaia
Fagus sylvatica	Ceduo invecchiato	Tavola del faggio allevato a ceduo

Il protocollo inventariale prevede il calcolo del volume degli alberi morti in piedi e troncati (*standing deadwood* e *snags*) e degli alberi morti a terra (*dead downed trees*) attraverso l'utilizzo di tavole di cubatura a doppia entrata (Castellani et al., 1984), mentre il censimento della necromassa a terra di piccole dimensioni (*lying deadwood*) e delle cappaie (*stumps*) è previsto all'interno dei quattro subplot circolari. Il volume delle ceppaie, dei rami e degli *snags* di piccole dimensioni ($H \leq 4$ m, minimo DBH ≥ 5 cm) è stato calcolato mediante la formula di Huber, o della sezione mediana, a livello del plot, come media dei valori stimati a livello dei quattro subplot:

$$V = S_m \times H$$

dove: S_m = area della sezione presa a metà lunghezza; H = lunghezza totale del tronco

Nel seguito si riassume il protocollo seguito per il calcolo del volume, separatamente per ogni tipologia.

Standing deadwood (minimum DBH \geq 5 cm)

Volume estimation at plot level: tavole di cubatura a doppia entrata, separando boschi con struttura a ceduo e a fustaie. Il volume degli alberi morti in piedi è stato sommato a livello di plot e trasformato in m^3/ha applicando un fattore moltiplicativo di 4, per ottenere la stima ad ettaro (100 m x 100 m) a partire da plot di $\frac{1}{4}$ di ettaro (50 m x 50 m).

Snags > 4 m (minimum DBH \geq 5 cm)

Volume estimation at plot level: il volume di ogni oggetto è stato stimato mediante tavole di cubatura a doppia entrata. Il volume degli snags è stato sommato a livello di plot e trasformato in m^3/ha applicando un fattore moltiplicativo di 4.

Snags \leq 4 m (minimum DBH \geq 5 cm)

Volume estimation at plot level: il volume di ogni oggetto è stato stimato per mezzo della formula di Huber. Il volume degli snags è stato sommato a livello di plot e trasformato in m^3/ha applicando un fattore moltiplicativo di 4.

Dead downed trees (minimum DBH \geq 5 cm)

Volume estimation at plot level: il volume di ogni oggetto è stato stimato mediante tavole di cubatura a doppia entrata. Il volume degli alberi morti a terra è stato sommato a livello di plot e trasformato in m^3/ha applicando un fattore moltiplicativo di 4.

Lying deadwood Rami e pezzi di legno a terra (diameter at thicker end \geq 5 cm)

Volume estimation at subplot level: il volume di ogni pezzo è stato stimato utilizzando la formula di Huber; il volume in m^3 è stato ottenuto sommando il volume di ciascun pezzo a livello di subplot, mediando il valore dei quattro subplot e poi applicando un fattore moltiplicativo di 65, per convertire la stima in m^3/ha .

Ceppaie (diameter at the level of cut \geq 10 cm, height < 1.3 m)

Volume estimation at subplot level: il volume di ogni ceppaia è stato stimato utilizzando la formula di Huber; il volume in m^3 è stato ottenuto sommando il volume di ciascun pezzo a livello di subplot, mediando il valore dei quattro subplot e poi applicando un fattore moltiplicativo di 65, per convertire la stima in m^3/ha .

2.6. BIODIVERSITÀ

Oltre al campionamento della necromassa, come previsto nel protocollo d'intesa tra i parchi lungo la dorsale appenninica, nel corso di questo studio sono stati campionati anche alcuni dati aggiuntivi, relativi a componenti di biodiversità (gruppi di organismi) nelle medesime aree di campionamento individuate per la stima della necromassa. In particolare sono stati campionati dati relativi a **flora vascolare, briofite e licheni**

epifiti. Questi dati potranno essere utilizzati per analizzare direttamente le relazioni tra indicatori di biodiversità, come appunto la necromassa, e la biodiversità effettivamente presente, e potranno anche essere integrati in futuro con dati relativi ad altri gruppi di organismi. Per la parte relativa alla biodiversità, marginale rispetto all'obiettivo principale del presente progetto (stima del legno morto), si presentano nel seguito i primi risultati preliminari. Per questa parte del campionamento si è utilizzato lo stesso protocollo adottato nell'ambito del progetto di Dottorato di Ricerca di Chiara Lelli (Università di Bologna), così da poter anche integrare questi nuovi dati con quelli già raccolti nel 2016-2017. È stato anche seguito il protocollo *DarkDivNet* (Fig. 2.4-1), per permettere al PNFC di contribuire ad un progetto a scala globale globale (Pärtel & Carmona, 2019). Le piante vascolari sono state campionate entro un plot quadrato di 10 m x 10 m collocato al centro dell'area di 50 m x 50 m utilizzata per la stima della necromassa. Per gli epifiti (licheni e briofite presenti sui fusti arborei) è stato effettuato un rilievo speditivo, con limite di tempo, entro l'area di 50 m X 50 m, al fine di ottenere una check-list delle specie presenti sui fusti degli alberi vivi, fino ad un'altezza di circa 2,5 m dal suolo.

2.7. ANALISI DEI DATI

Sono state effettuate le seguenti analisi:

- Volume e frequenza delle diverse tipologie di legno morto;
- Volume di legno morto in relazione al tempo intercorso dall'ultimo intervento di gestione silvicolturale (taglio);
- Volume di legno morto in relazione alle diverse modalità gestionali/strutturali;
- Volume di legno morto in relazione alle classi di decadimento;
- Ricchezza specifica e caratteristiche ecologiche delle specie di piante vascolari e organismi epifiti (licheni e briofite) in relazione alla quantità di legno morto.

Per quanto riguarda la gestione non per tutte le particelle campionate è stato possibile risalire con precisione all'anno dell'ultimo intervento forestale. Tuttavia, in base ai dati disponibili le particelle sono state raggruppate in classi con intervalli di 20 anni. Si è, quindi, proceduto con le analisi considerando questa suddivisione, che si presenta anche in linea con le diverse tipologie considerate:

Categoria	Classe (anni)
a) Fustaia in conversione con due cicli di diradamento	0-20
b) Fustaia avviata senza diradamenti successivi e cedui invecchiati	21-40
c) Fustaia avviata senza diradamenti successivi e cedui invecchiati	41-60
d) Riserve Integrali e boschi non soggetti ad interventi da più di 60 anni	61-80

Tutte le analisi sono state effettuate con il programma R versione 3.4.2 (R Core Team, 2017).

3. RISULTATI

3.1. VOLUME E TIPOLOGIE DI LEGNO MORTO NEI PLOT RILEVATI

I dati relativi ai volumi di legno morto rilevati nei plot individuati sono riportati nella **Tabella 3.1-1**.

Tabella 3.1-1. Volumi di legno morto (m^3/ha) in ciascuno dei 10 plot rilevati. Nelle righe alla fine della tabella sono riportate le medie e le deviazioni standard delle singole tipologie di legno morto. Sd = standing deadwood (alberi morti in piedi), Ddt = dead downed trees (alberi morti a terra), s<4 = snags < 4 m (alberi troncati di altezza inferiore a 4 m), s>4 = snags > 4 m (alberi troncati di altezza superiore a 4 m), s = stumps (ceppaie), l = lying deadwood (rami, pezzi di piccole dimensioni). Struttura: ceduo (C), fustaia (F).

Plot	Struttura	Anni ultimo intervento	Sd	Ddt	S > 4	S < 4	S	l	Totale V (m^3/ha)
1	F	0-20	0,00	3,07	0,00	0,00	15,35	10,12	28,54
2	F	0-20	9,63	6,44	0,00	0,00	3,00	8,22	27,29
3	F	21-40	4,31	1,36	1,51	0,34	5,40	13,67	26,60
4	C	41-60	5,91	3,78	0,66	0,92	0,00	8,76	20,03
6	F	61-80	2,05	3,16	2,58	1,15	2,35	15,71	27,00
7	F	0-20	0,00	0,00	0,00	0,00	10,76	9,94	20,69
8	C	21-40	4,75	0,45	1,63	1,48	0,00	5,71	14,03
9	F	21-40	2,10	0,31	0,00	0,08	32,27	2,71	37,47
10	F	21-40	12,89	0,00	0,00	0,00	0,89	12,33	26,11
11	C	61-80	4,77	10,99	4,24	4,11	0,00	14,62	38,73
12	C	41-60	11,96	0,95	5,21	2,97	0,00	9,87	30,97
13	F	41-60	17,85	6,69	0,30	0,65	0,99	13,62	40,11
14	F	41-60	8,74	0,00	0,44	0,25	1,63	8,22	19,28
15	F	41-60	8,55	0,00	0,00	0,00	8,48	7,09	24,12
16	F	0-20	0,00	0,00	0,00	0,00	13,79	4,83	18,62
17	C	21-40	4,51	9,51	2,43	0,76	0,00	7,75	24,96
19	F	0-20	0,00	0,00	0,00	0,00	15,28	12,25	27,53
18a	F	61-80	36,17	57,32	0,15	18,53	25,98	55,04	193,20
18b	F	61-80	0,45	16,98	3,13	0,43	22,46	23,49	66,94
		MEDIA	7,09	6,37	1,17	1,67	8,35	12,84	37,48
		SD	8,44	12,85	1,57	4,12	9,71	10,93	38,37

Il volume totale medio misurato è pari a $37,48 m^3/ha$ (**Tab. 3.1-1**), con valori massimi misurati nei plot campionati in aree di riserva integrale, o comunque in boschi privi di interventi di taglio da più di 60 anni.



Fig. 3.1-1 – Plot campionato nella Riserva Integrale di Sasso Fratino, in cui si è rilevato il massimo valore di necromassa.

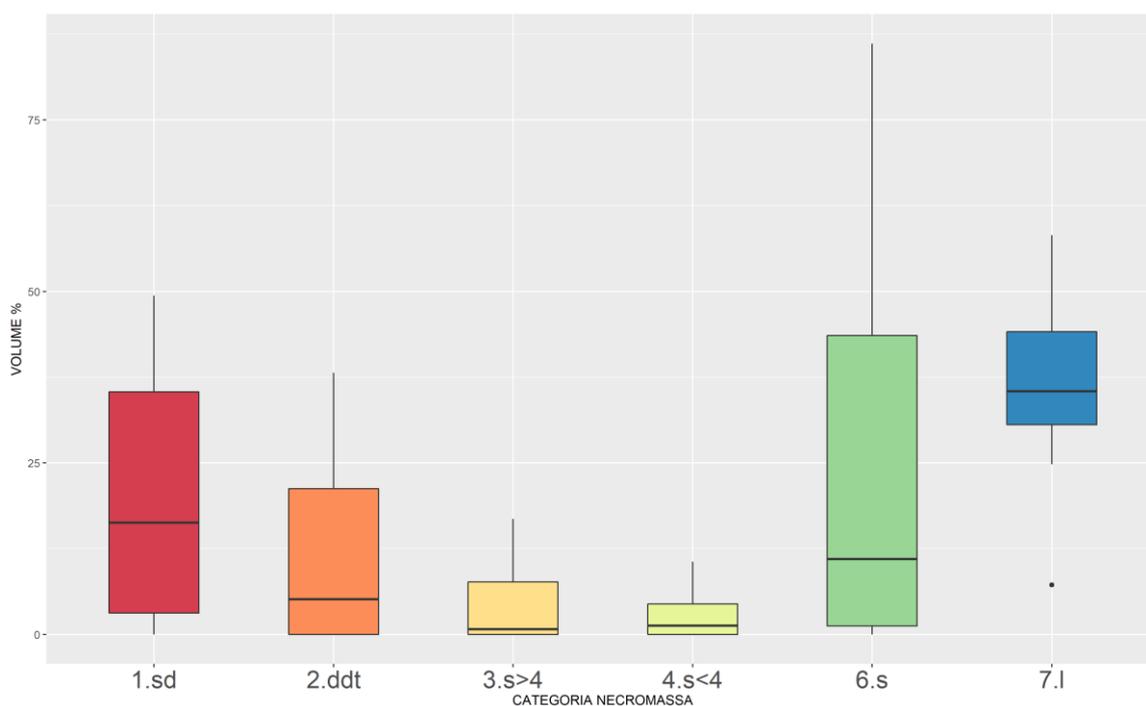


Fig. 3.1-2. Percentuale dei volumi di legno morto suddivise nelle diverse tipologie rilevate (percentuali calcolate sul totale per ogni plot). *Sd* = standing deadwood (alberi morti in piedi), *Ddt* = dead downed trees (alberi morti a terra), *s<4* = snags < 4 m (alberi troncati di altezza inferiore a 4 m), *s>4* = snags > 4 m (alberi troncati di altezza superiore a 4 m), *l* = lying deadwood (rami, pezzi di legno), *s* = stumps (ceppaie).

La tipologia che costituisce la percentuale maggiore di legno morto rilevata è rappresentata dai rami e pezzi di legno morto di piccole dimensioni (*lying deadwood*), che costituisce in volume il 34% del totale (Fig. 3.1-2). Il volume di legno morto ascrivibile a questa tipologia varia tra 55,04 m³/ha e 2,71 m³/ha con una media

di $12,84 \pm 10,93 \text{ m}^3/\text{ha}$ (per un confronto diretto, nel PNATE i valori variano da $27,73 \text{ m}^3/\text{ha}$ a $2,88 \text{ m}^3/\text{ha}$ con una media di $8,14 \text{ m}^3/\text{ha}$). Un'altra tipologia che presenta valori percentuali relativamente alti rispetto al totale del volume rilevato e un'elevata variabilità, è costituita dalle ceppaie. Il volume medio delle ceppaie è pari a $8,35 \text{ m}^3/\text{ha}$. L'abbondanza delle ceppaie è generalmente strettamente associata alla gestione antropica come testimoniato dai segni di taglio presenti sulla quasi totalità delle ceppaie rilevate e dal maggior volume rilevato in fustaie. Tuttavia, è interessante notare che i volumi maggiori di necromassa della categoria ceppaie si sono misurati nei due plot campionati nella Riserva Integrale di Sasso Fratino (18a e 18b). Questo risultato potrebbe essere fuorviante, essendo le ceppaie generalmente associate a interventi di taglio. Bisogna, però, sottolineare che in entrambi questi plot le ceppaie presentavano un elevato livello di decadimento (classi 4 e 5): si tratta, quindi, probabilmente di residui di alberi soggetti a crolli spontanei in tempi non recenti, ma non più rilevabili come alberi troncati in piedi (secondo quanto stabilito nel protocollo di rilevamento, **Tab. 2.5.1-1**) poiché con un'altezza inferiore a 1,5 metri (**Fig. 3.1-3**).



Fig. 3.1-3 - Esempio di ceppaie (*stumps* = altezza inferiore a 1,5 m): a destra ceppaia originata da taglio recente (classe di decadimento 1), a sinistra originata da crollo naturale di un albero, questa presenta un elevato grado di decomposizione ed è stata rilevata nella RI La Pietra.

Il volume medio rilevato per gli alberi morti a terra è pari a $6,37 \text{ m}^3/\text{ha}$, con elevata variabilità tra i diversi plot. Solitamente questa tipologia è costituita dagli elementi con il diametro maggiore, che sono anche quelli che resistono più a lungo alla decomposizione ed ospitano la maggior parte della biodiversità. Gli alberi morti in piedi e gli alberi troncati (*snags*), sia inferiori che superiori ai 4 metri di altezza, sono la tipologia meno rappresentata in generale (**Tab. 3.1-1**).

(Fig. 3.2-1), si registra un valore nettamente maggiore di legno morto per le particelle che da più tempo non sono soggette a taglio (classe 61-80). Queste particelle ricadono in aree di riserva integrale: la RI La Pietra (UdC Casentino) e la RI Sasso Fratino (RCB Pratovecchio), a confermare il ruolo chiave di queste aree di tutela integrale (*set-aside areas*) nel conservare componenti importanti dell'ecosistema forestale come la necromassa.

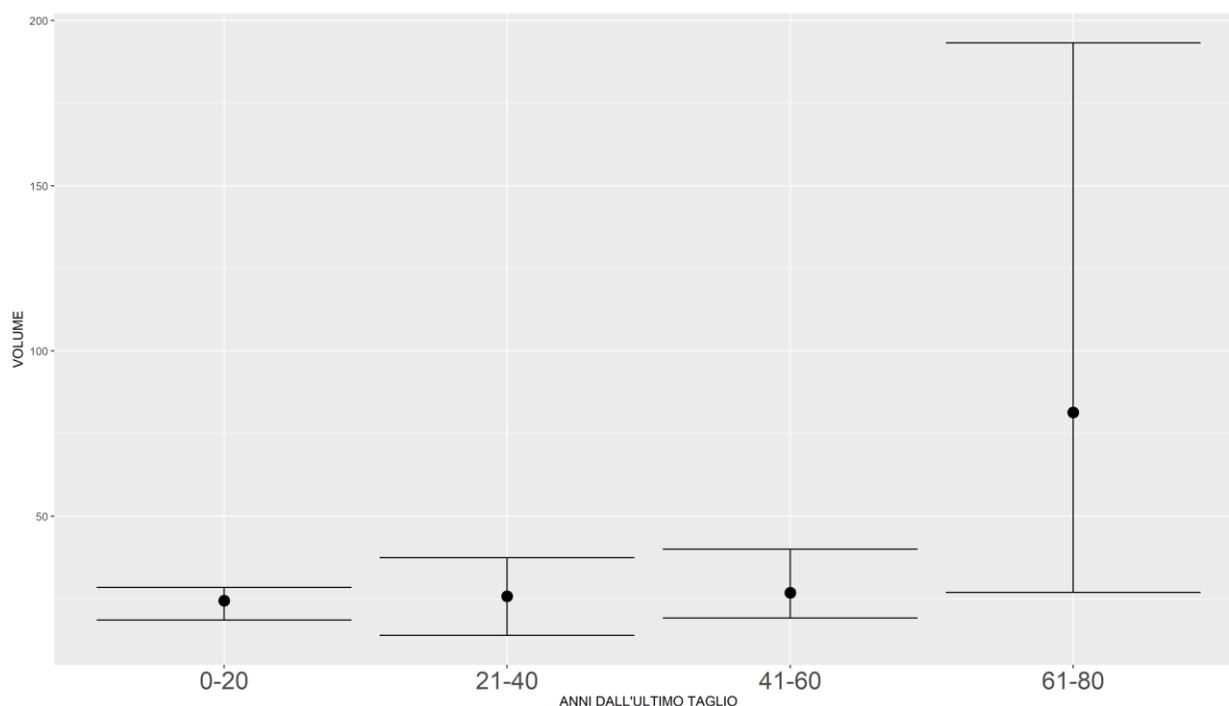


Fig. 3.2-1 - Volume di legno morto in relazione alla distanza temporale dall'ultimo intervento gestionale. Il tempo dall'ultimo intervento è suddiviso in classi: 0-20 anni (interventi recenti), 21-40 anni, 41-60 anni, 61-80 anni. Il punto centrale indica il volume medio, la barra superiore indica il volume massimo, la barra inferiore indica il volume minimo.

3.3. RELAZIONE TRA IL VOLUME DI LEGNO MORTO E LE DIVERSE MODALITÀ GESTIONALI

Si evidenzia una maggiore presenza di alberi troncati in piedi (*stumps*) nei cedui rispetto alle fustaie, mentre, viceversa, le ceppaie sono nettamente più rappresentate nelle fustaie (Fig. 3.3-1). I cedui campionati in questo studio sono tutti invecchiati, non più soggetti a interventi silvicolturali, e la presenza maggiore di alberi troncati è probabilmente il risultato dell'effetto competitivo dei polloni per lo spazio e la luce, che determina la morte dei polloni sottomessi e di piccole dimensioni: la maggior parte degli *stumps* appartiene, infatti, alla classe diametrica inferiore (compresa tra 5 e 10 cm).

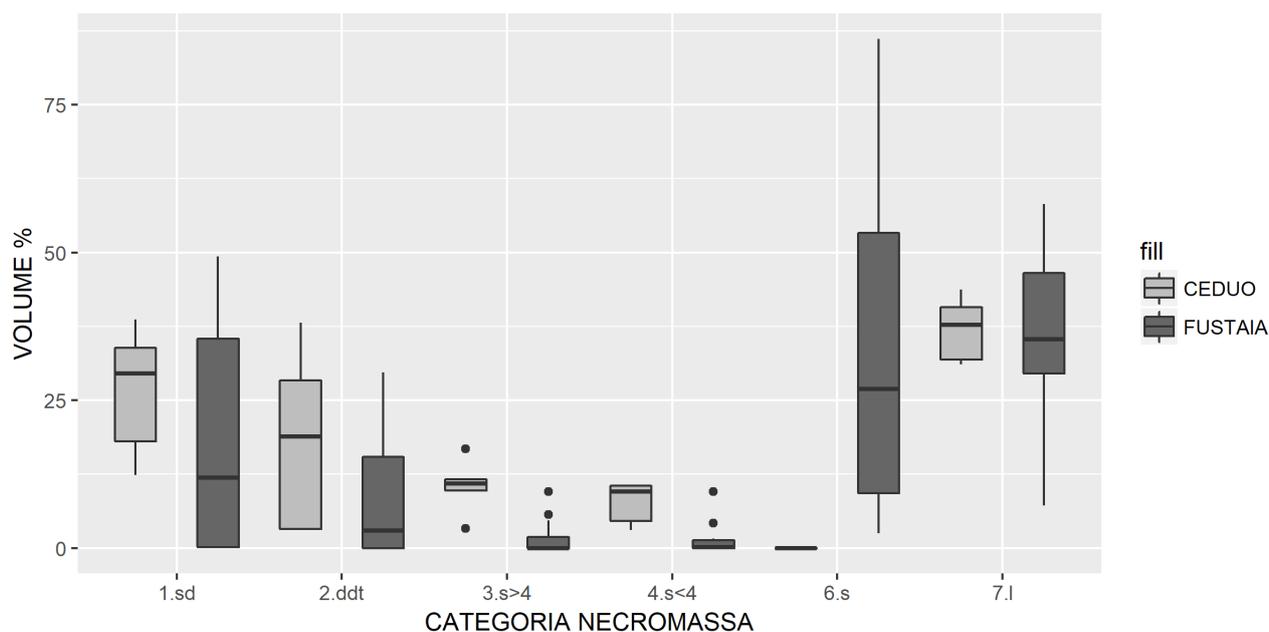


Fig. 3.3-1 - Volume percentuale di legno morto suddiviso per tipologia e per macrocategoria strutturale (ceduo/fustaia). Sd = standing deadwood (alberi morti in piedi), Ddt = dead downed trees (alberi morti a terra), s<4 = snags < 4 m (alberi troncati di altezza inferiore a 4 m), s>4 = snags > 4 m (alberi troncati di altezza superiore a 4 m), l = lying deadwood (rami, pezzi di legno), s = stumps (ceppaie).

3.4. CLASSI DI DECADIMENTO

La classe di decadimento prevalente, in termini di volume di legno morto totale rilevato (**Fig. 3.4-1**), risulta quella intermedia (la classe 3, **Fig. 3.4-2**), quindi la necromassa presente si mostra in larga misura con fusto questi completamente privo di corteccia, decomposto per parecchi centimetri, ma ancora rotondo in sezione trasversale (**Tab. 2.5.2-1**).

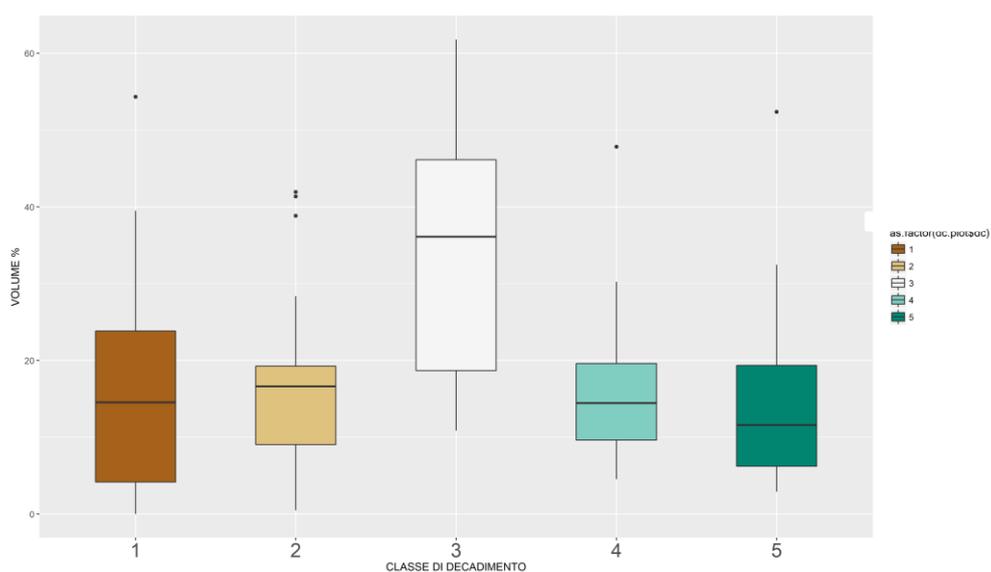


Figura 3.4-1 – Volumi di legno morto (media della percentuale in ciascun plot) per ciascuna classe di decadimento



Fig. 3.4-2 – Esempi di legno morto della classe più frequente (classe 3, a sinistra) e della classe 5 (massimo grado di decomposizione registrato, a destra).

Risulta interessante notare come si differenziano i plot, in termini di stati di decomposizione prevalenti del legno morto in essi presente, in relazione alla distanza temporale dall'ultimo intervento di taglio (**Tab. 3.4-1**, **Fig. 3.4-3**). I plot rilevati in particelle forestali che hanno subito interventi recenti di taglio (da 0 a 20 anni fa) presentano, infatti, una prevalenza di necromassa recente, nei primi stadi di decomposizione, quindi ancora completamente intatti o con primi fenomeni di scortecciamento. Al contrario, la tendenza si inverte completamente nei plot rilevati in particelle forestali da lungo tempo indisturbate (classe 61-80). In queste particelle il legno morto presenta un alto grado di degradazione, con le classi di decomposizione più elevate, la 4 e la 5, prevalenti (**Fig. 3.4-2**).

Tab. 3.4-1 – Volume totale di legno morto suddiviso per classe di decadimento rilevato in ciascun plot.

Anni ultimo intervento	PLOT	CLASSE DI DECADIMENTO				
		1	2	3	4	5
0-20	1	2,73	11,96	9,74	3,06	1,05
0-20	2	14,80	3,82	3,60	1,34	3,68
21-40	3	5,50	3,97	9,59	3,78	1,06
41-60	4	4,39	3,65	7,23	2,89	1,86
61-80	6	0,00	0,55	12,40	6,51	5,83
0-20	7	8,17	4,08	3,44	2,60	2,40
21-40	8	0,50	2,62	8,67	1,66	0,59
21-40	9	2,63	0,05	1,16	1,25	5,59
21-40	10	0,08	9,86	5,91	7,68	1,85
61-80	11	1,84	7,14	17,27	7,11	5,36
41-60	12	4,80	4,75	17,36	1,68	2,38
41-60	13	16,10	2,79	6,14	8,59	7,67
41-60	14	1,19	3,39	10,20	1,54	1,74
41-60	15	0,00	6,33	9,39	3,93	2,66
0-20	16	5,37	1,63	3,57	2,75	5,30
21-40	17	3,62	10,32	8,60	1,13	1,28
0-20	19	3,46	1,44	5,85	4,85	0,47
61-80	18a	8,36	15,74	31,56	83,11	35,01
61-80	18b	2,24	6,71	31,29	4,09	21,30

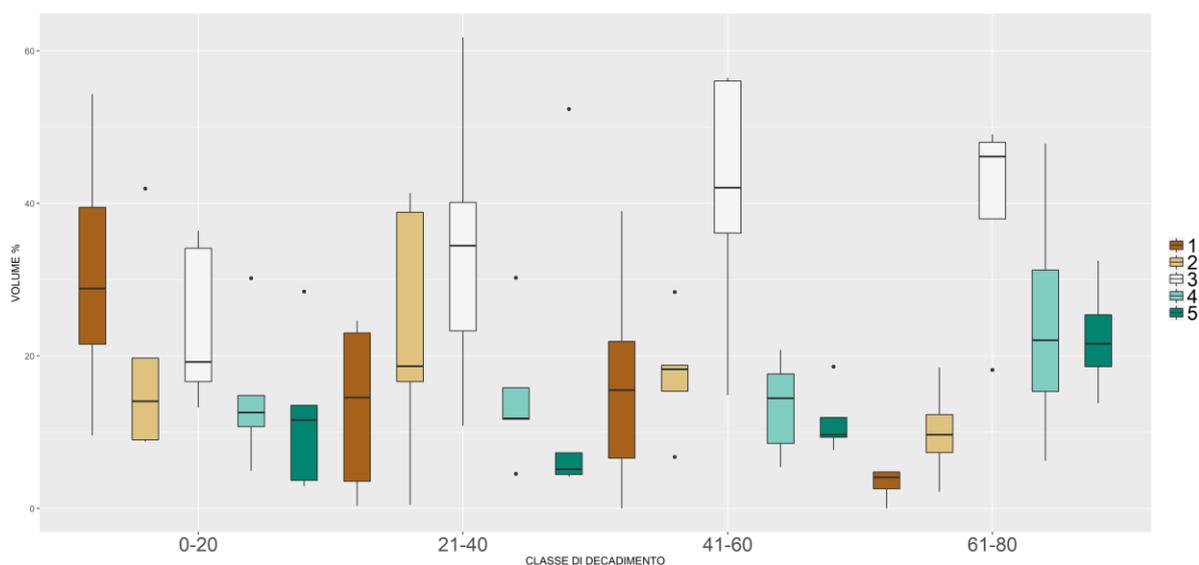


Figura 3.4-3 – Volumi di legno morto (media della percentuale in ciascun plot) per ciascuna classe di decadimento. Plot suddivisi in quattro classi temporali in relazione agli anni intercorsi dall’ultimo intervento di taglio.

3.5. BIODIVERSITÀ

Considerando la ricchezza specifica delle piante vascolari e dei licheni epifiti dei diversi plot, in relazione al tempo intercorso dall’ultimo intervento di taglio, si osserva una tendenza interessante: la ricchezza specifica media è maggiore nelle particella che hanno subito interventi recenti (tra 0 e 20 anni fa) e nelle particelle indisturbate da più lungo tempo (almeno da 60 anni), mentre cala nelle situazioni intermedie (**Tab. 3.5-1**).

Tab. 3.5-1 – Ricchezza specifica delle piante vascolari e dei licheni epifiti e volume di necromassa, valori medi (media \pm deviazione standard) per gruppi di plot a diversa intensità di gestione, intesa qui come anni dall’ultimo intervento di taglio.

Anni dall’ultimo intervento	Ricchezza specifica piante vascolari	Ricchezza specifica licheni	Volume legno morto
0-20	13,4 \pm 7,6	28,0 \pm 3,5	24,5 \pm 4,5
21-40	10,8 \pm 6,1	24,2 \pm 5,9	25,8 \pm 8,3
41-60	7,6 \pm 4,5	24,6 \pm 6,6	26,9 \pm 8,7
61-80	13,2 \pm 9,2	27,7 \pm 4,5	81,5 \pm 76,3

Diversi studi documentano come un aumento della ricchezza specifica delle piante vascolari, ed anche dei licheni, non sia necessariamente correlato ad una buona qualità dell’habitat, quanto piuttosto alla maggiore disponibilità di risorse (luce, spazio, nutrienti) per disturbi intermedi che ne favoriscono lo sviluppo (Roberts, 2004; Nascimbene et al., 2007; Ellis, 2012; Boch et al., 2013; Lelli et al., 2019). Al contempo, un aumento di ricchezza specifica di piante e licheni può essere dovuto alla presenza di più situazioni microstazionali differenziate, quindi un’eterogeneità ambientale che favorisce specie con esigenze ecologiche diverse (come siti meno luminosi e chiusi del bosco, in cui sono favorite le specie sciafile, o siti più aperti, per taglio di piante o crolli naturali di alberi, in cui sono favorite specie con maggiori esigenze luminose). I *gap* forestali, ovvero le aperture per crollo spontaneo di piante,

costituiscono, ad esempio, siti di rinnovazione di specie arboree, ma anche di piante erbacee che approfittano di una maggiore luminosità (**Fig. 3.5-1**). Tale situazione si verifica anche artificialmente nei casi di tagli di diradamento moderati. Per questo motivo, la sola ricchezza specifica non fornisce direttamente indicazioni sullo stato di conservazione degli habitat forestali e sul loro grado di naturalità (Lelli et al. 2019). Per avere questa informazione bisognerebbe considerare la composizione specifica più che il solo numero di specie, si vedano gli allegati per l'elenco completo delle specie rilevate nei plot (**Allegato 3** e **Allegato 4**). Per quanto riguarda le piante vascolari in questo studio non sono state rilevate specie particolarmente esigenti, rare o associate solo a faggete vetuste. Bisogna sottolineare, tuttavia, l'elevata continuità e connettività delle faggete nel Parco, non sono soggette ad interventi estremi, come taglio raso. Questa continuità delle coperture e connettività spaziale degli habitat di faggeta di certo permette una buona dispersione delle piante vascolari ed una loro distribuzione abbastanza bilanciata nello spazio. Vi sono, tuttavia, eccezioni puntiformi o locali con presenze di particolare interesse localizzate in certi siti (Bottacci & Ciampelli, 2018), che però non sono state probabilmente rilevate in questo studio pilota, a causa della limitata numerosità campionaria.



Fig. 3.5-1 – A destra, faggeta soggetta ad un recente intervento di diradamento: le chiome diradate lasciano filtrare più luce nel sottobosco e questo favorisce lo sviluppo di specie erbacee tipiche di radure, come *Senecio ovatus* (P. Gaertn., B. Mey & Scherb.) Willd. A sinistra, esempio di *gap* forestale, buca formatasi per processi spontanei di crollo di piante in bosco, con liberazione di spazio e aumento dell'intensità luminosa che raggiunge il suolo. La formazione di *gap* è un processo di dinamica spontanea alla base della rinnovazione naturale dei boschi di faggio: in questi siti in cui è ridotta la competizione per le risorse e la luce germinano e crescono le nuove piantule arboree.

Per quanto riguarda i licheni epifiti, sono state rilevate alcune specie di particolare interesse prevalentemente, o esclusivamente, nel plot di Sasso Fratino che presenta il più elevato volume di legno morto campionato in questo studio (**Fig. 3.5-2**). Si evidenziano in particolare: *Buellia disciformis*, prima conferma di presenza per la regione Emilia Romagna dopo segnalazioni solo di fonte storica e il cui habitat

è particolarmente legato alla corteccia liscia di faggete aperte di zona montana, *Lobaria pulmonaria*, *Nephroma parile* e *Nephroma levigatum*, rapportabili alla comunità lichenica del *Lobarion* e strettamente legate ad ambienti umidi privi di inquinamento atmosferico e a boschi vetusti e poco disturbati. La presenza di queste entità sottolinea l'importanza conservazionistica delle faggete vetuste (Chiarucci & Piovesan, 2018), di cui la Riserva Integrale di Sasso Fratino è certamente un esempio di rilievo nel panorama italiano ed europeo.



Fig. 3.5-2 – Esempi di *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. rilevati in una fustaia in conversione (a sinistra) e nella Riserva Integrale di Sasso Fratino (a destra). Il plot più ricco di legno morto, in Sasso Fratino, si è dimostrato anche il più interessante e diversificato dal punto di vista delle specie di licheni presenti.

4. CONCLUSIONI

4.1. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI OTTENUTI

I risultati del lavoro hanno consentito di effettuare una prima stima del volume di legno morto nelle faggete del PNFC, che è risultata pari in media a 37,48 m³/ha, con una elevata variabilità tra siti. Questa stima è risultata confrontabile, anche se maggiore di oltre il 50%, rispetto a quella ottenuta per nel PNATE (media = 23,34 m³/ha), altra area protetta appenninica per la quale i dati relativi al legno morto sono stati campionati con il medesimo protocollo standardizzato nel 2017.

Di particolare nota è il massimo volume di legno morto misurato, pari a 193,20 m³/ha, riscontrato in uno dei due plot campionati nella RI di Sasso Fratino. Tale valore, che risulta essere molto superiore rispetto al valore massimo stimato per il PNATE, pari a 49 m³/ha in una particella la cui età stimata è di circa 250 anni, è in linea con i valori medi di legno morto stimati in faggete vetuste in Europa (Christensen et al., 2005; Piovesan et al., 2005).

Il volume di necromassa medio rilevato nelle faggete PNFC, anche escludendo il plot in Sasso Fratino con il valore molto elevato sopra evidenziato, può essere considerato rilevante per la conservazione della biodiversità forestale dipendente dal legno morto (Müller & Bütler 2010). Tuttavia, bisogna sottolineare che la sola stima in volume non è sufficiente a valutare l'effettiva qualità del legno morto presente. Con qualità si intende qui il ruolo funzionale rivestito dalla necromassa, che dipende in grande misura dalla tipologia degli elementi di legno morto effettivamente presenti e dal loro grado di decomposizione. Non tutte le tipologie di legno morto contribuiscono, infatti, in uguale misura ai processi ecosistemici che sottendono al mantenimento della biodiversità.

Di grande importanza sono certamente gli elementi legnosi di grandi dimensioni e di diametro elevato, con una conseguente velocità di decomposizione molto inferiore agli elementi di piccole dimensioni; di conseguenza, questi permangono nell'ambiente per tempi anche molto lunghi. A titolo di esempio, una volta morto e caduto un tronco di faggio di circa 50 cm di diametro può rimanere in foresta per un periodo di 40-60 anni (o anche più a lungo) a seconda delle condizioni microclimatiche e macroclimatiche (Přivětivý et al., 2016); tronchi di diametro superiore possono permanere per periodi più lunghi. Quando l'albero muore in piedi la sua persistenza nel bosco può essere ancora più lunga e superare gli 80 anni (Přivětivý et al., 2016). Infatti, la decomposizione dei tronchi è più veloce quando essi sono a contatto con il suolo, in particolare se l'umidità ambientale e del suolo sono elevate. Poiché, se un albero muore in piedi, può passare un certo tempo prima che qualche evento atmosferico (ad esempio vento o neve) lo abbattano, la velocità di decomposizione è ridotta e il tempo di permanenza del tronco in foresta può essere molto più lungo. Inoltre, rispetto ai tronchi caduti al terreno, le piante morte in piedi o le parti marcescenti di quelle ancora viventi hanno una maggiore esposizione all'irradiazione solare anche in inverno e si decompongono più lentamente probabilmente grazie alla presenza delle radici (www.forestbeat.it). Ciò rende queste piante insostituibili per specie di insetti saproxilici, ma anche per licheni e muschi epifiti, oltre che per molti altri gruppi di organismi.

Alberi vetusti, senescenti o morti in piedi di grandi dimensioni ed elevata eterogeneità strutturale sono definiti *habitat trees* proprio perché rappresentano la nicchia ecologica per una grande varietà di organismi (Fritz & Heilmann-Clausen, 2010; Kraus & Krumm, 2013).

Inoltre, studi pregressi indicano che la biodiversità tipica del legno morto è presente soprattutto in quei boschi in cui un grande volume di legno morto è in avanzato stato di decadimento (e.g., Høiland & Bendixen, 1997).

A seguito di queste considerazioni, ed in linea con quanto è emerso per il PNATE, il volume di legno morto utile per la biodiversità e con tempi elevati di permanenza in bosco risulta effettivamente molto più basso all'interno del parco: la grande prevalenza degli elementi inventariati è, infatti, di piccole dimensioni diametriche e appartiene ad un medio grado di decomposizione. Sarebbe, quindi, auspicabile che il parco

promuovesse politiche atte ad incrementare la quantità di legno morto entro gli ecosistemi forestali.

Il volume di legno morto, anche e soprattutto di grandi dimensioni e che persistono in bosco da più lungo tempo (classi di decomposizione 4 e 5) sono risultati nettamente maggiori nei boschi che non hanno subito interventi di taglio negli ultimi 60 anni. In questa categoria rientrano, nel caso del presente studio, due riserve integrali (La Pietra e Sasso Fratino) e un ceduo invecchiato. Questi risultati evidenziano il ruolo chiave delle foreste vetuste per la conservazione della biodiversità e della funzionalità degli ecosistemi forestali (Chiarucci & Piovesan, 2018).

4.2. INDICAZIONI GESTIONALI E LINEE DI RICERCA SUGGERITE

Lo studio condotto rappresenta il contributo per il territorio del PNFC ad una prima stima del legno morto condivisa tra sei Parchi Nazionali appenninici.

Questo lavoro ha permesso di:

- Raccogliere importanti dati quantitativi per valutare lo stato di conservazione dei boschi e che possono essere confrontati con quelli raccolti con i medesimi protocolli standard di rilevamento anche nelle altre aree protette;
- Stabilire aree di campionamento permanenti, che possono rappresentare siti per futuri monitoraggi delle dinamiche forestali nelle faggete del parco.

Va certamente sottolineato come questo non debba essere considerato come un lavoro conclusivo, bensì come uno studio pilota iniziale, visto anche il limitato numero di siti campionati. Per questo si possono trarre dai risultati presentati indizi di tendenze, ma non conclusioni generali, per le quali sarebbe necessario un approfondimento.

In termini progettuali, si presentano di seguito alcune proposte operative per il futuro.

- Andrebbero previste linee gestionali che mirino ad incrementare la presenza di elementi di legno morto di grandi dimensioni (come il mantenimento di alberi di grandi dimensioni senescenti o già morti in piedi o a terra) nelle varie macroaree del parco. Questi elementi, fondamentali per sostenere la ricca biodiversità che dipende dal legno morto, risultano ancora carenti ad eccezione del nucleo storico del parco (la RI Sasso Fratino).
- Sarebbe, inoltre, auspicabile incrementare la numerosità dei siti campionati, per migliorare la rappresentatività dei dati, progettando un network di punti capillare che potrebbe costituire una base di monitoraggio futuro. A questo scopo, per un'efficace conservazione della biodiversità, andrebbe considerato il legno morto, così come gli altri indicatori di qualità dei sistemi forestali, non solo a livello di particella forestale o di singola area protetta, quindi in un limitato ambito spaziale: è molto importante considerare la connettività degli habitat (in questo caso anche dei microhabitat costituiti dagli elementi di legno morto) a scala spaziale più ampia, a livello, ad esempio, di arco appenninico. Per questo è certamente

auspicabile il proseguimento di progetti condivisi tra vari parchi, come quello in cui rientra questo studio. Questi progetti di ampia scala spaziale rappresentano una base importante per fornire indicazioni pratiche e gestionali mirate ad una conservazione sempre più efficace della biodiversità forestale. Proprio a questo obiettivo mira un progetto *Life* in attesa di prossima approvazione (“Gestione coordinata della rete natura 2000 CUFA”). Il progetto, con durata prevista di 5 anni dal 2020 al 2025, mira a stabilire un network di monitoraggio a scala nazionale di tutti i siti Natura2000 inclusi nelle 130 Riserve Naturali Statali gestite dai Reparti Carabinieri per la Biodiversità. È coordinato dal CUFA, con numerosi partner scientifici, tra cui il Dipartimento BiGeA dell’Università di Bologna, che partecipa con il gruppo di ricerca coordinato dal prof. Chiarucci come principale proponente.

Infine, un punto importante che spesso risulta essere marginale nei report tecnici, ma che non va dimenticato quando si tratta di conservazione della natura, riguarda la divulgazione: la conservazione della biodiversità è, infatti, certamente più efficace se viene compresa e condivisa tanto da divenire prassi tradizionale. Il legno morto è un emblematico esempio di quanto affermato: tradizionalmente è stato rimosso dal bosco, non solo per questioni economiche, energetiche o produttive, ma anche perché considerato elemento di disordine, inutile, di disturbo rispetto all’armonia di un bosco “pulito”. Questa visione è connessa a secoli di gestione della quasi totalità dei boschi italiani ed europei, una visione trasmessa, un’abitudine, che è diventata prassi. Di fondamentale importanza è, invece, oggi affermare un’altra prassi, quella di iniziare a percepire le foreste come sistemi dinamici con molteplici reti di interrelazioni, in grado di rigenerarsi e di autoorganizzarsi, di funzionare grazie alla complessità che li caratterizza. Il legno morto è elemento essenziale di questa complessità, la sua rimozione costituisce un grande impoverimento per tutti gli organismi che dipendono dalle foreste, uomo incluso. Perché questa visione diventi prassi e tradizione è necessario puntare non solo su vincoli e linee gestionali, quanto anche, e in grande misura, su efficaci azioni di divulgazione e condivisione.

BIBLIOGRAFIA

- ABREGO, N.**, Christensen, M., Bässler, C., Ainsworth, A.M., & Heilmann-Clausen, J. 2017. Understanding the distribution of wood-inhabiting fungi in European beech reserves from species-specific habitat models. *Fungal Ecology* 27: 168–174.
- BÄSSLER, C.**, Gossner, M.M., Seibold, S., Brandl, R., Thorn, S., Ulyshen, M.D., & Müller, J. 2015. Experimental studies of dead-wood biodiversity — A review identifying global gaps in knowledge global gaps in knowledge. *Biological Conservation* 191: 139–149. DOI: 10.1016/j.biocon.2015.06.006
- BOCH, S.**, Prati, D., Müller, J., Socher, S., Baumbach, H., Buscot, F., Gockel, S., Hemp, A., Hessenmöller, D., Kalko, E.K.V., Linsenmair, K.E., Pfeiffer, S., Pommer, U., Schöning, I., Schulze, E.D., Seilwinder, C., Weisser, W.W., Wells, K., Fischer, M., 2013. High plant species richness indicates management-related disturbances rather than the conservation status of forests. *Basic and Applied Ecology* 14, 496–505. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.06.001>
- BOTTACCI, A.**, Ciampelli, P. (a cura di). *La Riserva Naturale Integrale di Sasso Fratino*. RCCB Pratovecchio. AGC Ed., 2018.
- BRAGG, D.C.**, Kershner, J.L., 1999. Coarse Woody Debris in Riparian Zones. *Journal of Forestry* 97: 30-35.
- CAREY, M.L.**, 1980. Whole tree harvesting in Sitka spruce. Possible implications. *Irish forestry* 37: 48-63.
- CASTELLANI, C.**, Scrinzi, G., Tabacchi, G., Tosi, V., 1984. *Inventario Forestale Nazionale Italiano (I.F.N.I.) – Tavole di cubatura a doppia entrata*. M.A.F. Direzione Generale per l’Economia Montana e le Foreste, Istituto Sperimentale per l’Assesamento forestale e l’Alpicolura, Trento.
- CHIARUCCI, A.**, & Piovesan, G. (2018). Sustainable forest management can not disregard the current knowledge on ecology and conservation. *Forest@ - Rivista di Selvicoltura ed Ecologia Forestale*, 15, 51–55. DOI: 10.3832/efor2782-015
- CHRISTENSEN, M.**, Hahn, K., Mountford, E.P., Ódor, P., Standovár, T., Rozenbergar, D., Diaci, J., Wijdeven, S., Meyer, P., Winter, S., & Vrska, T. 2005. Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. *Forest Ecology and Management* 210: 267–282.
- DAVIES, Z.G.**, Tyler, C., Stewart, G.B., Pullin, A.S., 2008. Are current management recommendations for conserving saproxylic invertebrates effective? *Biodiversity Conservation* 17:209–234.
- DICKSON, J.G.**, Conner, R.N., Williamson, J.H., 1983. Snag retention increases bird use of a clear-cut. *The Journal of Wildlife Management* 47:799–804.
- ELLIS, C.J.**, 2012. Lichen epiphyte diversity: A species, community and trait-based review. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 14, 131–152. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2011.10.001>
- FRITZ, Ö.**, & Brunet, J., 2010. Epiphytic bryophytes and lichens in Swedish beech forests – effects of forest history and habitat quality. *Ecological Bulletins* 53: 95–107.
- FRITZ, Ö.**, & Heilmann-Clausen, J., 2010. Rot holes create key microhabitats for epiphytic lichens and bryophytes on beech (*Fagus sylvatica*). *Biological Conservation* 143: 1008–1016.
- GAO, T.**, Nielsen, A. B., Hedblom, M., 2015. Reviewing the strength of evidence of biodiversity indicators for forest ecosystems in Europe. *Ecological Indicators* 57:420–434.
- GREEN, P.**, Peterken, G.F., 1997. Variation in the amount of deadwood in the woodlands of the Lower Wye Valley, UK in relation to the intensity of management. *Forest Ecology and Management* 98:229–238.
- GROVE, S.**, 2002. Tree basal area and dead wood as surrogate indicators of saproxylic insect faunal integrity: a case study from the Australian lowland tropics. *Ecological Indicators* 1:171–188.
- HARMON, M.E.**, Franklin, J.F., Swanson, F.J., Sollins, P., Gregory, S.V., Lattin, J.D., Anderson, N.H., Cline, S.P., Aumen, N.G., Sedell, J.R., Lienkaemper, G.W., Cromack, K., Cummins, K.W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15, 133–276.
- HEILMANN-CLAUSEN, J.**, Aude, E., van Dort, K., Christensen, M., Piltaver, A., Veerkamp, M., Walleyn, R., Siller, I., Standovár, T., & Ódor, P., 2014. Communities of wood-inhabiting bryophytes and fungi on dead beech logs in Europe - reflecting substrate quality or shaped by climate and forest conditions? *Journal of Biogeography* 41: 2269–2282.
- HØILAND, K.**, Bendiksen, E., 1997. Biodiversity of wood-inhabiting fungi in a boreal coniferous forest in Sor-Trondelag County, Central Norway. *Nordic Journal of Botany* 16:643–59.
- HOFGAARD, A.**, 2000. Structure and regeneration pattern in a virgin *Picea abies* forest in northern Sweden. *Journal of Vegetation Science* 4, 601– 608.

- HOLUB, S.M., Spears, J.D.H., Lajtha K., 2001.** A reanalysis of nutrient dynamics in coniferous coarse woody debris. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol.31, 1894–1902.
- HUNTER, M.L., 1990.** *Wildlife, forests and forestry: principles of managing forests for biological diversity*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- INFC, 2009.** I caratteri quantitativi 2005 - Parte 1. In: Gasparini, P., De Natale, F., Di Cosmo, L., Gagliano, C., Salvadori, G., Tabacchi, G., Tosi, V. (eds). *Inventario nazionale delle foreste e dei serbatoi forestali di carbonio*, MiPAAF - Ispettorato Generale Corpo Forestale dello Stato, CRA-MPF, Trento, Italy.
- JONATHAN, H., Sallie, B., 2012.** *Managing deadwood in forests and woodlands*, Forestry C. ed. Edinburgh.
- KEENAN, R.J., Prescott, C.E., Kimmins, J.P., 1993.** Mass and nutrient content of woody debris and forest floor in western redcedar and western hemlock forests on northern Vancouver Island. *Canadian Journal of Forest Research* 23, 1052–1059.
- KIRBY, K.J., Reid, C.M., Thomas, R.C., Goldsmith, F.B., 1998.** Preliminary estimates of fallen deadwood and standing dead trees in managed and unmanaged forests in Britain. *Journal of Applied Ecology* 35:148–55.
- KRAUS D., Krumm F. (eds), 2013.** *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. European Forest Institute. 284 pp.
- LELLI, C., Bruun, H.H., Chiarucci, A., Donati, D., Frascaroli, F., Fritz, Ö., Goldberg, I., Nascimbene, J., Tøttrup, A.P., Rahbek, C., & Heilmann-Clausen, J. 2019.** Biodiversity response to forest structure and management: Comparing species richness, conservation relevant species and functional diversity as metrics in forest conservation. *Forest Ecology and Management* 432: 707–717.
- MASER, C, Trappe, J.M., 1984.** The seen and unseen world of the fallen tree. Gen. Tech. RePNW-164. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station, Portland, OR, U.S.
- MCPFE, 2003.** Improved Pan-European Indicators for Sustainable Forest Management as adopted by the MCPFE Expert Level Meeting 7–8 October 2002. Vienna, Austria, p. 6.
- MÜLLER, J., Bütler, R., 2010.** A review of habitat thresholds for dead wood: A baseline for management recommendations in European forests. *European Journal of Forest Research*, 129, 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>
- NASCIMBENE, J., Marini, L., & Nimis, P.L. 2007.** Influence of forest management on epiphytic lichens in a temperate beech forest of northern Italy. *Forest Ecology and Management* 247: 43–47.
- NASCIMBENE, J., Marini, L., Caniglia, G., Cester, D., & Nimis, P.L. 2008.** Lichen diversity on stumps in relation to wood decay in subalpine forests of Northern Italy. *Biodiversity and Conservation* 17: 2661–2670.
- NOCENTINI, S. (2002).** Gli alberi morti in foresta: un principio biologico per la gestione forestale sostenibile. In: *Dagli alberi morti...la vita delle foreste – La conservazione della biodiversità forestale legata al legno morto*. Atti del Parco delle Foreste Casentinesi. Corniolo 10 Maggio 2002.
- ÓDOR, P., Heilmann-Clausen, J., Christensen, M., Aude, E., van Dort, K.W., Piltaver, A., Siller, I., Veerkamp, M.T., Walley, R., Standovár, T., van Hees, A.F.M., Kosec, J., Matočec, N., Kraigher, H., & Grebenc, T. 2006.** Diversity of dead wood inhabiting fungi and bryophytes in semi-natural beech forests in Europe. *Biological Conservation* 131: 58–71.
- PÄRTEL, M., Carmona, C.P., Zobel, M., Moora, M., Riibak, K. & Tamme, R. (2019).** DarkDivNet – a global research collaboration to explore the dark diversity of plant communities. *Journal of Vegetation Science* 30: 1039-1043. doi:10.1111/jvs.12798
- PETRAGLIA, A., Carbognani, M., Zanzucchi, S., Tomaselli, M., 2017.** Stima della necromassa vegetale in boschi di faggio con differenti caratteristiche ecologiche e storia gestionale. Relazione finale di progetto. PNATE e Università degli studi di Parma.
- PIOVESAN, G., Di Filippo, A., Alessandrini, A., Biondi, F., Schirone, B., 2005.** Structure, dynamics and dendroecology of an old-growth *Fagus* forest in the Apennines. *Journal of Vegetation Science* 16:13–28.
- PNFC, 2003.** *Dagli alberi morti...la vita della foresta: La conservazione della biodiversità forestale legata al legno morto*. Atti del Convegno a cura di Ornella De Curtis (Corniolo - Santa Sofia - FC, 10 maggio 2002).
- PŘÍVĚTIVÝ, T., Janík, D., Unar, P., Adam, D., Král, K., Vrška, T., 2016.** How do environmental conditions affect the deadwood decomposition of European beech (*Fagus sylvatica* L.)?. *Forest Ecology and Management* 381: 177–187.
- R CORE TEAM (2017).** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- ROBERTS, M. R., 2004.** Response of the herbaceous layer to natural disturbance in North American forests. *Canadian Journal of Botany*, 82, 1273–1283. <https://doi.org/10.1139/b04-091>
- TAKAHASHI, M., Sakai, Y., Ootomo, R., Shiozaki, M., 2000.** Establishment of tree seedlings and water-soluble nutrients in coarse woody debris in an old-growth *Picea–Abies* forest in Hokkaido, northern Japan. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 1148–1155.

- TRAVAGLINI, D.,** Barbati, A., Chirici, G., Lombardi, F., Marchetti, M., Corona, P., 2007. ForestBIOTA data on deadwood monitoring in Europe. *Plant Biosystems* 141:222–230. <https://doi.org/10.1080/11263500701401778>
- TYRRELL, I.E.,** Crowe, T.R., 1994. Dynamics of dead wood in old-growth hemlock-hardwood forests of northern Wisconsin and northern Michigan. *Canadian Journal of Forest Research* 24, 1672-1683, <https://doi.org/10.1139/x94-216>.
- UJHÁZY, K.,** Ujházyová, M., Bučinová, K., Čiliak, M., Glejdura, S., & Mihál, I. 2018. Response of fungal and plant communities to management-induced overstorey changes in montane forests of the Western Carpathians. *European Journal of Forest Research* 137: 169–183.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano:

- L’Ente Parco delle Foreste Casentinesi, Monte Falterona e Campigna per il supporto e le informazioni fornite per la realizzazione di questo studio.
- L’Unità Tecnica di Gestione del Demanio regionale dell’Emilia Romagna, L’Unione dei Comuni del Casentino e il Reparto Carabinieri Biodiversità di Pratovecchio per la fornitura dei Piani di Assestamento forestali.
- Il Raggruppamento Carabinieri Biodiversità – Reparto Biodiversità di Pratovecchio per le informazioni fornite in merito alle particelle forestali incluse nelle Riserve Naturali Biogenetiche Casentinesi e nella Riserva Integrale di Sasso Fratino ed anche per aver permesso di effettuare rilievi nella Riserva Integrale.
- Il CTA-CC del PNFC per il supporto logistico.
- Gli studenti dell’Università di Bologna (Eva Turicchia, Beatrice Tondini, Giulio Chiapponi) che hanno partecipato al progetto, fornendo un importante contributo in fase di rilevamento in campo e di digitalizzazione dei dati.
- I volontari del progetto Life ESC per aver partecipato ad alcune giornate di campionamento.
- I lichenologi dell’Università di Firenze (il Prof. Renato Benesperi, la Dott.ssa Elisabetta Bianchi e il Dott. Luca di Nuzzo) per il loro fondamentale supporto per il campionamento e l’identificazione degli organismi epifiti.

ALLEGATI

Allegato 1: Dati di necromassa campionati, calcolo del volume per tipologia e schede utilizzate in campo.

Allegato 2: Dati GIS in formato vettoriale (punti di campionamento e particelle forestali).

Allegato 3: Matrice contenente le specie e le relative coperture di piante vascolari campionate per plot.

Allegato 4: Matrice contenente le specie di licheni epifiti campionati per plot.