



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo Agricolo  
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

## AVVISI PUBBLICI REGIONALI DI ATTUAZIONE PER L'ANNO 2015 DEL TIPO DI OPERAZIONE 16.1.01 "GRUPPI OPERATIVI DEL PEI PER LA PRODUTTIVITÀ E LA SOSTENIBILITÀ DELL'AGRICOLTURA"

FOCUS AREA 2A, 4B, 4C, 5A E 5E DGR N. 2268 DEL 28 DICEMBRE 2015

### RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO **5111641** DOMANDA DI PAGAMENTO **5705619**

FOCUS AREA: 5E

TITOLO DEL PIANO: Incremento del Sequestro del Carbonio nelle foreste dell'Appennino Emiliano

RAGIONE SOCIALE DEL SOGGETTO PROPONENTE (soggetto mandatario): UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PARMA

ELENCO PARTNER DEL GRUPPO OPERATIVO:

Soggetto	SEDE	TEL PEC
CONSORZIO FRA LE COOPERATIVE AGRO-SILVO-PASTORALI DELL'APPENNINO PARMENSE COMUNITA' MONTANA PARMA EST SOCIETA' COOPERATIVA A R.L. O IN FORMA ABBREVIATA "C.O.F.A.P. S.C.R.L."	LANGHIRANO (PR) VICOLO DEL QUARTIERE, 9 - 43013	0521 852780 virginioghirardini@libero.it FORESTALECOFAP@PARMAPEC.COM
COOPERATIVA MONTE NAVERT PER LO SVILUPPO AGRO-SILVO-PASTORALE SOCIETA' COOPERATIVA A RESPONSABILITA' LIMITATA	MONCHIO DELLE CORTI (PR) C/O MUNICIPIO - 43010	FORESTALEMONTENAVERT@PARMAP EC.COM
COOPERATIVA VAL PARMA PER LO SVILUPPO AGRO-SILVO-PASTORALE SOCIETA' COOPERATIVA A RESPONSABILITA' LIMITATA	CORNIGLIO (PR) c/o Municipio Largo Castello, 1 - CAP 43021	FORESTALEVALPARMA@PARMAPEC.C OM
COOPERATIVA DI LAVORO E SERVIZI PER LO SVILUPPO AGRO-SILVO-PASTORALE ALPINA - SOCIETA' COOPERATIVA ENUNCIABILE ANCHE COOPERATIVA ALPINA	MONCHIO DELLE CORTI (PR) VIA LAGO BALLANO, 9 - 43010 - Frazione TREFIUMI	0521 899336 ALPINA@CGN.LEGALMAIL.IT
CONSORZIO VOLONTARIO FORESTALE VAL CEDRA	Corniglio, PIAZZA CADUTI DI TUTTE LE GUERRE, 1 - 4310 Loc Bosco di Corniglio	consorziovalcedra@pec.net

CONSORZIO DI MIGLIORAMENTO ALTA VAL PARMA	Bosco di Corniglio - Corniglio (PR)	consorziovalparma@pec.it
PARCO NAZIONALE DELL'APPENNINO TOSCO-EMILIANO	sede legale in Via Comunale n. 23 – 54013 loc. Sassalbo, Fivizzano (MS) e sede operativa in via Enzo Bagnoli, 30 - 42039 Ligonchio (RE)	0585.947200 info@parcoappennino.it parcoappennino@legalmail.it
CONSORZIO MONTANO	St.Cento Laghi 2 – MONCHIO DELLE CORTI (PR)	consorzio montano@parmapec.com
DINAMICA	Bologna, VIA BIGARI 3 - 40128	DINAMICA@PEC.DINAMICA-FP.IT

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	30
Data inizio attività	26/6/2020
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	25/12/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	26/6/2020	al 25/12/2023
Data rilascio relazione	20/01/2024	

Autore della relazione	Alessandro Petraglia		
telefono		Email	alessandro.petraglia@unipr.it

## 1 Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

L'obiettivo principale del progetto INSCAPE è di mettere in atto la **strategia del sequestro del carbonio** negli ecosistemi forestali dell'Appennino Emiliano incrementando gli stock di carbonio nel comparto epigeo, nel legno morto e nel suolo. Gli interventi effettuati sono integrati nelle normali attività di esbosco e sono stati sviluppati in accordo con i partner perché possano essere integrate nelle normali attività di gestione forestale.

Il piano è stato avviato con celerità e i lavori sono iniziati pochi giorni dopo la prima riunione tra tutti i partner che si è svolta l'1 ottobre 2020. Tra novembre 2020 e giugno 2021 tutti i lavori di diradamento (preparazione dei siti per le prove in bosco), cercinatura, preparazione delle cataste e tutti gli altri descritti nelle azioni specifiche del piano sono stati completati come previsto dal piano stesso e come pianificato nelle riunioni tecniche tra i partner. La misurazione della crescita delle piante e lo studio del tasso di decomposizione nelle diverse azioni è stato effettuato con successo e secondo il programma previsto. Le attività di laboratorio sono state svolte secondo il programma. Le attività di divulgazione e di esercizio della cooperazione di sono svolte come previsto e, in alcuni casi, con maggiore intensità. Le attività di divulgazione, in particolare, hanno coinvolto numerosi studenti universitari che hanno preso parte alle attività di campo.

La diffusione del Virus COVID-19 e le misure di contenimento adottate dal governo nel periodo di realizzazione del progetto hanno rallentato e, in alcuni casi, ostacolato, l'esecuzione delle attività sperimentali e di divulgazione previste. Per questa ragione, e anche con l'obiettivo di raccogliere un maggior numero di dati a servizio del piano stesso, il 23/8/2022 è stata richiesta una proroga di 12 mesi che è stata concessa (Atto del Dirigente Num. 23595 del 30/11/2022). Pertanto la scadenza del piano è stata prorogata al 25/12/2023. Grazie a questa proroga è stato possibile completare tutte le attività previste. Il piano è stato

svolto raggiungendo tutti gli obiettivi come previsto, salvo piccolissime variazioni che hanno mantenute immutate la finalità del piano stesso ed hanno consentito di incrementare la qualità dei risultati.

## 1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività reale	Mese termine attività previsto	Mese termine attività reale
Azione 1	Università di Parma	Attivazione e animazione del GO	2	2	30	42
Azione 3.1	Università di Parma	Incremento della crescita secondaria negli stand forestali	4	4	30	36
Azione 3.2	Università di Parma	Incremento del legno morto e riduzione dei tassi di decomposizione del legno morto e della MO nel suolo.	4	4	30	30
Azione 3.3	Università di Parma	Realizzazione di cataste di legna con diverse tecniche per ridurre i tassi di decomposizione.	4	5	30	41
Azione 3.4	Università di Parma	Realizzazione di pellet con legno di faggio e castagno per rallentare la decomposizione del faggio	4	12	30	41
Azione 3.5	Università di Parma	Utilizzo del biochar per incrementare il sequestro di C nei sistemi forestali. Effetti del biochar sulla germinazione e la sopravvivenza di faggio e cerro.	4	11	30	30
Azione 4	Università di Parma	Sito internet, pagina Facebook, video dimostrativi e divulgativi, eventi e congressi	4	5	30	42

## 2 Descrizione per singola azione

### 2.1 AZIONE 1

Azione	Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> – Coordinamento delle attività costituenti l'esercizio della cooperazione <b>UO2, UO6, UO7, UO8 e UO9</b> – Partecipazione alla realizzazione delle attività relative all'esercizio della cooperazione

#### 2.1.1 Descrizione dell'attività e risultati

Il responsabile scientifico del piano, Prof. Alessandro Petraglia, coadiuvato dal team di UNIPR (UO1) e dal personale COFAP (UO2), ha svolto il ruolo di coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO.

Di seguito sono riportate le principali azioni realizzate nell'ambito dell'esercizio della cooperazione fino a questo punto del piano.

**Costituzione formale del raggruppamento (ATS):** la prima attività svolta nell'ambito di questa azione e di tutto il piano è stata la costituzione formale del raggruppamento (ATS), effettuata presso lo Studio Notarile De Torres. Il documento, redatto dal notaio e firmato dai rappresentanti legali (o delegati) delle aziende e degli enti partner di progetto, è stato depositato il 3 agosto 2020.

**Riunioni del GO:** all'inizio di settembre sono intercorsi i primi contatti di tipo organizzativo per l'avvio dei lavori ed è stata organizzata la **prima riunione del GO** che si è tenuta in data 1 ottobre 2020 presso la Sala Consiliare del Comune di Langhirano (PR). La riunione è stata molto proficua e numerosi sono stati i punti discussi tra i partner del progetto (il verbale della riunione è allegato). Durante la riunione il Responsabile Scientifico ha presentato tutte le azioni del progetto e ha illustrato i ruoli di ciascun partner (la presentazione è allegata). Le singole azioni sono state discusse e programmate. Durante la riunione è stata attivata una chat utilizzando l'applicazione per smartphone WhatsApp (Fig. 2.1-1). Questa chat comprende tutti i membri del gruppo operativo ed è stata utilizzata per informare i partner di tutte le attività in corso e di tutti i risultati raggiunti.

Durante la riunione è stata formalizzata la costituzione del Comitato di Piano per la gestione e il funzionamento del GO che risulta costituito come riportato nella Tabella 2.1-1.

Durante il 2020 e il 2021 non sono state svolte altre riunioni organizzative in cui è stata ritenuta necessaria la presenza di tutti i membri del GO.

Tuttavia, prima dell'inizio dei diradamenti e durante le operazioni in bosco, sono state effettuate riunioni operative in campo tra il Responsabile Scientifico e i partner di progetto impegnati nei lavori. Queste sono avvenute in dicembre 2020 e in maggio 2021 (Fig. 2.1-2). Durante queste riunioni sono state discusse le modalità di intervento e le strategie per ottimizzare le operazioni in bosco.

UNITA' OPERATIVA		PARTECIPAZIONE AL COMITATO DI PIANO	RUOLO OPERATIVO
Università di Parma (UNIPR)	U01		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Responsabile scientifico</li> <li>- Leader dell'esercizio della cooperazione</li> <li>- Esecuzione e supervisione (per le operazioni svolte da altri) del regolare svolgimento delle attività previste nelle Azioni 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5</li> <li>- Analisi ed elaborazione dati</li> <li>- Coordinamento e realizzazione delle attività di divulgazione in collaborazione con gli altri partner</li> </ul>
C.O.F.A.P.	U02	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partecipazione organizzativa all'azione 1</li> <li>- Partecipazione organizzativa all'azione 4</li> </ul>
COOPERATIVA MONTE NAVERT	U03	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esecuzione delle prove previste nelle Azioni 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5</li> </ul>
COOPERATIVA VAL PARMA	U04	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esecuzione delle prove previste nelle Azioni 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5</li> </ul>
COOPERATIVA ALPINA	U05	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Esecuzione delle prove previste nelle Azioni 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5</li> </ul>
CONSORZIO FORESTALE VAL CEDRA	U06	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partecipazione all'azione 1</li> <li>- Partecipazione alle Azioni 3.1 e 3.2</li> <li>- Partecipazione all'azione 4</li> </ul>
CONSORZIO FORESTALE VAL PARMA	U07	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partecipazione all'azione 1</li> <li>- Partecipazione all'azione 4</li> </ul>
PARCO NAZIONALE DELL'APPENNINO TOSCO-EMILIANO	U08	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partecipazione organizzativa all'azione 1</li> <li>- Partecipazione alle Azioni 3.1 e 3.2</li> <li>- Partecipazione organizzativa all'azione 4</li> </ul>
CONSORZIO MONTANO	U09	SI –	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Partecipazione all'azione 1</li> <li>- Partecipazione all'azione 4</li> </ul>
DINAMICA	U010	NO	Eroga la formazione legata al piano

**TABELLA 2.1-1. UNITÀ OPERATIVE, EVENTUALE PARTECIPAZIONE AL COMITATO DI PIANO E RUOLO OPERATIVO ASSEGNATO.**

Nel 2020 e nel 2021 il responsabile scientifico ha monitorato tutte le operazioni effettuate in campo. Questo è avvenuto in accordo con il direttore dei lavori, nominato appositamente per occuparsi degli aspetti tecnici e della sicurezza dei cantieri.

Questo tipo di presenza ha garantito un controllo costante della qualità dei lavori.



**FIGURA 2.1-2. RIUNIONI IN BOSCO IN CUI SONO STATI DEFINITI I DETTAGLI DELLE OPERAZIONI. SONO PRESENTI I PARTNER DI PROGETTO RESPONSABILI DELLE OPERAZIONI IN BOSCO, IL RESPONSABILE SCIENTIFICO E IL DIRETTORE DEI LAVORI.**

La **seconda riunione del GO** si è tenuta in data 6 aprile 2022 presso la Sala Consiliare del Comune di Langhirano (PR) (il programma è allegato). La riunione si è tenuta in concomitanza con il meeting scientifico-divulgativo di presentazione dei risultati intermedi del piano (Fig. 2.1-3).



**FIGURA 2.1-3. SALA CONSILIARE DEL COMUNE DI LANGHIRANO (PR) GREMITA DI PUBBLICO DURANTE LE PRESENTAZIONI TECNICO-SCIENTIFICHE DEI RICERCATORI E DEI TECNICI COINVOLTI NEL PIANO.**

Durante la riunione i ricercatori e i tecnici coinvolti nel progetto hanno presentato lo stato di avanzamento dei lavori e i primi risultati del piano. In particolare, il Responsabile Scientifico, ha presentato lo stato di avanzamento dei lavori evidenziando il completamento di tutte le azioni di taglio, cercinatura e realizzazione delle cataste sottolineando la professionalità e la collaborazione dei partner di progetto nella realizzazione degli interventi.

In questo contesto anche i partner del GO hanno avuto occasione di incontrarsi per delineare una bozza di protocollo per il mantenimento in vita del GO almeno fino al quinto anno oltre la chiusura delle attività del Piano. La discussione ha portato alla conclusione che le attività di monitoraggio per valutare gli effetti delle attività messe in atto saranno svolte dal gruppo di ricerca di Unipr. Durante la discussione effettuata in questa seconda riunione del GO è emersa la disponibilità dei partner a supportare, ove necessario, le attività (misure, sopralluoghi, manutenzione) sulla base delle indicazioni del Responsabile Scientifico del gruppo di ricerca di Unipr.

La **terza riunione del GO** si è svolta il 14 dicembre 2023 presso il Centro S. Elisabetta, nel cuore del Campus dell'Università degli Studi di Parma (Fig. 2.1-4).



**FIGURA 2.1-4. IMMAGINI DELLA SALA DEL CENTRO S. ELISABETTA DURANTE IL WORKSHOP, DELL'ALLESTIMENTO DELLA SALA E DELLA PRESENTAZIONE DEI RISULTATI.**

La riunione si è svolta in concomitanza con il workshop conclusivo di presentazione dei risultati del piano (Fig. 2.1-5 e programma allegato).



FIGURA 2.1-5. LOCANDINA DEL WORKSHOP CONCLUSIVO DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI PIANO.

Al workshop, oltre ai ricercatori coinvolti nelle attività sperimentali del piano (Prof. Alessandro Petraglia, Prof. Andrea Vannini e Dott.ssa T'ai Gladys Whittingham Forte), hanno partecipato come relatori il Colonnello Dott. Pierluigi Fedele, Comandante dei Carabinieri Forestali di Parma e Piacenza, il dott. Andrea Piotti dell'IBBR-CNR di Firenze e il dott. Willy Reggioni del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano (Fig. 2.1-5 e programma dell'evento allegato). L'apertura del workshop, al quale hanno partecipato oltre 100 persone tra studenti, tecnici del settore forestale e tecnici degli enti pubblici preposti alla conservazione degli ecosistemi, è stata impreziosita dagli interventi del Magnifico Rettore dell'Università di Parma, Prof. Paolo Martelli, dell'Assessore Barbara Lori (Assessore alla Programmazione territoriale, Edilizia, Politiche abitative, Parchi e forestazione, Pari opportunità, Cooperazione internazionale allo sviluppo) e del Presidente del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano (partner del progetto), Dott. Fausto Giovanelli.

In questo contesto anche i partner del GO hanno avuto occasione di incontrarsi per ribadire la necessità e la volontà di raccogliere alcuni dati e informazioni per monitorare le reali ricadute delle innovazioni introdotte mediante il presente Piano, almeno fino al quinto anno dalla fine delle attività del Piano stesso. La bozza di protocollo discussa durante la seconda riunione del GO è stata perfezionata, ma la sostanza delle responsabilità non è cambiata: le attività di monitoraggio negli anni successivi saranno a carico del gruppo di ricerca di Unipr. Il protocollo di misura che sarà applicato sarà lo stesso applicato durante il periodo appena trascorso, con misurazioni della crescita degli individui marcati in tutte le aree di trattamento (AZIONE 3.1) e rilevamento della decomposizione del legno di faggio mediante stima della perdita di massa dei cubi di legno posti a diverse altezze (AZIONE 3.2). I partner supporteranno, ove necessario, le attività (misure, sopralluoghi, manutenzione), ma non è attualmente possibile prevedere un protocollo preciso per i partner che si rendono disponibili ad agire su sollecitazione del gruppo di ricerca di Unipr. L'azione di animazione proseguirà quindi attraverso altri momenti di confronto e condivisione delle informazioni che saranno facilitati dall'utilizzo dei social network già utilizzati. Il lavoro sarà reso più semplice dalle relazioni interpersonali sviluppate durante il periodo di lavoro effettuato insieme.

**Funzionamento e gestione degli aspetti formali del GO:** il responsabile scientifico ha effettuato regolare monitoraggio di tutti gli aspetti contenuti nell'ATS e non direttamente connessi alle attività del Piano quali la sussistenza di tutti i requisiti generali contenuti nella documentazione costitutiva del raggruppamento e il loro formale rispetto da parte dei contraenti, l'effettiva organizzazione di una procedura per assicurare il mantenimento in vita del GO almeno fino al quinto anno oltre la chiusura delle attività del Piano, la stesura

di un protocollo che assegni ai diversi soggetti del GO il compito di raccogliere alcuni dati e informazioni, anche di carattere minimo, per monitorare le reali ricadute delle innovazioni introdotte mediante il presente Piano, almeno fino al quinto anno dalla fine delle attività del Piano stesso. Come riportato sopra, il protocollo prevede che le attività di monitoraggio siano a carico del gruppo di ricerca di Unipr.

**Autocontrollo e Qualità:** il responsabile scientifico, coadiuvato dal team UNIPR, si è occupato regolarmente del monitoraggio dello stato di avanzamento del piano e della qualità dei lavori mediante un'attività di auditing impostata e realizzata con lo scopo di verificare l'efficacia delle UO nello sviluppo delle singole fasi del piano e garantire soluzioni puntuali al presentarsi di criticità.

Nella Tabella 2.1-2 sono riportati i Risultati/Prodotti previsti in fase di progettazione e se sono stati Raggiunti/Realizzati e quando.

RISULTATO/ PRODOTTO	ENTRO PRIMI 3 MESI	ENTRO PRIMI 6 MESI	FINE ANNO
Verbale attivazione GO (solo primo anno)	Questo verbale era previsto entro i primi 3 mesi. E' stato effettivamente realizzato dopo 2 mesi dalla costituzione dell'ATS		
Verifica stato avanzamento			La verifica dello stato di avanzamento dei lavori è stata effettuata in marzo 2022, come previsto e già dichiarato nella relazione intermedia. In aprile 2022, come previsto, è stato realizzato un workshop scientifico-divulgativo per illustrare i risultati ottenuti nel primo anno di progetto. La verifica di marzo ha mostrato alcuni rallentamenti dovuti alla pandemia e il Responsabile Scientifico ha valutato, insieme al team di ricerca, di chiedere una proroga per poter completare tutte le azioni previste.  Una ulteriore verifica dello stato di avanzamento dei lavori è stata effettuata in febbraio 2023. Questa verifica ha consentito di valutare il buon esito delle azioni e di pianificare le attività per il 2023 in modo da raggiungere tutti gli obiettivi.
Verbale verifica struttura Partner/UO	La verifica della struttura dei partner è avvenuta in corrispondenza della riunione dell'1 ottobre 2020 e, quindi entro 2 mesi dall'attivazione dell'ATS		
Valutazione fornitori			Il presente piano prevede forniture d'opera da parte dei partner e da parte di un tecnico forestale con incarico di guidare tecnicamente i cantieri e la sicurezza. I partner hanno lavorato molto bene e hanno completato tutti gli interventi in bosco. Il tecnico forestale ha avviato i cantieri e gestito egregiamente le attività. La valutazione dei fornitori, prevista entro un anno dall'inizio dei lavori, è stata realmente effettuata dopo 15 mesi dall'inizio dei lavori per poter valutare tutti i fornitori al completamento delle loro prestazioni
Rapporti verifiche ispettive		Le verifiche del RS, previste entro 6 mesi dall'inizio dei lavori, sono state effettuate molto più frequentemente, in quasi tutte le occasioni di lavoro in campo, come spiegato prima. Tutti i lavori sono stati eseguiti come da progetto e le verifiche hanno dato sempre esito positivo.	

**TABELLA 2.1-2. RISULTATI/PRODOTTI PREVISTI IN FASE DI PROGETTAZIONE E LORO RAGGIUNGIMENTO/REALIZZAZIONE.**

## 2.1.2 Personale

<b>UNIPR – UO1</b>				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	14	€ 672,00
	Prof. Associato	Collaborazione al coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	17	€ 816,00
	Prof. Associato	Collaborazione al coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	21,95	€ 1.053,60
<b>Totale</b>			<b>52,95</b>	<b>€ 2.541,60</b>

<b>C.O.F.A.P. – UO2</b>				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Impiegato	Coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	30	€ 810,00
<b>Totale</b>				<b>€ 810,00</b>

<b>COOP MONTE NAVERT – UO3</b>				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	14	€ 273,00
<b>Totale</b>				<b>€ 273,00</b>

<b>COOP VALPARMA – UO4</b>				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Coordinamento delle attività di funzionamento e gestione del GO	14	€ 273,00
<b>Totale</b>			<b>14</b>	<b>€ 273,00</b>

## 2.1.3 Trasferte

<b>UNIPR – UO1</b>		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Incontro partner e animazione	€ 238,08
	Incontro partner e animazione	€ 372,40
<b>Totale:</b>		<b>€ 610,48</b>

C.O.F.A.P. – UO2		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Trasferte	€ 172,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 172,00</b>

## 2.2 AZIONE 2

### STUDI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO – NON APPLICABILE

## 2.3 AZIONE 3

### 2.3.1 AZIONE 3.1

Azione	Incremento della crescita secondaria negli stand forestali
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> - Individuazione degli stand sperimentali, scelta delle piante da tagliare o cercinare, misure di crescita. <b>UO3, UO4 e UO5</b> - abbattimento e cercinatura delle piante

#### 2.3.1.1 Descrizione dell'attività e risultati

##### 2.3.1.1.1 Introduzione

Questa azione ha come **obiettivo l'incremento della crescita secondaria dei faggi** ottenuta mediante due metodi che agiscono in modo diverso sulla crescita delle piante: **il diradamento e la cercinatura**.

Il **diradamento** selettivo è il metodo più diffuso nella gestione delle foreste dell'Europa centrale ed è applicato in silvicoltura con l'obiettivo di ottenere la massima produzione di legno. La morte di un albero può apportare benefici agli individui circostanti che, grazie alla ridotta competizione ridotta, si troveranno a disporre di maggiori risorse (acqua, sostanze nutritive, luce, spazio) che potranno utilizzare per il loro sviluppo. Sebbene la risposta degli individui circostanti dipenda da diversi fattori (specie vegetale, età del bosco, caratteristiche climatiche e pedologiche del sito, da tipo, intensità e frequenza del diradamento, altre condizioni ambientali), l'incremento della loro crescita può arrivare fino al 30% negli anni successivi al trattamento (Bose et al., 2018). Per il **faggio** la crescita aumenta con l'aumentare dell'intensità degli interventi, con un incremento maggiore per gli individui di minori dimensioni (Diaconu et al., 2015). Il diradamento è in grado di incrementare efficacemente la crescita e il tasso di sopravvivenza delle piante di faggio non abbattute, tuttavia, può portare ad una riduzione della variabilità dimensionale delle piante e dell'eterogeneità strutturale, con conseguenze negative sulla biodiversità e sullo stock di carbonio.

La **cercinatura** è un'altra tecnica di diradamento che può essere applicata, come la precedente, ai fini dell'aumento nello stock di C epigeo. Questa operazione è meno diffusa e conosciuta rispetto al diradamento selettivo. La cercinatura è una tecnica nata nel settore della frutticoltura e usata, specialmente in passato, per indurre la fioritura, aumentare la dimensione dei frutti, anticiparne la maturazione e migliorarne le qualità. La cercinatura consiste nell'incisione del fusto di una pianta a una profondità sufficiente da recidere il floema, tessuto conduttore deputato al trasporto della linfa elaborata dalla chioma, dove essa viene prodotta attraverso la fotosintesi, verso le radici, dove i carboidrati vengono stoccati sotto forma di amido in appositi tessuti. La rescissione del floema blocca il trasferimento dei fotosintati alle radici e interrompe l'accumulo di amido; viene però mantenuto il flusso di acqua e nutrienti minerali alla parte della pianta al di sopra dell'incisione (Daudet et al., 2005; Johnsen et al., 2007). La disponibilità idrica e di nutrienti e un

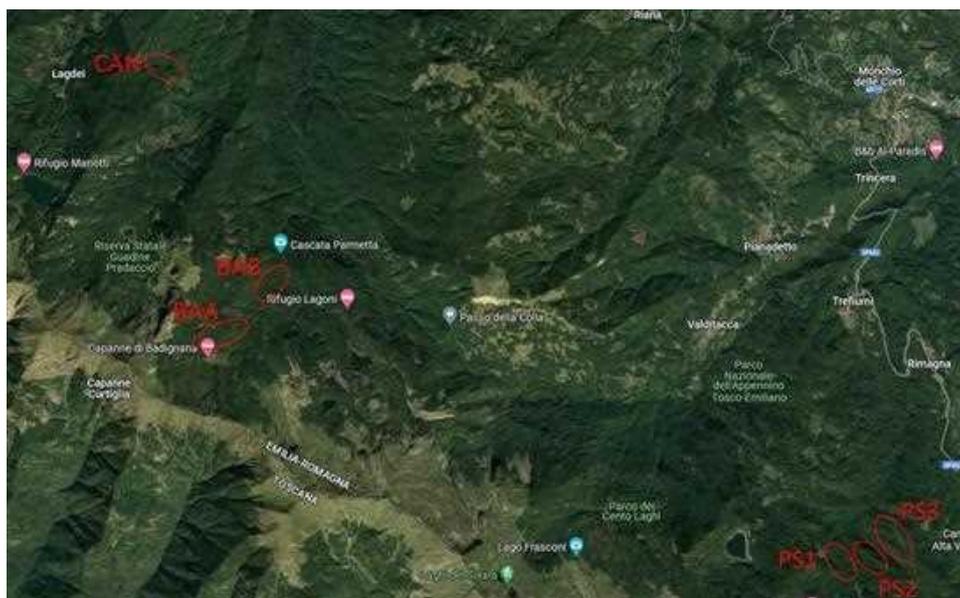
maggior quantitativo di fotosintati favorirà il tasso di crescita delle piante e un maggiore sequestro di carbonio (Grigri et al., 2020), almeno fino a quando l'esaurimento delle risorse, stoccate nelle radici ed utilizzate dalle stesse per la produzione di nuove radici fini, non porterà al deperimento degli individui.

**I vantaggi della cercinatura rispetto al diradamento sono molteplici.** Con la cercinatura, a differenza del diradamento, le piante cercinate continuano a crescere e a sequestrare carbonio; inoltre moriranno in modo stocastico, in momenti diversi (Ueda et al., 2014), come avviene in un bosco non gestito. Questo potrebbe permettere di riavviare un processo di rinaturalizzazione della foresta facilitando la formazione di stand disetanei ed eterogenei. Il bosco evolverà in modo più simile a come dovrebbe avvenire in assenza di gestione, quindi ottimizzando lo stock di carbonio per unità di superficie (Ruiz-Peinado et al., 2017). In aggiunta, le piante moriranno generalmente in piedi; ciò si traduce in una velocità di decomposizione inferiore rispetto al legno morto a contatto con il suolo (Přívětivý et al., 2016).

Questa azione è stata pianificata e realizzata per quantificare l'entità della differenza nel sequestro di carbonio in una faggeta a seguito di interventi di diradamento e cercinatura.

### 2.3.1.1.2 Disegno sperimentale e metodi

All'inizio dell'autunno 2020 sono state individuate 6 aree (da qui in poi chiamate stand) omogenee da un punto di vista ecologico e morfologico, con storia gestionale analoga e in cui l'ultimo intervento di diradamento fosse avvenuto almeno 30 anni prima dell'inizio del piano; 3 stand sono stati localizzati nei boschi a sud di Prato Spilla (Monchio delle Corti, PR) e 3 stand sono stati localizzati nei boschi tra le località Lagdei, Lagoni e Capanne di Badignana (Corniglio, PR) (Fig. 2.3.1-1, Tab. 2.3.1-1).



**FIGURA 2.3.1-1. LOCALIZZAZIONE SPAZIALE DEGLI STAND FORESTALI IN CUI SONO STATE REALIZZATE LE AZIONI 3.1, 3.2, 3.3 E 3.5. SCREENSHOT DI UN'IMMAGINE SATELLITARE DI GOOGLE MAPS EFFETTUATO IL 30/11/2023 E SUCCESSIVAMENTE MODIFICATO. I CODICI DEGLI STAND SONO ESPLICITATI NELLA TABELLA 2.3.1-1.**

Località	Comune	Nome stand	Codice	Latitudine	Longitudine
Lagdei-Lagoni	Corniglio	Badignana Alta	BAA	44°23'19.2"N	10°01'47.3"E
Lagdei-Lagoni	Corniglio	Badignana Bassa	BAB	44°23'34.5"N	10°02'16.0"E
Lagdei-Lagoni	Corniglio	Cancelli	CAN	44°24'50.7"N	10°01'21.7"E
Prato Spilla	Monchio delle Corti	Prato Spilla 1	PS1	44°21'58.4"N	10°06'54.9"E
Prato Spilla	Monchio delle Corti	Prato Spilla 2	PS2	44°22'00.7"N	10°07'04.4"E
Prato Spilla	Monchio delle Corti	Prato Spilla 3	PS3	44°22'03.8"N	10°07'21.7"E

**TABELLA 2.3.1-1. LOCALITÀ, COMUNE, NOME DELLO STAND FORESTALE, CODICE UTILIZZATO NEL PRESENTE TESTO E COORDINATE GEOGRAFICHE DEL CENTRO DELLE AREE SPERIMENTALI UTILIZZATE E INDICATE NELLA FIGURA 2.3.1-1.**

In ciascuno stand sono state individuate 5 aree in cui sono stati effettuati i trattamenti riportati nella Tabella 2.3.1-2.

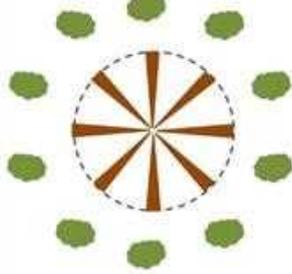
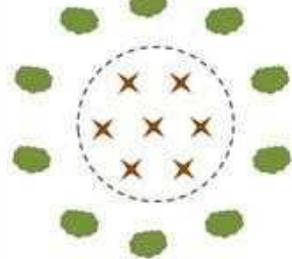
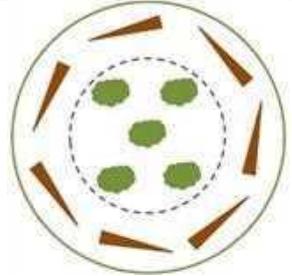
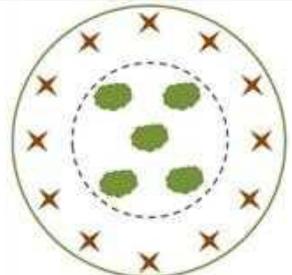
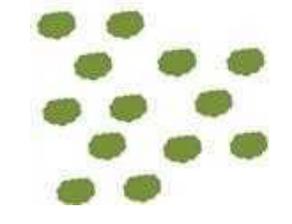
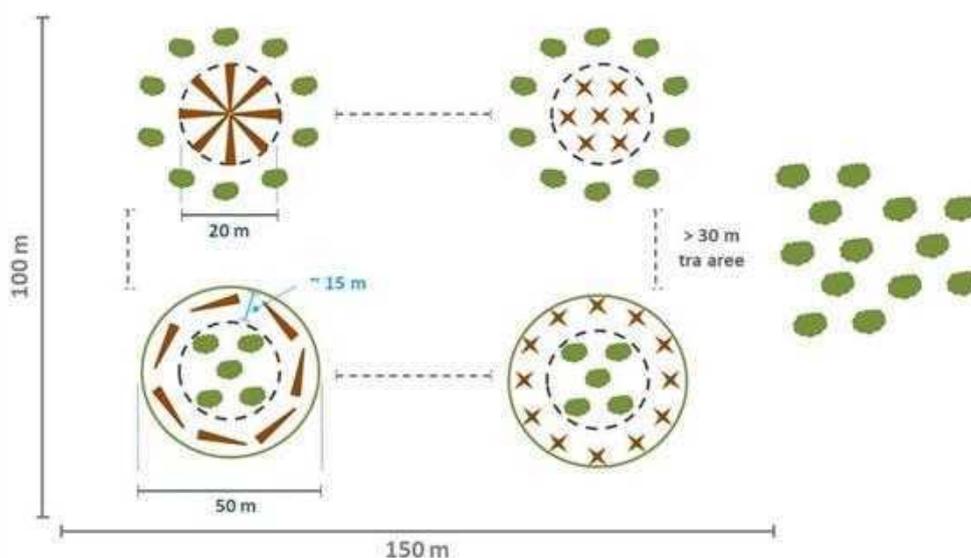
Trattamento	Descrizione	Schema grafico
<b>BA – Buca con rilascio degli alberi morti a terra</b>	Area di circa 20 m di diametro in cui sono state misurate e abbattute tutte le piante presenti. Tutti gli esemplari rimasti in piedi lungo la circonferenza della buca sono stati etichettati mediante arbotag numerati (Fig. 2.3.1-3a); per ciascun esemplare sono state misurate l'altezza e la circonferenza all'altezza del petto. Tutte le piante misurate sono state marcate con tre chiodi per poter misurare nuovamente la circonferenza a distanza di 1 e 2 anni; 4 esemplari sono stati dotati di Nastri Diametrici Permanenti (NDP) (Fig. 2.3.1-3b).	
<b>BC – Buca con alberi cercinati</b>	Simile al precedente, ma gli alberi centrali sono stati misurati e cercinati (Fig. 2.3.1-4a). Questi alberi, come quelli periferici, sono stati dotati di arbotag e sono state misurate la circonferenza all'altezza del petto e l'altezza.	
<b>CA – Corona circolare con rilascio degli alberi morti a terra</b>	Area di circa 50 m di diametro (raggio = r = 25 m) in cui le piante nell'area centrale, di circa 20 m di diametro (raggio 10 m), sono state lasciate in piedi, mentre le piante in corrispondenza della corona circolare (r maggiore – r minore = 25 – 10 = 15 m) sono state misurate e abbattute (Fig. 2.3.1-4b). Gli esemplari centrali e tutti gli esemplari esterni alla corona circolare sono stati marcati con un arbotag numerato e sono stati misurati (circonferenza all'altezza del petto e altezza). Tutte le piante misurate sono state marcate con tre chiodi per poter misurare nuovamente la circonferenza a distanza di 1 e 2 anni. 7 esemplari (3 nell'area centrale, 4 lungo la circonferenza) sono stati dotati di NDP.	
<b>CC – Corona circolare con alberi cercinati</b>	Simile al precedente, ma in questo caso gli alberi della corona circolare sono stati misurati e cercinati, ma non sono stati marcati con arbotag per monitorarne la crescita nel tempo.	
<b>Controllo</b>	Il controllo è costituito da 40 o 41 piante che sono state marcate con arbotag e delle quali sono state misurate l'altezza e la circonferenza; 4 esemplari sono stati dotati di NDP.	
	<b>LEGENDA dei grafici →</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li> buca</li> <li> albero abbattuto</li> <li> albero cercinato</li> <li> albero vivo</li> <li> bosco</li> </ul>

TABELLA 2.3.1-2. DESCRIZIONE DEI TRATTAMENTI EFFETTUATI IN CIASCUNO DEI 6 STAND FORESTALI INDIVIDUATI.

Ogni stand è costituito dai 4 trattamenti e da un controllo posizionati ad almeno 30 m di distanza uno dall'altro. Oltre ai 2 trattamenti di cercinatura e ai 2 trattamenti di abbattimento, per ogni stand è stata individuata anche un'area in cui sono state scelte, etichettate e misurate 40-41 piante di controllo, la cui crescita non è in nessun modo influenzata dalle attività sperimentali. I controlli sono necessari per poter verificare, comparando i dati, se i trattamenti applicati influenzano la crescita delle piante. In particolare, si può concludere che un trattamento influenza la crescita di un individuo se essa si discosta significativamente rispetto a quella del controllo.

Il posizionamento relativo dei trattamenti negli stand è illustrato schematicamente nella Figura 2.3.1-2.



**FIGURA 2.3.1-2. POSIZIONAMENTO RELATIVO DEI TRATTAMENTI. IL POSIZIONAMENTO RECIPROCO DEI TRATTAMENTI NON È SEMPRE COME RAPPRESENTATO IN FIGURA PERCHÉ LA LORO COLLOCAZIONE È STATA GUIDATA DAL PRINCIPIO DI MANTENERE L'OMOGENEITÀ STRUTTURALE ED ECOLOGICA DI TUTTI I TRATTAMENTI IN CIASCUNO STAND. LE DISTANZE MINIME TRA I TRATTAMENTI SONO INVECE SEMPRE MANTENUTE.**



**FIGURA 2.3.1-3. NASTRO DIAMETRICO PERMANENTE POSIZIONATO INTORNO A UN ESEMPLARE DI FAGGIO (CENTRO, B), ARBOTAG APPLICATO AD UN ALTRO ESEMPLARE (SINISTRA, A) E MISURAZIONE DELLA CIRCONFERENZA MEDIANTE CORDELLA METRICA (DESTRA, C).**

La cercinatura è stata eseguita incidendo il fusto per tutta la circonferenza fino a raggiungere il cambio cribrovascolare (circa 1.5-2 cm di profondità) in due punti distinti rispettivamente all'altezza di circa 30 e 90 cm da

terra (Fig. 2.3.1-3a). Tale precauzione è stata presa per avere la certezza di recidere completamente il floema bloccando il flusso della linfa elaborata.



FIGURA 2.3.1-4. PIANTE CERCINATE NEI TRATTAMENTI BC e CC (SINISTRA, A) e PIANTE ABBATTUTE NEL TRATTAMENTO CA (DESTRA, B).

Nel periodo tra novembre 2020 e marzo 2021 sono stati etichettati e misurati 1528 individui di faggio (Tabella 2.3.1-3).

	C	BA	BC	CA	CC	TOTALE
BAA	40	29	83	94	70	316
BAB	41	18	38	67	59	223
CAN	40	18	34	52	53	198
PS1	40	29	71	73	80	295
PS2	40	24	40	65	73	242
PS3	40	18	59	64	72	254
<b>TOTALE</b>	<b>241</b>	<b>136</b>	<b>329</b>	<b>415</b>	<b>407</b>	<b>1528</b>

TABELLA 2.3.1-3. PIANTE ETICHETTATE E MISURATE NEI 6 STAND SPERIMENTALI SUDDIVISI PER CIASCUN TRATTAMENTO. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1, I CODICI DEI TRATTAMENTI SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-2.

Per stimare l'effetto dei trattamenti sul sequestro del carbonio dopo 2 anni dall'inizio dell'esperimento è necessario conoscere i volumi iniziali e dopo 2 anni e calcolare la differenza. Il volume di ciascun individuo prima dei trattamenti e due anni dopo i trattamenti è stato calcolato utilizzando le tavole di cubatura (Castellani et al., 1984) a doppia entrata che restituiscono il volume ( $m^3$ ) di ciascun individuo conoscendone l'altezza e il diametro all'altezza del petto (Diameter at breast height, DBH a ~1.30 m da terra). L'altezza di ciascun individuo è stata misurata utilizzando lo strumento Vertex III (Fig. 2.3.1-5), associato ad un trasponder T3, prodotti dall'azienda Haglöf, Sweden AB.

E' necessario precisare che l'altezza è stata misurata solo una volta, prima dei trattamenti; in questo modo la stima dell'incremento di volume è influenzata solo dall'incremento di diametro. Poiché le piante non diventano più basse, ma possono solo aumentare in altezza, la stima dell'incremento di volume che si ottiene non misurando l'altezza dopo due anni è una stima conservativa, inferiore all'incremento di volume reale; questa sottostima è stata considerata preferibile al possibile errore derivante da una seconda misura dell'altezza effettuata a solo due anni di distanza dalla prima misura.

Il diametro è stato ricavato dalla circonferenza che è stata misurata usando una cordella metrica posizionata ad altezza petto e aderente al fusto dell'individuo e in modo tale da descrivere un piano perpendicolare

rispetto all'asse dell'albero (Fig. 2.3.1-3c). Per poter valutare quantitativamente la crescita di ogni singolo individuo selezionato è necessario poter ripetere la misura al termine della seguente stagione vegetativa nello stesso punto dove era stata misurata l'anno prima, in modo da poter confrontare i due dati e valutare l'effettivo aumento di circonferenza.



**FIGURA 2.3.1-5. VERTEX III (HAGLÖF, SWEDEN AB) USATO PER LA MISURAZIONE DELL'ALTEZZA DEGLI INDIVIDUI SELEZIONATI.**

Pertanto, su ciascun individuo sono stati fissati tre piccoli chiodi di colore rosso (saranno rimossi alla fine dell'esperimento), situati ai vertici di un ideale triangolo equilatero, immediatamente al di sopra dei quali, nel momento della misura, è stata appoggiata la cordella metrica. In questo modo le misure sono state effettuate sempre nello stesso punto. L'accuratezza di tale metodologia è stata valutata attraverso la correlazione del diametro calcolato tramite la circonferenza delle piante con quello misurato tramite nastro diametrico permanente (NDP) (Fig. 2.3.1-3b), equipaggiato da una molla con forza di 0.2 N, valore che equivale alla forza esercitata dall'accrescimento della pianta. La correlazione tra i due metodi di misura, effettuata su 150 individui, è stata molto elevata ( $R^2=0.999$ ), dimostrando l'affidabilità dell'intero set di misure effettuate.

**L'incremento del pool della biomassa epigea** dipende dalla crescita secondaria. Per valutare gli effetti dei trattamenti è stato effettuato un confronto tra l'incremento di volume del totale degli individui nei trattamenti e la crescita teorica degli stessi, intesa come la crescita che si sarebbe realizzata se le piante fossero cresciute, teoricamente, senza alcun intervento. La crescita teorica è stata calcolata utilizzando i valori di crescita delle piante nei controlli (CTRL), cioè le aree in cui sono stati selezionati degli individui non trattati che sono stati misurati per poter valutare la crescita in condizioni naturali.

**L'incremento volumetrico reale degli individui di controllo** è stato ottenuto applicando la seguente formula (1):

$$(1) \Delta_{2023-2021}CTRL / N_{ind}CTRL = \text{Incremento volumetrico reale individuale}$$

$\Delta_{2023-2021}CTRL$  corrisponde all'incremento totale di volume dei controlli tra il 2021 e il 2023, ossia la somma della differenza di volume 2023-2021 di tutti gli individui di controllo, espresso in metri cubi ( $m^3$ );  $N_{ind}CTRL$  indica il numero totale di individui all'interno dei controlli. Dividendo quindi l'incremento volumetrico totale dei controlli per il numero di piante all'interno di essi si ottiene l'incremento volumetrico medio di ciascun faggio nei controlli nel periodo 2021-2023.

Moltiplicando l'incremento medio di ciascun individuo (che si ottiene dalla formula (1)) per il numero totale di piante di ciascuno trattamento in ciascuno stand (considerando sia le piante trattate che quelle perimetrali ad esse) si ottiene **l'incremento volumetrico teorico**, ovvero l'incremento volumetrico che avremmo osservato in assenza di trattamenti.

$$(2) \text{Incremento volumetrico teorico} = \text{Incremento volumetrico reale individuale} \times \text{Totale degli individui di ciascun trattamento e stand}$$

Per valutare l'effetto dei trattamenti sulle piante trattate e su quelle ad esse limitrofe (cioè tutte le piante in ciascun trattamento) si confronta l'incremento volumetrico teorico con quello misurato (reale). L'**incremento volumetrico reale** si calcola come segue:

$$(3) \text{ Incremento volumetrico reale} = \text{Incremento medio delle piante abbattute o cercinate} \times \text{il numero di piante abbattute o cercinate} + \text{Incremento medio delle piante limitrofe al trattamento} \times \text{numero di piante limitrofe}$$

Il primo addendo della formula (3) si ottiene moltiplicando l'incremento medio del volume nel periodo 2021-2023 delle piante trattate per il numero totale di piante di ciascun trattamento di ciascuno stand. In questo modo si ottiene la crescita effettiva degli individui che hanno subito il trattamento.

Per gli individui abbattuti la crescita è, ovviamente, nulla; sarà però rilevante la crescita delle piante limitrofe. Per le piante cercinate, invece, la crescita non dovrebbe essere nulla; anzi, come si vedrà, risulterà maggiore rispetto alle piante di controllo (confronta la Figura 2.3.1-7 nei risultati).

L'incremento medio delle piante cercinate da inserire nella formula è pari all'incremento medio dei controlli più la differenza tra le piante cercinate e i controlli. Questo calcolo, apparentemente complesso, è necessario per poter considerare un incremento dei cercinati che tenga in considerazione il fatto che la crescita media nei diversi stand è diversa e può dipendere anche dalla dimensione degli individui in ciascuno stand. Il valore ottenuto sarà poi moltiplicato per il totale degli individui cercinati di ciascun trattamento di ogni stand.

Poiché l'incremento delle piante cercinate rispetto ai controlli è stato calcolato solo per le buche cercinate, i valori di crescita media delle piante cercinate nelle buche cercinate sono stati utilizzati anche per calcolare l'incremento nelle corone cercinate.

Il secondo termine della formula (incremento medio delle piante limitrofe al trattamento) corrisponde all'incremento volumetrico medio delle piante adiacenti al trattamento (perimetrali nei trattamenti BA, BC, CA, CC, ma anche quelle centrali negli ultimi due trattamenti) moltiplicato per il numero totale di individui limitrofi nei rispettivi trattamenti per ogni stand. Se l'analisi statistica dovesse rivelare un incremento non significativo degli individui perimetrali ai trattamenti rispetto agli individui di controllo, allora sarà usato il dato di incremento medio calcolato sui controlli.

Ci si aspetta che tale incremento risulti non significativo per gli individui adiacenti ai trattamenti di cercinatura (BC e CC), in quanto gli individui cercinati rimangono vitali per un certo periodo dopo l'incisione del floema, non influenzando la competizione con le piante limitrofe; nella buca e nella corona cercinata non ci si aspetta quindi una differenza di incremento medio delle piante adiacenti al trattamento rispetto ai controlli.

Sommando i due addendi si ottiene la crescita reale dei faggi con l'applicazione dei trattamenti di abbattimento o cercinatura.

Facendo la differenza tra l'**incremento volumetrico reale** (formula (3)) misurata a seguito dell'applicazione dei trattamenti e l'**incremento volumetrico teorico** (formula (2)) si può calcolare l'incremento volumetrico generato dall'applicazione dei trattamenti per ciascun trattamento e stand (formula (4)).

$$(4) \text{ Incremento volumetrico totale} = \text{Incremento volumetrico reale} - \text{Incremento volumetrico teorico}$$

Con la formula (4) è possibile ottenere le variazioni volumetriche nei diversi stand e fare la media per ciascun trattamento in modo da vedere gli effetti complessivi dei trattamenti sui volumi di legno.

In questo modo si potranno quantificare gli effetti dei diversi trattamenti sul sequestro del carbonio.

**Gli incrementi volumetrici possono essere tradotti in un aumento degli stock di carbonio della biomassa epigea** consentendo di quantificare il sequestro di carbonio dall'atmosfera. Per ottenere il dato di sequestro di carbonio si procede calcolando la differenza di volume tra il 2023 e il 2021 di tutte le piante in piedi e di quelle abbattute dal vento alla fine dell'ultima stagione vegetativa (considerate perché durante la stagione hanno comunque svolto la fotosintesi). Questo numero è la differenza di volume: non è né biomassa né

carbonio. Una prassi consolidata nella pratica selvicolturale è considerare che un metro cubo di legno di faggio pesi circa 700 kg. Per questa ragione, per ottenere la biomassa del faggio in tonnellate si deve moltiplicare il volume per 0.7 t/m<sup>3</sup>. Per passare da biomassa a carbonio si deve moltiplicare il valore ottenuto per un coefficiente specifico. **Il coefficiente applicato in questo studio per la stima del carbonio contenuto nella biomassa vegetale di *Fagus sylvatica* è 0.48** e deriva dal Global Tissue Carbon Concentration Database (GLOWCAD), il più grande database disponibile riguardante la concentrazione di C nel tessuto legnoso, contenente 3676 singole registrazioni di concentrazioni di C nel tessuto legnoso di 864 specie arboree (Doraisami et al., 2022). Come si può vedere, il valore di 0.48 non si discosta molto dal valore considerato solitamente nella conversione da biomassa a carbonio, pari a 0.5, che significa che circa il 50% della biomassa sia carbonio. In sintesi, il calcolo da fare è il seguente (formula (5)):

$$(5) \text{ Incremento di carbonio totale} = \text{Incremento volumetrico totale} \times 0.7 \text{ (per convertire il volume in biomassa legnosa)} \times 0.48 \text{ (per convertire la biomassa legnosa in carbonio)}$$

Effettuando questo calcolo per ciascun trattamento e stand è possibile calcolare gli effetti dei trattamenti sul sequestro di carbonio e, di conseguenza, valutare l'effetto di differenti strategie gestionali sullo stock di carbonio in foresta.

### 2.3.1.1.3 Risultati

La crescita (valori medi di incremento di diametro in mm) degli individui limitrofi ai trattamenti misurata dopo due anni dall'inizio dell'esperimento (differenza tra il diametro misurato nel 2023 e il diametro misurato nel 2021) è 5.68 (± 0.31, errore standard) mm negli interventi di abbattimento, 4.42 (± 0.33) mm negli interventi di cercinatura e 3.91 (± 0.28) mm negli stand di controllo (tabella 2.3.1-4).

	ABBATTIMENTO			CERCINATURA	
	C	BA	CA	BC	CC
<b>BAA</b>	4.70	5.02	6.06	3.73	5.59
<b>BAB</b>	3.80	4.53	4.75	3.32	3.91
<b>CAN</b>	4.24	7.13	6.76	5.30	5.74
<b>PS1</b>	2.67	5.51	5.56	3.26	3.39
<b>PS2</b>	4.17	5.04	6.01	4.65	4.94
<b>PS3</b>	3.86	5.01	6.81	4.80	4.44
Incremento diametrico medio (mm)	<b>3.91</b>	<b>5.37</b>	<b>5.99</b>	<b>4.18</b>	<b>4.67</b>
Errore standard	0.28	0.37	0.32	0.35	0.38

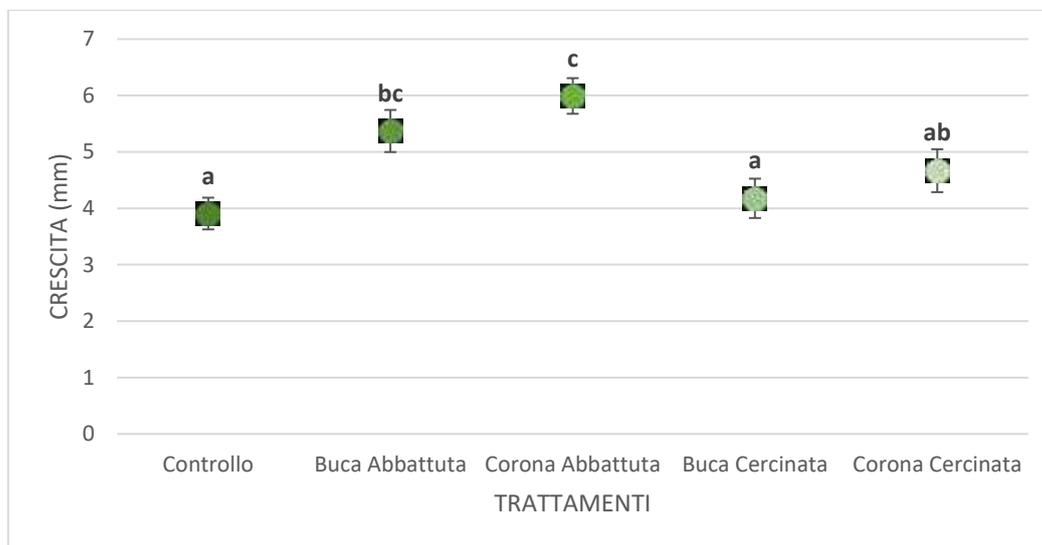
**TABELLA 2.3.1-4. INCREMENTO DIAMETRICO MEDIO (MM) DEI FAGGI IN CIASCUN TRATTAMENTO NEI DIVERSI STAND E CRESCITA MEDIA ED ERRORE STANDARD PER CIASCUN TRATTAMENTO NEL PERIODO 2021-2023. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1, I CODICI DEI TRATTAMENTI SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-2.**

Le analisi statistiche hanno messo in evidenza una differenza significativa tra i trattamenti ( $p < 0.001$ ; Tab. 2.3.1-5).

	numDF	denDF	F-value	p-value
<b>(Intercept)</b>	1	1303	313.544	<0.001
<b>Trattamento</b>	4	20	15.012	<0.001

**TABELLA 2.3.1-5. RISULTATI DELL'ANALISI STATISTICA CHE HA RISCONTRATO DIFFERENZE SIGNIFICATIVE NELLA CRESCITA DEGLI INDIVIDUI LIMITROFI AI TRATTAMENTI RISPETTO AI CONTROLLI.**

Attraverso il test post-hoc di Tukey (dati non riportati) sono stati individuati i trattamenti significativamente diversi rispetto agli altri. I faggi limitrofi alle aree in cui sono stati effettuati gli abbattimenti, cioè CA e BA, mostrano crescite diametriche significativamente maggiori rispetto ai controlli (figura 2.3.1-6). Nei trattamenti BC e CC, invece, la crescita degli individui limitrofi al trattamento non è risultata significativamente diversa rispetto a quella dei controlli.



**FIGURA 2.3.1-6. CRESCITA MEDIA (MM) ± ERRORE STANDARD (N=6, DOVE 6 CORRISPONDE AL NUMERO DI STAND) NEL PERIODO 2021-2023 (2 ANNI) DEI FAGGI DI CONTROLLO E LIMITROFI ALLE AREE IN CUI SONO STATI EFFETTUATI ABBATTIMENTI E CERCINATURE. LA CRESCITA È QUI INTESA COME INCREMENTO ANNUALE DEL DIAMETRO. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE TRA I TRATTAMENTI (P>0.05).**

La maggiore crescita dei faggi nei trattamenti di abbattimento rispetto ai controlli è legata alla ridotta competizione. Infatti, a seguito dell'abbattimento degli individui limitrofi, le piante rimaste in piedi hanno a disposizione una maggiore disponibilità di risorse (luce, acqua, nutrienti e spazio).

Le piante cercinate, invece, rimanendo vitali per un certo periodo di tempo, emettono le foglie, continuano a svolgere la fotosintesi, assorbono acqua e nutrienti e si accrescono. Per questo motivo le piante circostanti ai trattamenti BC e CC continuano a crescere analogamente alle piante di controllo.

E' rilevante capire quanto crescano le piante cercinate dopo l'intervento di cercinatura allo scopo di capire quanto carbonio continuano a sequestrare e per quanto tempo.

Per rispondere a questa domanda è stata confrontata la crescita degli individui cercinati misurati all'interno dei trattamenti BC con la crescita degli individui di controllo, ma anche con la crescita degli individui limitrofi ai trattamenti BC in quanto si trovano nelle medesime condizioni ambientali delle piante cercinate (N.B.: l'incremento delle piante cercinate rispetto ai controlli è stato calcolato solo per le buche cercinate; gli individui cercinati all'interno delle corone cercinate sono stati misurati nel 2021, ma la misura non è più stata ripetuta; il numero di individui presenti nelle buche cercinate situate nei sei diversi stand è comunque sufficientemente elevato (192 piante totali) da fornire una confidenza elevata rispetto ai dati ottenuti; tali risultati si possono poi estendere anche alle corone cercinate).

Nel periodo 2021-2023 la crescita media degli individui cercinati è stata pari a 5.77 (± 0.89) mm, nei controlli è risultata pari a 3.91 (± 0.28) mm e quella degli individui limitrofi alle buche cercinate è stata pari a 4.18 (± 0.35) mm (Tab. 2.3.1-6; Fig. 2.3.1-7).

	NON CERCINATI		CERCINATI
	C	BC	BC-Cercinati
<b>BAA</b>	4.70	3.73	3.97
<b>BAB</b>	3.80	3.32	5.90
<b>CAN</b>	4.24	5.30	9.14
<b>PS1</b>	2.67	3.26	2.88
<b>PS2</b>	4.17	4.65	6.11
<b>PS3</b>	3.86	4.80	6.63
Incremento diametrico medio (mm)	<b>3.91</b>	<b>4.18</b>	<b>5.77</b>
Errore standard	0.28	0.35	0.89

TABELLA 2.3.1-6. INCREMENTO DIAMETRI MEDIO (MM) IN CIASCUNO STAND DEI FAGGI NEI PLOT DI CONTROLLO (C), DEGLI INDIVIDUI LIMITROFI AL TRATTAMENTO “BUCA CERCINATA” (BC) E DI QUELLI CERCINATI ALL’INTERNO DELLA “BUCA CERCINATA” (BC-CERCINATI) NEL PERIODO 2021-2023. SONO INOLTRE RIPORTATE LA CRESCITA MEDIA E L’ERRORE STANDARD PER CIASCUN TRATTAMENTO. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1.

L’analisi statistica (Tab. 2.3.1-7) ha evidenziato un effetto significativo dei trattamenti che un test post-hoc di Tukey ha consentito di decifrare individuando un incremento significativo dell’incremento del diametro nelle piante cercinate sia rispetto ai controlli sia rispetto alle piante limitrofe alle buche cercinate (Fig. 2.3.1-8).

	numDF	denDF	F-value	p-value
<b>(Intercept)</b>	1	551	223.8802	<0.001
<b>Trattamento</b>	2	551	8.3623	<0.001

TABELLA 2.3.1-7. RISULTATI DELL’ANALISI STATISTICA CHE HA RISCONTRATO UNA DIFFERENZA SIGNIFICATIVA TRA LE PIANTE CERCINATE E LE PIANTE NON CERCINATE NEI CONTROLLI E LIMITROFE ALLE BUCHE CERCINATE.

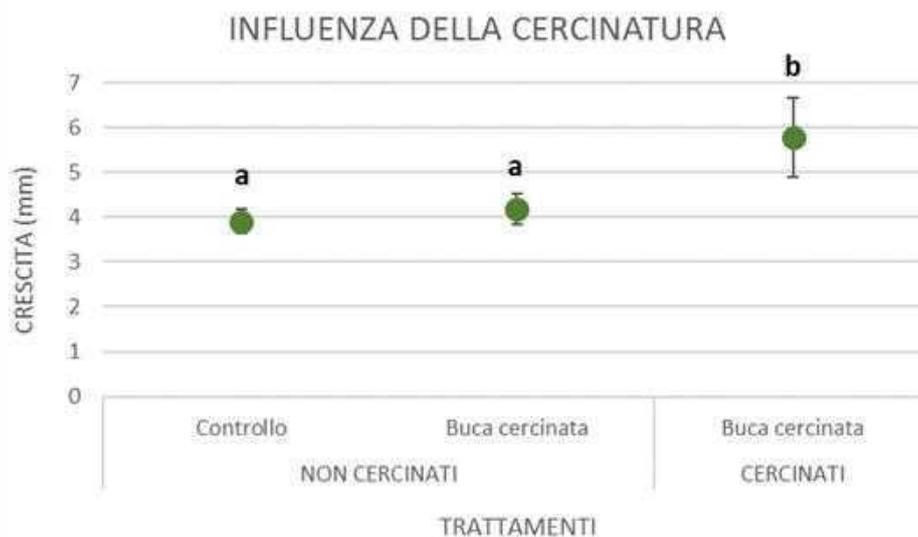


FIGURA 2.3.1-7. CRESCITA MEDIA (MM) ± ERRORE STANDARD (N=6, DOVE 6 CORRISPONDE AL NUMERO DI STAND) NEL PERIODO 2021-2023 (2 ANNI) DEI FAGGI NEI PLOT DI CONTROLLO, DELLE PIANTE NON CERCINATE LIMITROFE AL TRATTAMENTO “BUCA CERCINATA” E DEGLI INDIVIDUI CERCINATI NELLE BUCHE CERCINATE. LA CRESCITA È DEFINITA COME INCREMENTO ANNUALE DEL DIAMETRO. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE TRA I TRATTAMENTI (P>0.05).

Per stimare l'effetto che i diversi trattamenti hanno avuto sul sequestro di carbonio nelle aree studiate dovremo applicare le formule (1-4) spiegate nel paragrafo relativo ai metodi.

Calcoliamo, quindi, l'incremento di volume medio dei faggi nei trattamenti di controllo (formula (1)). Il volume di ciascun individuo nel 2023 e nel 2021 è stato calcolato mediante le tavole di cubatura a partire dalle misure di altezza e diametro.

L'incremento totale dei controlli nel periodo 2023-2021 ( $\Delta_{2023-2021CTRL}$ ), dato dalla somma di tutti gli incrementi volumetrici delle piante presenti nei controlli, risulta pari a 6.26 m<sup>3</sup>; dividendo questo valore per i 241 individui compresi nei controlli ( $N_{indCTRL}$ ), si ottiene l'incremento volumetrico medio individuale di questi ultimi, pari a 0.026 m<sup>3</sup>.

Questo valore è stato utilizzato per calcolare l'incremento di volume teorico in ciascun trattamento per ciascuno stand (formula (2)) mediante una semplice moltiplicazione con il numero di individui presenti in quello specifico trattamento per ogni stand (Tab. 2.3.1-8).

Stand	Trattamento	Numero totale individui	Incremento medio controlli (m <sup>3</sup> )	Crescita teorica (m <sup>3</sup> )
<b>BAA</b>	<b>BA</b>	69	0.0260	<b>1.7940</b>
	<b>BC</b>	83	0.0260	<b>2.1580</b>
	<b>CA</b>	246	0.0260	<b>6.3960</b>
	<b>CC</b>	182	0.0260	<b>4.7320</b>
<b>BAB</b>	<b>BA</b>	37	0.0260	<b>0.9620</b>
	<b>BC</b>	38	0.0260	<b>0.9880</b>
	<b>CA</b>	138	0.0260	<b>3.5880</b>
	<b>CC</b>	128	0.0260	<b>3.3280</b>
<b>CAN</b>	<b>BA</b>	29	0.0260	<b>0.7540</b>
	<b>BC</b>	34	0.0260	<b>0.8840</b>
	<b>CA</b>	109	0.0260	<b>2.8340</b>
	<b>CC</b>	98	0.0260	<b>2.5480</b>
<b>PS1</b>	<b>BA</b>	57	0.0260	<b>1.4820</b>
	<b>BC</b>	73	0.0260	<b>1.8980</b>
	<b>CA</b>	189	0.0260	<b>4.9140</b>
	<b>CC</b>	185	0.0260	<b>4.8100</b>
<b>PS2</b>	<b>BA</b>	37	0.0260	<b>0.9620</b>
	<b>BC</b>	40	0.0260	<b>1.0400</b>
	<b>CA</b>	143	0.0260	<b>3.7180</b>
	<b>CC</b>	161	0.0260	<b>4.1860</b>
<b>PS3</b>	<b>BA</b>	39	0.0260	<b>1.0140</b>
	<b>BC</b>	60	0.0260	<b>1.5600</b>
	<b>CA</b>	152	0.0260	<b>3.9520</b>
	<b>CC</b>	198	0.0260	<b>5.1480</b>

**TABELLA 2.3.1-8. INCREMENTO VOLUMETRICO MEDIO (M<sup>3</sup>) NEI CONTROLLI, NUMERO TOTALE DI INDIVIDUI E INCREMENTO VOLUMETRICO TEORICO (M<sup>3</sup>) IN CIASCUN TRATTAMENTO DI CIASCUNO STAND NEL PERIODO 2021-2023. IL NUMERO TOTALE DI INDIVIDUI INCLUDE SIA GLI INDIVIDUI ABBATTUTI O CERCINATI SIA QUELLI LIMITROFI (SIA PERIMETRALI CHE CENTRALI NEL CASO DELLE CORONE).**

Dopo aver trovato la crescita teorica si procede con il calcolo dell'incremento volumetrico reale dei faggi in ciascun trattamento in ciascuno stand mediante la formula (3).

Le piante su cui sono stati effettivamente calcolati volumi nei diversi trattamenti sono riportati nella Tabella 2.3.1-9.

Stand	Trattamento	Numero individui			Totale
		Limitrofi	Abbattuti	Cercinati	
BAA	BA	29	40	0	69
	BC	32	0	51	83
	CA	94	152	0	246
	CC	70	0	112	182
BAB	BA	18	19	0	37
	BC	21	0	17	38
	CA	67	71	0	138
	CC	58*	0	70	128
CAN	BA	18	11	0	29
	BC	17	0	17*	34
	CA	52	57	0	109
	CC	53	0	45	98
PS1	BA	29	28	0	57
	BC	25	0	48*	73
	CA	72*	117	0	189
	CC	80	0	105	185
PS2	BA	24	13	0	37
	BC	18	0	22	40
	CA	65	78	0	143
	CC	73	0	88	161
PS3	BA	18	21	0	39
	BC	23	0	37*	60
	CA	64	88	0	152
	CC	72	0	126	198

**TABELLA 2.3.1-9. NUMERO DI INDIVIDUI IN CIASCUNO STAND E TRATTAMENTO LE CUI MISURE SONO STATE UTILIZZATE PER LA QUANTIFICAZIONE DELL'EFFETTO DEI TRATTAMENTI SUL SEQUESTRO DEL CARBONIO. IL NUMERO TOTALE COMPRENDE LE PIANTE VIVE LIMITROFE ALL'AREA DIRADATA (SIA PERIMETRALI SIA CENTRALI NEL CASO DELLE CORONE), GLI INDIVIDUI ABBATTUTI E QUELLI CERCINATI. \*IN QUESTI CASI IL NUMERO DI INDIVIDUI NON CORRISPONDE AL NUMERO DI INDIVIDUI MARCATI PERCHÉ ALCUNI INDIVIDUI SONO STATI ESCLUSI PER I SEGUENTI MOTIVI: IL CARTELLINO NON È STATO RITROVATO OPPURE LA PIANTA È STATA DANNEGGIATA OPPURE LA PIANTA SI È SCHIANTATA PRIMA DELLA PRIMA MISURA.**

Dalla somma degli incrementi volumetrici totali delle piante trattate e di quelle limitrofe si ottiene l'incremento volumetrico dei faggi nei diversi stand nei rispettivi trattamenti. Per maggiore semplicità e chiarezza effettueremo il calcolo separando i trattamenti di abbattimento e quelli di cercinatura.

**Trattamenti di abbattimento:** l'incremento per le piante abbattute sarà ovviamente nullo, in quanto a seguito dell'abbattimento esse non possono più crescere. Le piante limitrofe ai trattamenti di abbattimento, invece, sono cresciute più dei controlli (Fig. 2.3.1-6). Di conseguenza anche il loro incremento in volume è maggiore di quello dei controlli.

**L'incremento medio dei faggi limitrofi ai trattamenti di abbattimento è pari a 0.0365 m<sup>3</sup>** e deriva dalla somma tra 1) la differenza tra l'incremento di volume medio delle piante limitrofe ai trattamenti di abbattimento, pari a 0.0364 m<sup>3</sup>, e il volume medio dei controlli (media derivante dalla media di ciascuno stand), pari a 0.0259 m<sup>3</sup>, e 2) il volume medio di tutte le piante di controllo (senza distinzione tra stand), pari a 0.026 m<sup>3</sup>. Esplicitando numericamente si ottiene quanto segue:

$$1) \quad 0.0364 \text{ m}^3 - 0.0259 \text{ m}^3 = 0.0105 \text{ m}^3 + 2) \quad 0.026 \text{ m}^3 = \mathbf{0.0365 \text{ m}^3}$$

Il valore di 0.0365 m<sup>3</sup> è stato utilizzato come fattore da moltiplicare per il numero di individui limitrofi a ciascuno dei trattamenti di abbattimento in ciascuno stand (Tab. 2.3.1-10).

Stand	Trattamento	Numero individui abbattuti	Incremento individui abbattuti (m <sup>3</sup> )	Numero individui limitrofi	Incremento individui limitrofi (m <sup>3</sup> )	Incremento volumetrico reale (m <sup>3</sup> )
BAA	BA	40	0	29	1.0585	<b>1.0585</b>
	CA	152	0	94	3.4310	<b>3.4310</b>
BAB	BA	19	0	18	0.6570	<b>0.6570</b>
	CA	71	0	67	2.4455	<b>2.4455</b>
CAN	BA	11	0	18	0.6570	<b>0.6570</b>
	CA	57	0	52	1.8980	<b>1.8980</b>
PS1	BA	28	0	29	1.0585	<b>1.0585</b>
	CA	117	0	72	2.6280	<b>2.6280</b>
PS2	BA	13	0	24	0.8760	<b>0.8760</b>
	CA	78	0	65	2.3725	<b>2.3725</b>
PS3	BA	21	0	18	0.6570	<b>0.6570</b>
	CA	88	0	64	2.3360	<b>2.3360</b>

**TABELLA 2.3.1-10. INCREMENTO VOLUMETRICO REALE (M<sup>3</sup>) MISURATO DOPO DUE ANNI DALL'APPLICAZIONE DEI TRATTAMENTI DI ABBATTIMENTO. LA TABELLA RIPOSTA ANCHE IL NUMERO DI INDIVIDUI ABBATTUTI E LIMITROFI ALLE AREE DIRADATE (SIA PERIMETRALI SIA CENTRALI NEL CASO DELLE CORONE). L'INCREMENTO DEGLI INDIVIDUI ABBATTUTI È, OVVIAMENTE, PARI A 0. L'INCREMENTO DEGLI INDIVIDUI LIMITROFI È STATO OTTENUTO MOLTIPLICANDO IL NUMERO DI INDIVIDUI PER L'INCREMENTO MEDIO DI VOLUME PER CIASCUN INDIVIDUO LIMITROFO, CIOÈ 0.0365 M<sup>3</sup>.**

**Trattamenti di cercinatura:** la crescita reale delle piante negli interventi di cercinatura deriva dalla somma dei valori di incremento volumetrico delle piante trattate e di quelle ad esse limitrofe in ciascun trattamento di cercinatura e in ciascuno stand.

**L'incremento medio dei faggi cercinati è pari a 0.0310 m<sup>3</sup>** e deriva dalla somma tra 1) la differenza tra l'incremento di volume medio delle piante cercinate, pari a 0.0309 m<sup>3</sup>, e il volume medio dei controlli (media derivante dalla media di ciascuno stand), pari a 0.0259 m<sup>3</sup>, e 2) il volume medio di tutte le piante di controllo (senza distinzione tra stand), pari a 0.026 m<sup>3</sup>. Esplicitando numericamente si ottiene quanto segue:

$$1) \quad 0.0309 \text{ m}^3 - 0.0259 \text{ m}^3 = 0.005 \text{ m}^3 + 2) \quad 0.026 \text{ m}^3 = \mathbf{0.0310 \text{ m}^3}$$

Il valore di 0.0310 m<sup>3</sup> è stato utilizzato come fattore da moltiplicare per il numero di individui cercinati in ciascun trattamento di cercinatura (Tab. 2.3.1-11). L'incremento delle piante limitrofe, invece, non è significativamente diverso all'incremento nelle piante di controllo (cfr. Fig. 2.3.1-6), pertanto per calcolare l'incremento volumetrico delle piante limitrofe è stato utilizzato il valore di 0.026 m<sup>3</sup>.

Stand	Trattamento	Numero individui cercinati	Incremento individui cercinati (m <sup>3</sup> )	Numero individui limitrofi	Incremento individui limitrofi (m <sup>3</sup> )	Incremento volumetrico reale (m <sup>3</sup> )
BAA	BC	51	1.5810	32	0.8320	<b>2.4130</b>
	CC	112	3.4720	70	1.8200	<b>5.2920</b>
BAB	BC	17	0.5270	21	0.5460	<b>1.0730</b>
	CC	70	2.1700	58	1.5080	<b>3.6780</b>
CAN	BC	17	0.5270	17	0.4420	<b>0.9690</b>
	CC	45	1.3950	53	1.3780	<b>2.7730</b>
PS1	BC	48	1.4880	25	0.6500	<b>2.1380</b>
	CC	105	3.2550	80	2.0800	<b>5.3350</b>

Stand	Trattamento	Numero individui cercinati	Incremento individui cercinati (m <sup>3</sup> )	Numero individui limitrofi	Incremento individui limitrofi (m <sup>3</sup> )	Incremento volumetrico reale (m <sup>3</sup> )
PS2	BC	22	0.6820	18	0.4680	<b>1.1500</b>
	CC	88	2.7280	73	1.8980	<b>4.6260</b>
PS3	BC	37	1.1470	23	0.5980	<b>1.7450</b>
	CC	126	3.9060	72	1.8720	<b>5.7780</b>

**TABELLA 2.3.1-11. INCREMENTO VOLUMETRICO REALE (M<sup>3</sup>) MISURATO DOPO DUE ANNI DALL'APPLICAZIONE DEI TRATTAMENTI DI CERCINATURA. LA TABELLA RIPORTA ANCHE IL NUMERO DI INDIVIDUI CERCINATI E LIMITROFI ALLE AREE TRATTATE (SIA PERIMETRALI SIA CENTRALI NEL CASO DELLE CORONE). L'INCREMENTO MEDIO DEGLI INDIVIDUI LIMITROFI È PARI A 0.026 M<sup>3</sup>, CIOÈ PARI ALL'INCREMENTO DEI CONTROLLI. L'INCREMENTO DELLE PIANTE CERCINATE È PARI A 0.0310 M<sup>3</sup>. L'INCREMENTO VOLUMETRICO REALE È STATO OTTENUTO SOMMANDO L'INCREMENTO TOTALE DEI CERCINATI E L'INCREMENTO TOTALE DELLE PIANTE LIMITROFE.**

Una volta trovati l'incremento volumetrico reale e teorico nei diversi trattamenti dei diversi stand sperimentali è possibile applicare la formula (4) che consente di stimare gli effetti complessivi dei trattamenti sui volumi di legno per ciascun trattamento in tutti gli stand (Tab. 2.3.1-12).

Stand	Trattamento	Incremento volumetrico teorico (m <sup>3</sup> )	Incremento volumetrico reale (m <sup>3</sup> )	Reale - Teorico (m <sup>3</sup> )	Incremento (%)
BAA	BA	1.7940	1.0585	<b>-0.7355</b>	<b>-41.00</b>
	BC	2.1580	2.4130	<b>0.2550</b>	<b>11.82</b>
	CA	6.3960	3.4310	<b>-2.9650</b>	<b>-46.36</b>
	CC	4.7320	5.2920	<b>0.5600</b>	<b>11.83</b>
BAB	BA	0.9620	0.6570	<b>-0.3050</b>	<b>-31.70</b>
	BC	0.9880	1.0730	<b>0.0850</b>	<b>8.60</b>
	CA	3.5880	2.4455	<b>-1.1425</b>	<b>-31.84</b>
	CC	3.3280	3.6780	<b>0.3500</b>	<b>10.52</b>
CAN	BA	0.7540	0.6570	<b>-0.0970</b>	<b>-12.86</b>
	BC	0.8840	0.9690	<b>0.0850</b>	<b>9.62</b>
	CA	2.8340	1.8980	<b>-0.9360</b>	<b>-33.03</b>
	CC	2.5480	2.7730	<b>0.2250</b>	<b>8.83</b>
PS1	BA	1.4820	1.0585	<b>-0.4235</b>	<b>-28.58</b>
	BC	1.8980	2.1380	<b>0.2400</b>	<b>12.64</b>
	CA	4.9140	2.6280	<b>-2.2860</b>	<b>-46.52</b>
	CC	4.8100	5.3350	<b>0.5250</b>	<b>10.91</b>
PS2	BA	0.9620	0.8760	<b>-0.0860</b>	<b>-8.94</b>
	BC	1.0400	1.1500	<b>0.1100</b>	<b>10.58</b>
	CA	3.7180	2.3725	<b>-1.3455</b>	<b>-36.19</b>
	CC	4.1860	4.6260	<b>0.4400</b>	<b>10.51</b>
PS3	BA	1.0140	0.6570	<b>-0.3570</b>	<b>-35.21</b>
	BC	1.5600	1.7450	<b>0.1850</b>	<b>11.86</b>
	CA	3.9520	2.3360	<b>-1.6160</b>	<b>-40.89</b>
	CC	5.1480	5.7780	<b>0.6300</b>	<b>12.24</b>

**TABELLA 2.3.1-12. DIFFERENZA TRA INCREMENTO VOLUMETRICO TEORICO E REALE (M<sup>3</sup>) DAL QUALE È STATO RICAVATO L'INCREMENTO (%) NEI DIVERSI STAND E TRATTAMENTI. I DATI SONO RELATIVI AL PERIODO 2023-2021; I COLORI VERDE E ROSSO EVIDENZIANO RISPETTIVAMENTE I VALORI POSITIVI E NEGATIVI.**

Nella Tabella 2.3.1-13 sono riportati i valori medi di incremento volumetrico (%) in ciascun trattamento.

	Trattamento	Incremento volumetrico medio (%)
media	BA	-26.38
	BC	10.85
	CA	-39.14
	CC	10.81
err. st. (n=6)	BA	5.20
	BC	0.63
	CA	2.64
	CC	0.49

**TABELLA 2.3.1-13. MEDIA ± ERRORE STANDARD (N=6, DOVE 6 CORRISPONDE AL NUMERO DI STAND) DELLA PERCENTUALE DI INCREMENTO DI VOLUME NEL PERIODO 2021-2023 NEI DIVERSI TRATTAMENTI.**

**Gli incrementi volumetrici possono essere tradotti in un aumento degli stock di carbonio della biomassa epigea** consentendo di quantificare il sequestro di carbonio dall'atmosfera. Per far questo bisogna trasformare il volume in biomassa e la biomassa in carbonio applicando la formula (5). Dopo aver calcolato la differenza di volume tra il 2023 e il 2021 nei diversi trattamenti in ciascuno stand (Tab. 2.3.1-12), è possibile effettuare il calcolo della differenza in biomassa trasformando i volumi in biomassa. Per far questo adottiamo una prassi consolidata nella pratica selvicolturale, cioè considerare che un metro cubo di legno di faggio pesi circa 700 kg. Moltiplicando, quindi, il volume in tutti gli stand e trattamenti per 0.7 t/m<sup>3</sup> si ottengono i dati riportati nella Tabella 2.3.1-13.

Stand	Trattamento	Incremento teorico di biomassa (t)	Incremento reale di biomassa (t)	Reale – Teorico (t)	Incremento (%)
BAA	BA	1.2558	0.7410	-0.5149	-41.00
	BC	1.5106	1.6891	0.1785	11.82
	CA	4.4772	2.4017	-2.0755	-46.36
	CC	3.3124	3.7044	0.3920	11.83
BAB	BA	0.6734	0.4599	-0.2135	-31.70
	BC	0.6916	0.7511	0.0595	8.60
	CA	2.5116	1.7119	-0.7997	-31.84
	CC	2.3296	2.5746	0.2450	10.52
CAN	BA	0.5278	0.4599	-0.0679	-12.86
	BC	0.6188	0.6783	0.0595	9.62
	CA	1.9838	1.3286	-0.6552	-33.03
	CC	1.7836	1.9411	0.1575	8.83
PS1	BA	1.0374	0.7410	-0.2965	-28.58
	BC	1.3286	1.4966	0.1680	12.64
	CA	3.4398	1.8396	-1.6002	-46.52
	CC	3.3670	3.7345	0.3675	10.91
PS2	BA	0.6734	0.6132	-0.0602	-8.94
	BC	0.7280	0.8050	0.0770	10.58
	CA	2.6026	1.6608	-0.9419	-36.19
	CC	2.9302	3.2382	0.3080	10.51
PS3	BA	0.7098	0.4599	-0.2499	-35.21
	BC	1.0920	1.2215	0.1295	11.86

Stand	Trattamento	Incremento teorico di biomassa (t)	Incremento reale di biomassa (t)	Reale – Teorico (t)	Incremento (%)
	CA	2.7664	1.6352	-1.1312	-40.89
	CC	3.6036	4.0446	0.4410	12.24

TABELLA 2.3.1-13. DIFFERENZA TRA INCREMENTO DI BIOMASSA TEORICO E REALE (T) DAL QUALE È STATO RICAVATO L'INCREMENTO (%) NEI DIVERSI STAND E TRATTAMENTI. I DATI SONO RELATIVI AL PERIODO 2023-2021; I COLORI VERDE E ROSSO EVIDENZIANO RISPETTIVAMENTE I VALORI POSITIVI E NEGATIVI. N.B.: LA COLONNA INCREMENTO (%) È UGUALE ALLA COLONNA INCREMENTO (%) NELLA TABELLA 2.3.1-12 POICHÉ LA PERCENTUALE È IDENTICA PER VALORI MOLTIPLICATI PER UNO STESSO NUMERO (PROPRIETÀ INVARIANTIVA DELLA MOLTIPLICAZIONE).

Per passare da biomassa a carbonio si deve moltiplicare il valore ottenuto per un coefficiente specifico. Il coefficiente applicato in questo studio per la stima del carbonio contenuto nella biomassa vegetale di *Fagus sylvatica* è 0.48 (Doraisami et al., 2022).

Stand	Trattamento	Reale – Teorico (t)	Coefficiente di conversione	C sequestrato (t)	C sequestrato (t/ha)
BAA	BA	-0.5149	0.48	-0.2471	-7.8663
	BC	0.1785	0.48	0.0857	2.7273
	CA	-2.0755	0.48	-0.9962	-5.0738
	CC	0.3920	0.48	0.1882	0.9583
BAB	BA	-0.2135	0.48	-0.1025	-3.2620
	BC	0.0595	0.48	0.0286	0.9091
	CA	-0.7997	0.48	-0.3839	-1.9551
	CC	0.2450	0.48	0.1176	0.5989
CAN	BA	-0.0679	0.48	-0.0326	-1.0374
	BC	0.0595	0.48	0.0286	0.9091
	CA	-0.6552	0.48	-0.3145	-1.6017
	CC	0.1575	0.48	0.0756	0.3850
PS1	BA	-0.2965	0.48	-0.1423	-4.5294
	BC	0.1680	0.48	0.0806	2.5669
	CA	-1.6002	0.48	-0.7681	-3.9119
	CC	0.3675	0.48	0.1764	0.8984
PS2	BA	-0.0602	0.48	-0.0289	-0.9198
	BC	0.0770	0.48	0.0370	1.1765
	CA	-0.9419	0.48	-0.4521	-2.3025
	CC	0.3080	0.48	0.1478	0.7529
PS3	BA	-0.2499	0.48	-0.1200	-3.8182
	BC	0.1295	0.48	0.0622	1.9786
	CA	-1.1312	0.48	-0.5430	-2.7654
	CC	0.4410	0.48	0.2117	1.0781

TABELLA 2.3.1-14. TONNELLATE DI CARBONIO (T) SEQUESTRATE IN CIASCUN TRATTAMENTO E STAND (COLONNA C SEQUESTRATO (T)). IL VALORE SI OTTIENE MOLTIPLICANDO LA DIFFERENZA TRA BIOMASSA REALE E BIOMASSA TEORICA NEL PERIODO 2023-2021 PER IL COEFFICIENTE DI CONVERSIONE 0.48; I COLORI VERDE E ROSSO EVIDENZIANO RISPETTIVAMENTE I VALORI POSITIVI E NEGATIVI. N.B.: LA COLONNA C SEQUESTRATO RIPORTA LA QUANTITÀ DI CARBONIO ALL'ETTARO SEQUESTRATA IN CIASCUN TRATTAMENTO E IN CIASCUNO STAND. I VALORI POSITIVI INDICANO CHE IL TRATTAMENTO HA INCREMENTATO IL SEQUESTRO DEL CARBONIO, I VALORI NEGATIVI INDICANO CHE IL TRATTAMENTO HA RIDOTTO IL SEQUESTRO DEL CARBONIO RISPETTO AD UN ANALOGO PLOT NON TRATTATO.

Effettuando questo calcolo per ciascun trattamento e stand è possibile calcolare gli effetti dei trattamenti sul sequestro di carbonio e, di conseguenza, valutare l'effetto di differenti strategie gestionali sullo stock di carbonio in foresta. I risultati dei calcoli sono riportati nella Tabella 2.3.1-14. Nella Tabella 2.3.1-15 sono riportati i valori medi di C sequestrato (t) in ciascun trattamento.

		t	t/ha
media	BA	-0.11	-3.57
	BC	0.05	1.71
	CA	-0.58	-2.94
	CC	0.15	0.78
err. st. (n=6)	BA	0.03	1.05
	BC	0.01	0.34
	CA	0.11	0.54
	CC	0.02	0.10

**TABELLA 2.3.1-15. MEDIA ± ERRORE STANDARD (N=6, DOVE 6 CORRISPONDE AL NUMERO DI STAND) DELLE TONNELLATE DI CARBONIO REALI E ALL'ETTARO SEQUESTRATE IN CIASCUN TRATTAMENTO NEL PERIODO 2021-2023.**

In sintesi, i trattamenti di abbattimento comportano una riduzione del sequestro di carbonio. Nonostante le piante limitrofe crescano di più, questo incremento non compensa la riduzione del sequestro di carbonio determinata dal taglio delle piante abbattute.

**Il risultato principale di questo studio è, invece, il fatto che i trattamenti di cercinatura incrementano il sequestro di carbonio.** A due anni di distanza dai trattamenti di cercinatura le piante nelle buche cercinate hanno sequestrato 1.71 t/ha di carbonio in più rispetto a un ettaro di bosco in assenza di trattamenti.

Pur nella consapevolezza che 2 anni sono un tempo molto breve per trarre conclusioni rilevanti negli ecosistemi forestali, la cercinatura sembra una tecnica molto promettente per incrementare il sequestro del carbonio in quelle particelle forestali in cui sia possibile immaginare di non prelevare legname.

### 2.3.1.1.4 Bibliografia

Bose A.K., Weiskittel A., Kuehne, C., Wagner R.G., Turnblom E. & Burkhart H.E., 2018. Tree-level growth and survival following commercial thinning of four major softwood species in North America. *Forest Ecology and Management*, 427: 355–364.

Castellani C., Scrinzi G., Tabacchi G. & Tosi V., 1984. Inventario Forestale Nazionale Italiano. Tavole di cubatura a doppia entrata. Ministero dell'Agricoltura e delle Foreste. *Direzione Generale per l'Economia Montana e per le Foreste. Istituto Sperimentale per l'Assestamento Forestale e per l'Alpicoltura*. Trento, 65 pp.

Daudet F.A., Ameglio T., Cochard H., Archilla O. & Lacoïnte A., 2005. Experimental analysis of the role of water and carbon in tree stem diameter variations. *Environmental and Experimental Botany*, 56: 135–144.

Diaconu D., Kahle H.P. & Spiecker H., 2015. Tree- and Stand-Level Thinning Effects on Growth of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) on a Northeast- and a Southwest-Facing Slope in Southwest Germany. *Forests*, 6(9): 3256–3277.

Doraisami M., Kish R., Paroshy N.J., Domke G.M., Thomas S.C. & Martin A.R., 2022. A global database of woody tissue carbon concentrations. *Scientific Data*, 9(1): 284.

Grigri M.S., Atkins J.W., Vogel C., Bond-Lamberty B. & Gough C.M., 2020. Aboveground Wood Production Is Sustained in the First Growing Season after Phloem-Disrupting Disturbance. *Forests*, 11: 1306.

Johnsen K., Maier C., Sanchez F., Anderson P., Butnor J., Waring R. & Linder S., 2007. Physiological girdling of pine trees via phloem chilling: proof of concept. *Plant Cell Environ*, 30: 128–134.

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.

Ruiz-Peinado R., Bravo-Oviedo A., López-Senespleda E., Bravo F. & del Río M., 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems*, 26(2): 10.

Ueda M., Shibata E., Fukuda H., Sano A. & Waguchi Y., 2014. Girdling and tree death: lessons from *Chamaecyparis pisifera*. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(9): 1133–1137.

### **2.3.1.2 Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate**

Le aree sono state individuate, le piante sono state marcate (se previsto), misurate, abbattute e cercinate. Durante il periodo di riposo vegetativo 2021-2022 e 2022-2023 tutte le piante marcate sono state misurate. Le misure effettuate hanno consentito di raggiungere i seguenti obiettivi:

1. Conferma e quantificazione dell'effetto dei diradamenti sulla crescita dei faggi.
2. Quantificazione dell'effetto della cercinatura sulla crescita secondaria dei faggi. Dopo 2 anni la crescita delle piante cercinate è superiore del 47% rispetto alle piante di controllo.
3. Conferma del fatto che la maggiore crescita delle piante limitrofe nei trattamenti di abbattimento non compensa la perdita di incremento delle piante abbattute. Di conseguenza i trattamenti di abbattimento riducono il sequestro di carbonio.
4. I trattamenti di cercinatura incrementano il sequestro di carbonio dopo 2 anni.

Rispetto al piano di lavoro previsto sono state effettuate piccole modifiche al disegno sperimentale. Gli stand forestali previsti nel piano erano 5. Per aumentare la rappresentatività dei dati e ottenere risultati ancora più solidi il team di ricerca ha valutato di inserire uno stand forestale aggiuntivo quindi gli stand in cui sono stati effettuati i trattamenti sono stati 6.

Le principali criticità evidenziate sono da ricercare nel fatto che 2 anni sono un periodo piuttosto breve per trarre conclusioni generali sull'incremento della crescita e del sequestro del carbonio di uno stand forestale. Innanzitutto è difficile prevedere se l'effetto dell'incremento della crescita delle piante cercinate sarà costante nel tempo oppure tenderà a diminuire. Inoltre è difficile prevedere la longevità delle piante cercinate, che potrebbero cominciare a morire riducendo l'effetto della loro crescita maggiore sul sequestro di carbonio. E' intenzione del gruppo di ricerca continuare a effettuare le misure di crescita delle piante marcate anche nei prossimi anni per cercare di ottenere dati più affidabili per un periodo di tempo più lungo in modo da trarre conclusioni più solide su cui effettuare riflessioni tecniche utili per la realizzazione di un piano di taglio che includa la cercinatura tra le metodiche utilizzate per incrementare il sequestro del carbonio negli ecosistemi forestali.

### 2.3.1.3 Personale

UNIPR – UO1				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Misure di diametro e altezza dei faggi etichettati, analisi dei dati, redazione della relazione	10	€ 480,00
	Prof. Associato	Misure di diametro e altezza dei faggi etichettati, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Prof. Associato	Misure di diametro e altezza dei faggi etichettati, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Tecnico a supporto per gestione prove	Misure di diametro e altezza dei faggi etichettati, analisi dei dati, redazione della relazione	1290	€ 11.700,00
<b>Totale</b>			<b>1334</b>	<b>€ 13.812,00</b>

### 2.3.1.4 Trasferte

UNIPR – UO1		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 159,45
	Missioni per attività progettuali	€ 53,20
<b>Totale:</b>		<b>€ 212,65</b>

### 2.3.2 AZIONE 3.2

Azione	<b>Incremento del legno morto e riduzione del tasso di decomposizione del legno morto e della MO nel suolo</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> - Individuazione degli stand sperimentali, scelta delle piante da tagliare o cercinare, pesatura e posizionamento dei cubi di legno per calcolare il tasso di decomposizione del legno morto; preparazione, posizionamento e recupero delle litter bags per calcolare il tasso di decomposizione della materia organica nel suolo. <b>UO3, UO4 e UO5</b> - Abbattimento e cercinatura delle piante, realizzazione dei cubi di legno.

## 2.3.2.1 Descrizione dell'attività e risultati

### 2.3.2.1.1 Attività 1 – Incremento del legno morto e riduzione del tasso di decomposizione del legno morto

#### 2.3.2.1.1.1 Introduzione

I principali comparti forestali in cui è conservato il carbonio sono **la biomassa epigea e ipogea delle piante arboree, il suolo e il legno morto** (Pan et al., 2013). Tra questi, il comparto che risulta più depauperato nelle foreste gestite dall'uomo è quello costituito dal **legno morto**. Per ragioni storiche e silvicolturali, infatti, il legno morto è tra il 2% e il 30% rispetto a quella dei boschi naturaliformi (Green & Peterken, 1997). Anche nelle faggete dell'Emilia-Romagna i volumi stimati, che si aggirano intorno agli  $8.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (INFC, 2009), appaiono irrisori se confrontati con i dati relativi alla necromassa in faggete vetuste (circa  $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  in UK (Green & Peterken, 1997) e mediamente  $65 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  in Italia (Piovesan et al., 2005)). I metodi principali indicati dalla letteratura scientifica per incrementare lo stock di C sono 1) **incrementare il rilascio di piante morte negli ambienti forestali** (Doerfler et al., 2017) e 2) **diminuire il tasso di decomposizione dei detriti legnosi** (Blanco, 2018).

Il legno morto può essere rilasciato in foresta nel modo più ovvio possibile, cioè **abbattendo gli alberi e lasciandoli al suolo**, ma è possibile incrementarne lo stock anche applicando specifiche strategie come **la cercinatura** (Vítková et al., 2018), che consiste nell'incisione del ritidoma del fusto fino a rescindere la continuità floematica così da interrompere il flusso di linfa elaborata. Negli ultimi anni questa tecnica è stata studiata come possibile strategia per aumentare la quantità di legno morto in piedi nelle foreste perché presenta alcune ricadute interessanti sul funzionamento degli ecosistemi forestali che derivano, in massima parte, dal fatto che le piante cercinate non muoiono subito. Infatti, come mostrato nell'AZIONE 3.1, le piante cercinate possono crescere per alcuni anni dopo l'intervento di cercinatura contribuendo a sequestrare carbonio. Inoltre, gli individui cercinati moriranno in modo stocastico, in momenti diversi (Ueda et al., 2014), come avviene nei boschi non gestiti, favorendo il processo di rinaturalizzazione della foresta e la formazione di stand disetanei ed eterogenei. Il bosco evolverà in modo più simile a come dovrebbe avvenire in assenza di gestione, quindi ottimizzando lo stock di carbonio per unità di superficie (Ruiz-Peinado et al., 2017). In aggiunta, le piante cercinate, una volta morte, possono rimanere in piedi per diversi anni favorendo lo sviluppo di numerosi microhabitat per gli organismi saproxilici e si decomporranno più lentamente proprio perché non a diretto contatto con il suolo umido (Přívětvý et al., 2016).

Questa azione è stata pianificata e realizzata per incrementare il legno morto 1) a terra, mediante abbattimento, e 2) in piedi, mediante cercinatura, per ridurre la velocità della decomposizione del legno morto, e 3) per quantificare la riduzione del tasso di turn-over del carbonio quando il legno morto si decompone a diverse distanze dal suolo.

#### 2.3.2.1.1.2 Disegno sperimentale e metodi

Questa azione è stata condotta negli stessi stand individuati nell'AZIONE 3.1 (Fig. 2.3.1-1, Tab. 2.3.1-1). In questi stand, nel periodo tra novembre 2020 e marzo 2021, sono stati misurati diametro e altezza di 1434 piante di faggio, da abbattere o cercinare, nei diversi trattamenti individuati (cfr. Tab. 2.3.2-1). Le piante da abbattere o cercinare sono state marcate mediante una bomboletta spray in modo da essere chiaramente riconoscibili e identificabili senza errori da parte degli operai forestali che, nello stesso periodo, ma sempre dopo aver effettuato le misure, hanno realizzato i tagli e le cercinature. La cercinatura è stata eseguita incidendo il fusto per tutta la circonferenza fino a raggiungere il cambio cribro-vascolare (circa 1.5-2 cm di profondità) in due punti distinti rispettivamente all'altezza di circa 30 e 90 cm da terra. Tale precauzione è stata presa per avere la certezza di recidere completamente il floema bloccando il flusso della linfa elaborata.

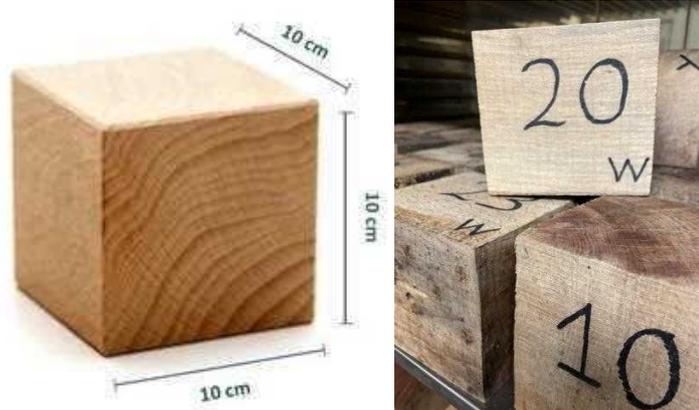
In tutto sono stati abbattuti o cercinati, rispettivamente, 695 e 739 (totale = 1434) faggi la cui suddivisione nei diversi stand e trattamenti è riportata nella Tabella 2.3.2-1.

	BA	CA	BC	CC
BAA	40	152	51	112
BAB	19	71	17	70
CAN	11	57	18	45
PS1	28	117	48	105
PS2	13	78	22	88
PS3	21	88	37	126
<b>TOTALE PER TRATTAMENTO</b>	<b>132</b>	<b>563</b>	<b>193</b>	<b>546</b>
<b>TOTALE ABBATTUTE</b>	<b>695</b>			
<b>TOTALE CERCINATE</b>				<b>739</b>

**TABELLA 2.3.2-1. PIANTE ABBATTUTE O CERCINATE NEI DIVERSI TRATTAMENTI IN CIASCUNO DEI 6 STAND SPERIMENTALI. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1, I CODICI DEI TRATTAMENTI SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-2. IL NUMERO DI PIANTE CERCINATE NEL TRATTAMENTO BC DELLO STAND PS1 DIFFERISCE DA QUELLO IN TABELLA 2.3.1-9 (DOVE SONO INDICATE 47 PIANTE CERCINATE) POICHÉ IN QUESTO CALCOLO È STATO INCLUSO UN INDIVIDUO DI CILIEGIO CHE ERA STATO ESCLUSO NEI CONTEGGI RELATIVI ALLA CRESCITA E ALL'INCREMENTO VOLUMETRICO.**

Tutto il legno morto è stato lasciato in bosco. Le piante cercinate moriranno in momenti diversi. Le piante abbattute e le piante cercinate si decomporranno con velocità diverse.

**Per stimare la velocità della decomposizione del legno morto nelle diverse posizioni**, nel mese di maggio 2021 sono stati posizionati 36 cubi di legno di faggio di 10 cm di spigolo (Fig. 2.3.2-1) in ciascuno degli stand sperimentali individuati nell'AZIONE 3.1 (36 × 6 = 216 cubi in totale).



**FIGURA 2.3.2-1. CUBI DI FAGGIO DI 10 CM DI SPIGOLO POSIZIONATI IN BOSCO DOPO ESSERE STATI PESATI E NUMERATI.**

I cubi di legno sono stati realizzati con tronchi di faggio provenienti da un unico taglio boschivo effettuato nella primavera 2020, stoccati tutti nello stesso luogo e per lo stesso periodo così da essere considerati omogenei rispetto all'inizio dell'attività di decomposizione da parte dei microrganismi. Ogni tronco è stato sezionato longitudinalmente in 4 parti passando per il centro del duramen. I cubi sono stati ricavati dalla parte centrale del tronco per omogeneizzare il più possibile la densità del legno.

I cubi così ottenuti sono stati tutti pesati (il metodo di stima del peso secco dei cubi al tempo 0 è spiegato di seguito) e numerati prima di essere collocati in bosco, all'inizio di giugno 2021, in 3 posizioni: appoggiati al suolo, appoggiati su alcune ceppaie tagliate recentemente e appoggiati sulle cataste realizzate nell'AZIONE 3.3 (Fig. 2.3.2-2). Le posizioni simulano diverse distanze dal suolo e, quindi, diversi livelli di umidità al diminuire della quale si prevede una diminuzione del tasso di decomposizione.



**FIGURA 2.3.2-2. CUBI DI FAGGIO APPOGGIATI AL SUOLO (SINISTRA), APPOGGIATI SU UNA CEPPAIA (CENTRO) E POSIZIONATI SOPRA UNA CATASTA DI LEGNA (DESTRA). TUTTI I CUBI SONO STATI PROTETTI DA GRIGLIE METALLICHE PROGETTATE E COSTRUITE PER EVITARE POSSIBILI DISTURBI DA PARTE DI ANIMALI SELVATICI.**

In ciascuno dei 6 stand e in ciascuna posizione (al suolo, sulle ceppaie e sulle cataste) sono stati posizionati 12 cubi per un totale di  $6 \times 3 \times 12 = 216$  cubi di legno di faggio. Il numero di 12 cubi è stato scelto per poter prelevare una coppia di cubi per ogni stand e trattamento in 6 tempi diversi, cioè dopo 6, 12, 18, 24, 36 e 48 mesi, in modo da poter costruire una curva del tasso di decomposizione nelle diverse posizioni nel tempo. Durante il lavoro si è poi deciso di prelevare i cubi al tempo 1, cioè dopo 6 mesi, solo in 3 stand, in modo da poterli prelevare a distanza di 60 mesi dalla loro introduzione in bosco.

I primi 126 cubi sono stati prelevati e processati durante il progetto (dicembre 2021, giugno 2022, dicembre 2022 e giugno 2023), i prelievi dopo 36, 48 e 60 mesi saranno effettuati dopo la fine del progetto.

Dopo ogni prelievo i cubi sono stati portati in laboratorio dove sono stati ripuliti dai residui di foglie e suolo, seccati in stufa a 105 °C fino alla stabilizzazione del peso (circa 6 giorni) e pesati. Per **stimare il tasso di decomposizione** del legno il peso dei cubi prelevati è stato confrontato con il **peso secco dei cubi al tempo 0**, corrispondente al momento dell'inserimento dei cubi in bosco. Il **peso secco dei cubi al tempo 0** è stato stimato pesando tutti i cubi al tempo 0 (peso "umido", che include l'acqua contenuta in ciascun cubo) e togliendo da ciascuno dei pesi il peso del contenuto medio di acqua di una serie di 10 cubi per ogni set di cubi posti in campo per ciascuno stand (10 cubi per 6 stand = 60 cubi) ottenuto dopo averli seccati in stufa a 105 °C fino alla stabilizzazione del peso. Il contenuto di acqua medio dei 10 cubi per ogni set fornisce la quantità di acqua presente nei cubi prima di entrare in bosco e consente di calcolare il **peso secco al tempo 0**.

La perdita di massa in percentuale dei cubi (mass loss, ML) in ciascuna data di prelievo è stata calcolata mediante la seguente formula:

$$ML = 100 * \frac{M_0 - M_f}{M_0}$$

dove  $M_0$  e  $M_f$  sono rispettivamente la massa anidra (ottenuta dopo essiccazione in stufa), iniziale e finale, di ciascun cubo per ciascuna data di prelievo. La perdita di massa, in percentuale, ci restituisce il tasso di decomposizione del legno nel tempo nei diversi trattamenti.

### 2.3.2.1.1.3 Risultati

**Le piante abbattute o cercinate hanno incrementato (piante abbattute) o incrementeranno (piante cercinate) lo stock di legno morto in foresta.** Il volume di legno morto reale, da abbattimento, o potenziale, da cercinatura, generato nei plot sperimentali è pari a circa 572 m<sup>3</sup> e 524 m<sup>3</sup>, rispettivamente (Tab. 2.3.2-2).

	BA	CA	BC	CC
BAA	14.47	94.54	10.29	58.25
BAB	22.4	89.83	23.06	113.02
CAN	9.08	51.74	14.88	42.78
PS1	13.71	84.49	9.9	73.63
PS2	19.2	85.95	14.82	73.88
PS3	13.78	72.94	17.52	72.71
<b>TOTALE PER TRATTAMENTO</b>	<b>92.64</b>	<b>479.49</b>	<b>90.47</b>	<b>434.27</b>
<b>MEDIA PER TRATTAMENTO</b>	<b>15.44 (±1.91)</b>	<b>79.92 (±6.36)</b>	<b>15.08 (±2)</b>	<b>72.38 (±9.54)</b>
<b>TOTALE ABBATTUTE</b>	<b>572.13</b>			
<b>TOTALE CERCINATE</b>			<b>524.74</b>	

**TABELLA 2.3.2-2. VOLUME TOTALE E MEDIO (M<sup>3</sup>) DELLE PIANTE ABBATTUTE O CERCINATE NEI DIVERSI TRATTAMENTI IN CIASCUNO DEI 6 STAND SPERIMENTALI. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1, I CODICI DEI TRATTAMENTI SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-2.**

La superficie delle buche abbattute e cercinate è di 314.16 m<sup>2</sup>, mentre quella delle corone circolari abbattute e cercinate (N.B: si intende la superficie della corona circolare, cioè quella in cui le piante sono state abbattute o cercinate) è di 1649.34 m<sup>2</sup>. I quantitativi di legno morto, totali e medi, riportati in tabella 2.3.2-2, sono quindi da riferirsi a tali superfici. Per comparare il legno morto ottenuto con i valori disponibili in letteratura e ipotizzare eventuali strategie da applicare nella gestione degli interventi in bosco per aumentare lo stock di legno morto, i volumi di legno morto ottenuti nel presente lavoro sono stati convertiti in m<sup>3</sup>/ha (Tab. 2.3.2-3).

	BA	CA	BC	CC
<b>LEGNO MORTO (m<sup>3</sup>/ha)</b>	491.47	484.53	479.96	438.83

**TABELLA 2.3.2-3. VOLUME DI LEGNO MORTO (M<sup>3</sup> HA<sup>-1</sup>) NEI DIVERSI TRATTAMENTI. I CODICI DEI TRATTAMENTI SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-2.**

I trattamenti hanno generato una quantità di legno morto che va da un volume minimo di 9.08 m<sup>3</sup> (289.02 m<sup>3</sup>/ha) a un massimo di 23.06 m<sup>3</sup> (734.02 m<sup>3</sup>/ha) nelle buche e da un minimo di 42.78 m<sup>3</sup> (259.38 m<sup>3</sup>/ha) a un massimo di 113.02 m<sup>3</sup> (685.24 m<sup>3</sup>/ha) nelle corone.

I dati possono essere utili per ragionare sul tipo di interventi che possono essere realizzati per ricostituire un quantitativo di legno morto analogo a quello presente in faggete vetuste per le quali sono disponibili dati quantitativi di legno morto per unità di superficie. Nel presente lavoro, come valori indicativi, utilizzeremo i dati di alcune faggete vetuste nel Parco Nazionale d’Abruzzo (Piovesan et al., 2005), che presentano circa 65 m<sup>3</sup>/ha in media, con un massimo di 200 m<sup>3</sup>/ha, e i dati provenienti dalla faggeta con più legno morto rilevata ai margini del Parco Nazionale dell’Appennino Tosco-Emiliano, nella Comunalità di Valditacca (Petraglia et al., 2017), con circa 50 m<sup>3</sup>/ha. Nessuno di questi dati può essere considerato come un benchmark attendibile dello stock massimo di legno morto in faggeta poiché questo dato, semplicemente, non si può definire sulla base dell’esiguo numero di dati disponibili. Di conseguenza si propone di considerare il valore di **65 m<sup>3</sup>/ha come obiettivo minimo per tutti gli interventi finalizzati ad incrementare lo stock di legno morto nelle faggete** e ogni intervento che oltrepassi questo valore come un intervento migliorativo.

Siccome la realizzazione di ogni buca, in media e includendo buche cercinate e abbattute, determina un rilascio di legno morto pari a circa 15 m<sup>3</sup>/ha, per ottenere il risultato voluto sarà necessario realizzare almeno 4 buche per ogni ettaro di superficie boschiva, in cui le piante dovranno essere abbattute o cercinate. D’altro canto, se si dovesse optare per la realizzazione di una corona circolare, ne basterà una sola per raggiungere circa 75 m<sup>3</sup>/ha. È importante sottolineare come i dati sperimentali non evidenzino vantaggi particolari della buca o della corona. Per la realizzazione del legno morto mediante abbattimento o cercinatura non emergono risultati che facciano propendere verso una o l’altra forma.

Da un punto di vista del quantitativo di legno morto è possibile anche effettuare un ragionamento diverso. Poiché il volume medio per i 1434 individui abbattuti o cercinati è pari a circa 0.76 m<sup>3</sup>, è possibile immaginare anche, per ottenere 65 m<sup>3</sup>/ha, di abbattere o cercinare circa 85 piante all'ettaro (85 × 0.76 = 64.6 m<sup>3</sup>/ha) per ottenere un valore prossimo a 65 m<sup>3</sup>/ha. Questo numero potrà essere modificato in funzione della dimensione delle piante presenti. Infatti il volume medio dei faggi è molto correlato con la distanza temporale dall'ultimo taglio, con la fertilità del sito e con l'altitudine. In pratica, in uno stand con individui più grandi potranno essere abbattuti o cercinati meno individui per raggiungere, ugualmente, l'obiettivo minimo di 65 m<sup>3</sup>/ha. Si sottolinea che quest'ultimo ragionamento è assolutamente valido e perseguibile se attuato in concomitanza con un intervento di esbosco. Se, invece, l'abbattimento (o cercinatura) dovesse essere realizzato per soli scopi naturalistici, quindi lasciando vive le altre piante nello stand forestale, per favorire la riproduzione sessuale è meglio puntare alla realizzazione di buche di dimensioni tali da favorire la riproduzione da seme; infatti il taglio di alcuni individui, effettuato come nel caso di un diradamento selettivo, pur essendo accettabile per raggiungere l'obiettivo di totalizzare 65 m<sup>3</sup>/ha di legno morto e per favorire la disetaneizzazione e la formazione di un bosco con una struttura non omogenea, è tuttavia meno efficace per favorire la riproduzione da seme.

Per quanto riguarda la scelta tra abbattimento e cercinatura, invece, non sembrano esserci dubbi: **la cercinatura**, sulla base dei dati riportati nell'AZIONE 3.1, delle considerazioni effettuate in precedenza e dei dati sul rallentamento della decomposizione del legno morto in piedi e della sostanza organica nel suolo (vedere i risultati che saranno riportati di seguito in questa azione), **sembra essere la soluzione più vantaggiosa per ridurre il tasso di turn-over del carbonio nelle foreste e per ripristinare più velocemente il funzionamento degli ecosistemi forestali**.

Grazie all'applicazione di questi trattamenti e principi generali è possibile promuovere una rinaturalizzazione delle foreste ripristinando uno stock di legno morto comparabile con quello delle faggete vetuste italiane e, quindi, avviare questi boschi verso il recupero di un elevato livello di naturalità, pur consentendo comunque il prelievo di una certa quantità di legname.

**I dati sulla decomposizione dei cubi di legno a distanze diverse dal suolo, utili per stimare la decomposizione delle piante morte in piedi rispetto alle piante abbattute**, sono stati ricavati dai 126 cubi che sono stati prelevati dopo 6, 12, 18 e 24 mesi dal loro posizionamento (dicembre 2021, giugno 2022, dicembre 2022 e giugno 2023). I dati di *mass loss* per le diverse distanze dal suolo, i diversi tempi di permanenza in bosco e i diversi stand sono riportati nella Tabella 2.3.2-4.

Stand	Tempo	Mass loss (%) dei cubi nelle diverse posizioni		
		Suolo	Ceppaia	Catasta
BAA	6*	NA	NA	NA
	12	3.75	-0.95	0.07
	18	9.38	12.63	6.78
	24	5.36	17.99	2.44
BAB	6*	NA	NA	NA
	12	1.89	3.47	0.45
	18	5.04	3.47	1.46
	24	5.54	3.81	4.54
CAN	6*	NA	NA	NA
	12	-0.33	1.60	0.28
	18	3.27	2.75	1.24
	24	8.91	3.77	2.49
PS1	6	-0.20	-0.65	-1.18
	12	1.58	1.57	-1.07
	18	4.33	5.34	2.38
	24	4.00	4.04	1.43
PS2	6	-0.72	1.21	0.73
	12	0.48	-0.25	-1.38

Stand	Tempo	Mass loss (%) dei cubi nelle diverse posizioni		
		Suolo	Ceppaia	Catasta
PS3	18	7.54	3.68	-0.01
	24	7.23	8.08	0.82
	6	1.06	0.65	0.01
	12	3.45	0.84	0.02
	18	8.41	1.97	2.29
	24	17.28	11.63	1.63

TABELLA 2.3.2-4. DATI DI MASS LOSS (%) RELATIVI AI CUBI DI LEGNO DI FAGGIO POSIZIONATI IN BOSCO A DIVERSE DISTANZE DAL SUOLO PER STIMARE IL TASSO DI DECOMPOSIZIONE DEL LEGNO DI FAGGIO SE ABBATTUTO O SE LASCIATO IN POSIZIONE ERETTA. TEMPO = MESI DI PERMANENZA IN BOSCO. \*PER BAA, BAB E CAN, IL VALORE DELL'INCUBAZIONE DOPO 6 MESI È ASSENTE (NA = NOT AVAILABLE) POICHÉ I CUBETTI AL TEMPO 6 MESI SONO STATI PRELEVATI SOLO NEI SITI PS1, PS2 E PS3. I CODICI DEGLI STAND SONO RIPORTATI NELLA TABELLA 2.3.1-1

L'analisi statistica effettuata (Tab. 2.3.2-5) mostra un effetto significativo del tempo e dell'interazione tempo x trattamento, cioè un effetto diverso del tempo sulla decomposizione dei cubetti posizionati a diverse distanze dal suolo.

	numDF	denDF	F-value	p-value
Intercetta	1	46	0.150	0.700
Trattamento	2	46	0.228	0.797
Tempo	3	46	11.454	<0.001
Trattamento x Tempo	6	46	2.635	0.028

TABELLA 2.3.2-5. RISULTATI DELL'ANALISI STATISTICA DELLA MASS LOSS (%) DEI CUBETTI IN DIVERSE POSIZIONI (TRATTAMENTO), NEL CORSO DEI 24 MESI DI INCUBAZIONE (TEMPO) E DEI DUE TERMINI IN INTERAZIONE.

Come prevedibile, la decomposizione aumenta (maggiore *mass loss*) all'aumentare del tempo di permanenza dei cubi di legno nel bosco (Fig. 2.3.2-3). Già dopo 18 mesi la perdita di massa incrementa significativamente rispetto alla massa iniziale. Si può vedere come dopo 24 mesi i cubi di legno abbiano perso in media 6.16 ( $\pm 1.18$ ) % di massa.

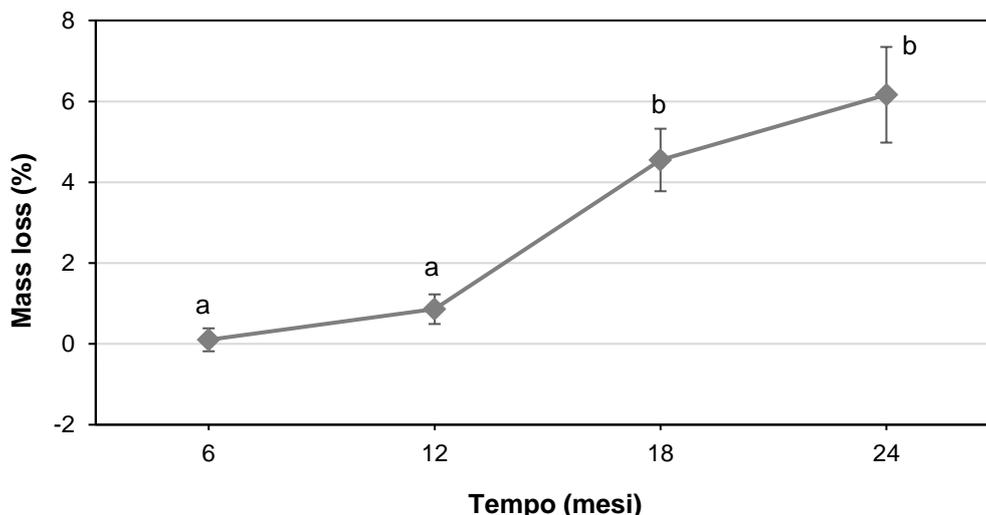
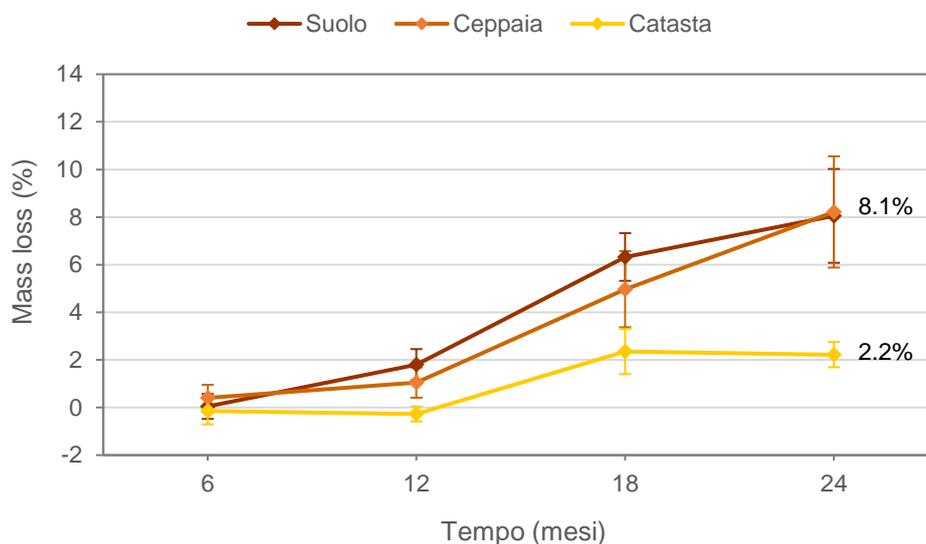


FIGURA 2.3.2-3. MASS LOSS (%)  $\pm$  ERRORE STANDARD DEI CUBI DI LEGNO DOPO 6, 12, 18 E 24 MESI DI PERMANENZA NEL BOSCO. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE ( $P > 0.05$ ). IL PRESENTE GRAFICO INCLUDE TUTTI I TRATTAMENTI, SENZA DISTINZIONE DI POSIZIONE RISPETTO AL SUOLO.

Il dato più interessante riguarda la perdita di massa nel tempo mantenendo separati i trattamenti (Fig. 2.3.2-4). L'interazione tempo x trattamento evidenzia chiaramente che i cubi posizionati sulle cataste dopo 24 mesi si sono decomposti meno (ca. 2.2%) rispetto ai cubi posizionati sulle ceppaie e direttamente sul suolo (ca. 8.1%). I risultati dell'esperimento confermano che il legno si decompone più lentamente se è più lontano dal suolo perdendo, dopo due anni, circa il 25% di C in meno rispetto al legno situato a diretto contatto con il suolo.



**FIGURA 2.3.2-4. MASS LOSS (%) ± ERRORE STANDARD DEI CUBI DI LEGNO DOPO 6, 12, 18 E 24 MESI DI PERMANENZA NEL BOSCO NELLE DIVERSE POSIZIONI: AL SUOLO, SULLE CEPPAIE E SULLE CATASTE. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE ( $P > 0.05$ ).**

Questi dati confermano che **la scelta di lasciare il legno morto in piedi è una scelta molto appropriata se si vuole ridurre la velocità della decomposizione in foresta e incrementare lo stock di carbonio.**

#### 2.3.2.1.1.4 Bibliografia

Blanco J.A., 2018. Managing forest soils for carbon sequestration: Insights from modelling forests around the globe. In *Soil Management and Climate Change* (pp. 237-252). Academic Press.

Doerfler I., Müller J., Gossner M.M., Hofner B. & Weisser W.W., 2017. Success of a deadwood enrichment strategy in production forests depends on stand type and management intensity. *Forest Ecology and Management*, 400: 607–620.

Green P. & Peterken G.F., 1997. Variation in the amount of dead wood in the woodlands of the Lower Wye Valley, UK in relation to the intensity of management. *Forest Ecology and Management*, 98(3): 229–238.

INFC, 2009. I caratteri quantitativi 2005 - Parte 1, versione 2 (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.

Pan Y., Birdsey R.A., Phillips O.L. & Jackson R.B., 2013. The structure, distribution, and biomass of the world's forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44: 593–622.

Petraglia A., Carbognani M., Zanzucchi S. & Tomaselli M., 2017. Relazione finale - Stima della necromassa vegetale in boschi di faggio con differenti caratteristiche ecologiche e storia gestionale. Parco Nazionale dell'appennino Tosco-Emiliano.

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(1): 13–28.

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.

Ruiz-Peinado R., Bravo-Oviedo A., López-Senespleda E., Bravo F. & del Río M., 2017. Forest management and carbon sequestration in the Mediterranean region: A review. *Forest Systems*, 26(2): 10.

Ueda M., Shibata E., Fukuda H., Sano A. & Waguchi Y., 2014. Girdling and tree death: lessons from *Chamaecyparis pisifera*. *Canadian Journal of Forest Research*, 44(9): 1133–1137.

Vítková L., Bače R., Kjučukov P. & Svoboda M., 2018. Deadwood management in Central European forests: Key considerations for practical implementation. *Forest Ecology and Management*, 429: 394–405.

## **2.3.2.1.2 Attività 2 - Riduzione del tasso di decomposizione della materia organica nel suolo**

### **2.3.2.1.2.1 Introduzione e metodi**

Gli effetti dei diradamenti sulla decomposizione della Materia Organica (MO) del suolo sono di grande interesse per la conservazione dello stock di C nei sistemi forestali. In generale i diradamenti dovrebbero aumentare il tasso di decomposizione della MO esponendo il suolo a temperature maggiori rispetto alle temperature solitamente sperimentate sotto la copertura delle chiome.

Per stimare il tasso di decomposizione nei diversi trattamenti effettuati è stato utilizzato il metodo delle *litter bags*, che consiste nel confrontare il peso di un materiale prima di metterlo nell'ambiente e ripesarlo dopo un certo periodo per calcolare la perdita di peso e relazionarla al tempo di permanenza nell'ambiente. In questa azione sono state utilizzate *litter bags* contenenti materiale standard disponibile in commercio, cioè bustine contenenti tè verde e tè rosso (marca Lipton) che presentano caratteristiche idonee a valutare il tasso di decomposizione delle foglie (i.e. tè verde, lettiera facilmente decomponibile, di alta qualità) e del materiale legnoso (i.e. tè rosso africano – rooibos –, lettiera più refrattaria alla decomposizione, di bassa qualità). Il materiale è stato incubato *in situ* seguendo le indicazioni riportate dal protocollo TBI (*Tea Bag Index*) (Keuskamp et al., 2013), un metodo standard ideato per poter escludere l'influenza della composizione della lettiera nativa sui processi della decomposizione e per poter valutare e comparare gli effetti delle variabili abiotiche (es. temperatura, umidità, effetti del tipo di suolo ecc.) globalmente e nell'ambito di esperimenti di manipolazione in campo (Djukic et al., 2018). Per valutare gli effetti dei trattamenti di diradamento sulla velocità della decomposizione sono state utilizzate in totale 144 bustine (72 tè verde e 72 tè rosso). In particolare, in ciascun plot sono state posizionate a –8 cm di profondità 2 bustine per ciascuna tipologia di tè (Fig. 2.3.2-3); nei controlli sono state sotterrate 4 bustine per ciascun tipo di tè in due diversi punti in modo da aumentare l'accuratezza della misura del tasso di decomposizione in condizioni naturali.

Il materiale è stato posizionato *in situ* tra la fine di maggio e l'inizio di giugno 2021. Durante il periodo di incubazione è stata inoltre monitorata la temperatura del suolo per valutare l'effetto di questa variabile sul tasso di decomposizione nei diversi trattamenti. Negli stand Cancelli e Pratospilla 1, accoppiati alle bustine sono stati posizionati dei sensori di temperatura (HOBO Pendant® Temperature/Light 64K Data Logger) che hanno registrato con cadenza orario i valori termici sperimentati dal materiale incubato durante l'esperimento.



**FIGURA 2.3.2-3. PROCEDURA DI POSIZIONAMENTO DELLE LITTER BAGS NEI TRATTAMENTI SPERIMENTALI. OGNI LITTER BAG È STATA INSERITA NEL SUOLO A 8 CM DI PROFONDITÀ. LA POSIZIONE È STATA MINUZIOSAMENTE RIPORTATA IN UNO SCHEMA UTILIZZANDO OPPORTUNE MODALITÀ DI RIFERIMENTO SPAZIALE CHE HANNO CONSENTITO IL RITROVAMENTO DI TUTTE LE LITTER BAGS AL TERMINE DEL PERIODO DI INCUBAZIONE.**

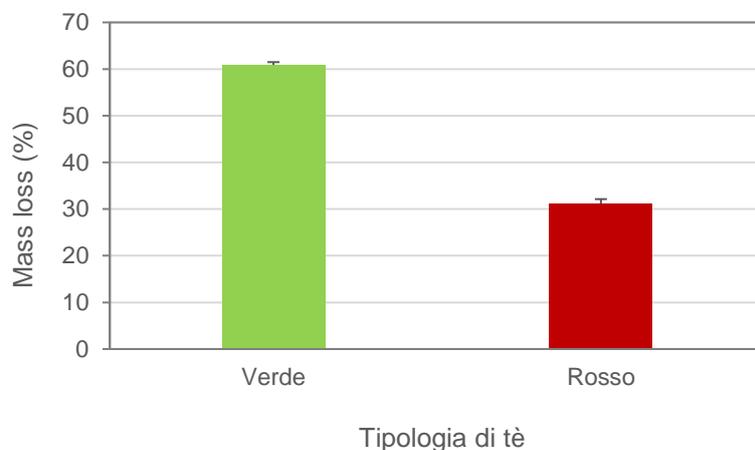
### 2.3.2.1.2.2 Risultati

All'inizio di settembre 2021 le *litter bags* sono state recuperate e riportate in laboratorio dove sono state pulite, seccate in stufa a 65 °C per 48 h e pesate. La differenza tra il peso iniziale (prima dell'incubazione) e finale (al termine dell'incubazione) consente di calcolare la *mass loss*, cioè la perdita in peso (%) e, quindi, la decomposizione dopo 3 mesi (Tab. 2.3.2-6).

	Stand	Controllo	Abbattuto		Cercinato	
			Buca abbattuta	Corona abbattuta	Buca cercinata	Corona cercinata
<b>Verde</b>	BAA	59.0	68.9	67.5	63.1	62.9
	BAB	60.8	61.5	61.5	64.0	54.6
	CAN	57.7	57.6	61.1	55.9	59.9
	PS1	59.9	60.5	57.9	61.3	63.2
	PS2	58.7	NA*	63.9	63.1	61.4
	PS3	59.3	63.7	56.3	61.0	60.4
<b>Rosso</b>	BAA	27.5	38.4	32.0	25.0	26.5
	BAB	30.0	27.9	44.3	29.3	26.0
	CAN	28.0	26.5	28.7	30.9	25.3
	PS1	29.1	33.3	31.3	29.8	30.1
	PS2	38.1	32.1	25.4	28.6	31.6
	PS3	29.0	45.9	31.7	28.9	43.0

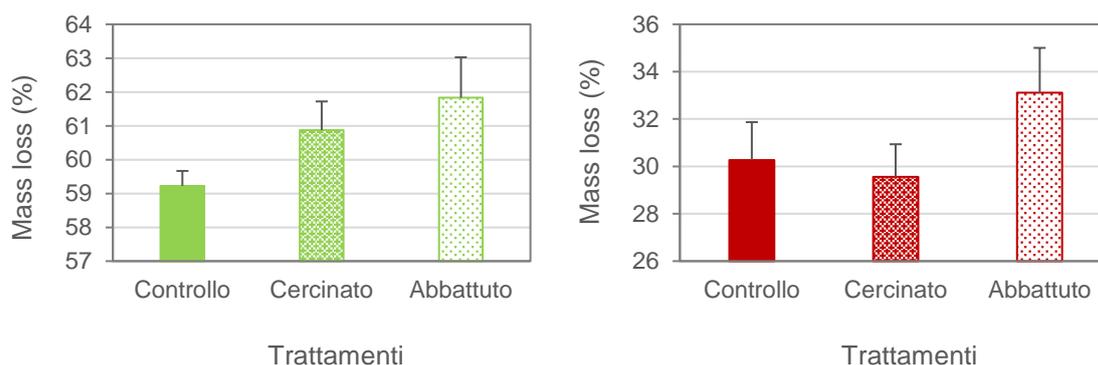
**TABELLA 2.3.2-6. MEDIA DELLA MASS LOSS DELLA LETTIERA STANDARD COSTITUITA DALLE BUSTINE DI TÈ VERDE E ROSSO NEI DIVERSI TRATTAMENTI. \*PER BA IN PS2 IL VALORE È ASSENTE (NA = NOT AVAILABLE) POICHÉ ENTRAMBE LE BUSTINE DI TÈ ERANO ROTTE, QUINDI IL NUMERO DI REPLICHE USATE NELL'ANALISI PER BA È PARI A 5 ANZICHÉ 6.**

Dopo 3 mesi di incubazione il tè verde, proxy di decomposizione della lettiera di alta qualità (i.e. le foglie), ha perso circa il 61% della massa iniziale e il tè rosso, proxy di decomposizione della lettiera di bassa qualità (i.e. legno), ha perso circa il 31% della massa iniziale (Fig. 2.3.2-4). I dati di mass loss sono coerenti con i dati disponibili in letteratura per ambienti analoghi, a supporto della qualità dei dati raccolti.



**FIGURA 2.3.2-4. MASS LOSS (%) ± ERRORE STANDARD DELLE BUSTINE DI TÈ VERDE E DI TÈ ROSSO DOPO 3 MESI DAL LORO POSIZIONAMENTO IN BOSCO.**

L'ipotesi sperimentale prevede che la velocità della decomposizione sia più elevata nei trattamenti di abbattimento perché, in teoria, se il suolo è più esposto al sole dovrebbe diminuire l'umidità e ridurre l'attività dei microorganismi. In particolare, questo dovrebbe essere più evidente nel tè verde (che simula le foglie) che è più facilmente trasformabile dai microorganismi. Per questa ragione non ci dovrebbe essere alcuna differenza tra buche abbattute e corone abbattute né tra buche cercinate e corone cercinate che, in teoria, dovrebbero essere molto simili ai controlli. Sulla base di questo ragionamento l'analisi statistica effettuata ha testato la differenza tra controlli, trattamenti di abbattimento e trattamenti di cercinatura (Fig. 2.3.2-5).



**FIGURA 2.3.2-5. MASS LOSS (%) ± ERRORE STANDARD DEL TÈ VERDE E DEL TÈ ROSSO NEI TRATTAMENTI DI ABBATTIMENTO, CERCINATURA E CONTROLLO.**

I risultati dell'analisi statistica non evidenziano alcun effetto dei trattamenti sulla decomposizione del tè rosso ( $F_{2,27}=1.180$ ;  $P=0.322$ ). Per il tè verde l'analisi statistica mostra effetti significativi dei trattamenti ( $F_{2,21}=3.56$ ;  $P=0.046$ ) che, ad un'analisi più approfondita, mediante il test post-hoc di Tukey, si rivelano dovuti ad una differenza marginalmente significativa tra decomposizione negli stand di controllo e in quelli in cui le piante sono state abbattute ( $P=0.077$ ). Il tasso di decomposizione nei trattamenti di abbattimento è maggiore rispetto ai controlli, ma non è stato rilevabile alcun vantaggio nei trattamenti di cercinatura che non sono

significativamente diversi né dai controlli né dagli abbattimenti. In sintesi, la decomposizione della lettiera di bassa qualità (i.e. legno) dopo 90 giorni non sembra essere condizionata dai trattamenti mentre la decomposizione della lettiera di alta qualità (i.e. foglie) sembra essere leggermente più veloce, in particolare laddove è stato effettuato l'abbattimento delle piante. I dati sono interessanti, ma per consolidarne la robustezza sarebbe necessario effettuare ulteriori esperimenti.

### 2.3.2.1.2.3 Bibliografia

Djukic I., Kepfer-Rojas S., Schmidt I.K., Larsen K.S., Beier C., Berg B., Verheyen K., Caliman A., Paquette A., Gutiérrez-Girón A., Humber A., Valdecantos A., Petraglia A., Alexander H., Augustaitis A., Saillard A., Fernández A.C.R., Sousa A.I., Lillebø A.I., ... & Tóth Z., 2018. Early stage litter decomposition across biomes. *Science of the Total Environment*, 628–629: 1369–1394.

Keuskamp J.A., Dingemans B.J.J., Lehtinen T., Sarneel J.M. & Hefting M.M., 2013. Tea Bag Index: a novel approach to collect uniform decomposition data across ecosystems. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(11): 1070–1075.

### 2.3.2.2 Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Il primo obiettivo dell'AZIONE 3.2, cioè l'incremento del volume di legno morto nelle foreste appenniniche, è stato raggiunto: 1) i tagli boschivi effettuati (AZIONE 3.1) hanno incrementato il volume di legno morto di circa 572 m<sup>3</sup> e 2) i trattamenti di cercinatura hanno preparato ben 739 piante cercinate, di volume pari a circa 524 m<sup>3</sup>, ad un progressivo indebolimento vegetativo e ad una successiva caduta in bosco secondo ritmi simili a quelli naturali in assenza di gestione.

Il secondo obiettivo, cioè stimare i differenti tassi di decomposizione del legno morto a terra e in piedi, ha fornito risultati molto interessanti. Cercinare le piante avviandole verso la deperienza, ma in modo da non farle cadere a terra subito, potrebbe essere una strategia molto promettente per ridurre la perdita di carbonio dagli stand forestali ed incrementare lo stock di carbonio totale.

Il terzo obiettivo, cioè stimare gli effetti degli abbattimenti sulla perdita di carbonio dai suoli, invece, non ha restituito i risultati ipotizzati. Il metodo utilizzato non è risultato abbastanza sensibile per dimostrare che l'abbattimento aumenta la velocità della decomposizione.

### 2.3.2.3 Personale

UNIPR – UO1				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Raccolta dei campioni sperimentali, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	10	€ 480,00
	Prof. Associato	Raccolta dei campioni sperimentali, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
		Raccolta dei campioni sperimentali, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Tecnico a supporto per gestione prove	Raccolta dei campioni sperimentali, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	856	€ 8.657,58
	Tecnico a supporto per gestione prove	Raccolta dei campioni sperimentali, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	500	€ 4.538,29
<b>Totale</b>				<b>€ 15.307,87</b>

### 2.3.2.4 Trasferte

UNIPR – UO1		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 271,19
	Missioni per attività progettuali	€ 0,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 271,19</b>

### 2.3.3 AZIONE 3.3

Azione	<b>Realizzazione di cataste di legna con diverse tecniche per ridurre il tasso di decomposizione del legno</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> - Stima della decomposizione dei cubi di legno nei diversi trattamenti e analisi dei dati. <b>UO3, UO4, UO5</b> - Realizzazione delle cataste, approvvigionamento di rami di faggio e castagno e realizzazione dei cubi di legno.

#### 2.3.3.1 Descrizione dell'attività e risultati

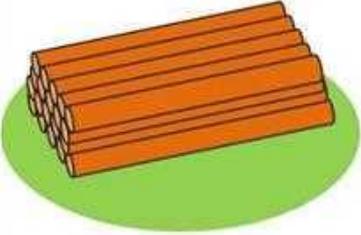
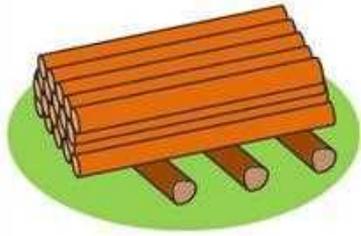
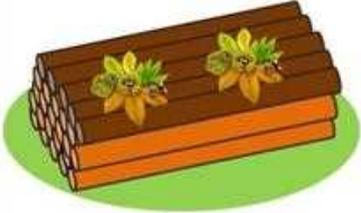
##### 2.3.3.1.1 Introduzione e metodi

Durante le operazioni di esbosco i rami di diametro inferiore a 5-10 cm vengono di solito lasciati in bosco e, per favorire la loro decomposizione, non vengono accatastati.

L'AZIONE 3.3 è finalizzata alla sperimentazione di tecniche di accatastamento e soluzioni innovative che diminuiscano il tasso di decomposizione del legno per incrementare il tempo di residenza del carbonio in bosco.

L'azione è stata sviluppata in tutti gli stand (6) in cui si sono svolte le AZIONI 3.1 e 3.2. In ciascuno stand sono state realizzate 12 cataste, 3 per ciascuno dei 4 tipi illustrati e descritti nella Tabella 2.3.3-1. In ciascuno dei 6 stand sono state costruite 3 cataste per ciascun tipo/trattamento (3 x 4 tipi = 12) per un totale di 12 cataste x 6 stand = 72 cataste. All'interno di ciascuna catasta sono stati posizionati 4 cubi di legno di faggio di 10 cm di spigolo (Fig. 2.3.2-1) ottenuti con la stessa procedura spiegata nell'AZIONE 3.2. All'inizio dell'esperimento si prevedeva di posizionare i cubi tutti nello stesso periodo e di recuperarli dopo 6, 12 e 24 mesi in tutti gli stand. Tuttavia alcuni imprevisti logistici hanno reso impossibile il posizionamento contemporaneo di tutti i cubi, quindi le cataste sono state costruite nel mese di novembre 2020 nei tre stand della zona di Prato Spilla e nel mese di maggio nei restanti tre stand della zona di Lagdei-Lagoni.

Successivamente è stato deciso di prelevare i cubi in tempi diversi rispetto alle previsioni aumentando il periodo massimo di permanenza nel bosco e includendo anche due prelievi a 30 e 36 mesi dal posizionamento

<b>Tipo di catasta</b>	<b>Motivazione</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Schema grafico</b>
<b>CONTROLLO</b> <b>Cataste appoggiate direttamente sul suolo</b>	Queste cataste costituiscono i controlli sperimentali per verificare l'effetto sulla decomposizione del legno accatastato in modo alternativo a quello classico.	Queste cataste, a forma di cubo di 1.1 m di spigolo, sono costituite interamente da rami di faggio di diametro compreso tra 5 e 10 cm e sono posizionate a diretto contatto con il suolo	
<b>SOLLEVATA</b> <b>Cataste isolate dall'umidità del suolo</b>	Negli ambienti forestali la decomposizione è più veloce all'aumentare dell'umidità. Allontanando le cataste dal suolo è possibile ridurre l'umidità e, dunque, i tassi di decomposizione del legno accatastato.	Queste cataste, a forma di cubo con spigolo di 1.1 m, sono costituite interamente da rami di faggio di diametro compreso tra 5 e 10 cm. Questi sono appoggiati su 3 tronchi paralleli di 20 cm di diametro e distanti tra di loro circa 20 cm.	
<b>CASTAGNO</b> <b>Cataste arricchite con 10 cm di rami di Castagno</b>	Il castagno produce un legno ricco di tannini che lo rendono recalcitrante alla decomposizione. I tannini vengono rilasciati nell'ambiente quando il legno di castagno viene tagliato e si inumidisce. I tannini così rilasciati dovrebbero impregnare il legno di faggio e rallentarne la decomposizione.	Queste cataste, a forma di cubo di 1.1 m di spigolo, sono costituite in parte (1 m di altezza) da rami di faggio di diametro compreso tra 5 e 10 cm e da uno strato di 10 cm di rami di castagno (1 m di faggio + 10 cm di castagno).	
<b>CASTAGNO</b> <b>Cataste arricchite con 20 cm di rami di castagno</b>	Come sopra.	In questo caso lo strato di rami di castagno è alto 20 cm (90 cm di faggio + 20 cm di castagno).	

**TABELLA 2.3.3-1. DESCRIZIONE DELLE DIVERSE CATASTE REALIZZATE IN CIASCUNO DEI 6 STAND FORESTALI INDIVIDUATI.**

. Nella Tabella 2.3.3-2 sono riportate le date di posizionamento e di prelievo dei cubi nelle cataste di legno.

Stand	Posizionamento	Recupero dei cubi nelle CATASTE					
		6 mesi	12 mesi	18 mesi	24 mesi	30 mesi	36 mesi
<b>BAA</b>	01/06/2021	NA	15/06/2022	NA	20/06/2023	24/11/2023	NA
<b>BAB</b>	01/06/2021	NA	15/06/2022	NA	20/06/2023	24/11/2023	NA
<b>CAN</b>	01/06/2021	NA	15/06/2022	NA	20/06/2023	24/11/2023	NA
<b>PS1</b>	27/11/2020	27/05/2021	03/12/2021	NA	NA	NA	24/11/2023
<b>PS2</b>	27/11/2020	27/05/2021	03/12/2021	NA	NA	NA	24/11/2023
<b>PS3</b>	01/12/2020	27/05/2021	03/12/2021	NA	NA	NA	24/11/2023

**TABELLA 2.3.3-2. DATA DI POSIZIONAMENTO E DI RECUPERO DEI CUBI DI LEGNO DI FAGGIO IN CIASCUNO DEGLI STAND SPERIMENTALI.**

In ciascuna delle date di prelievo sono state smontate 4 cataste per ciascun sito, una per ciascun trattamento. I cubi sono stati portati in laboratorio dove, dopo essere stati ripuliti dai residui di foglie e suolo, sono stati seccati in stufa a 105 °C fino alla stabilizzazione del peso (circa 6 giorni) e pesati. Per **stimare il tasso di decomposizione** del legno il peso dei cubi prelevati è stato confrontato con il **peso secco dei cubi al tempo 0**, corrispondente al momento dell'inserimento dei cubi in bosco. Il **peso secco dei cubi al tempo 0** è stato stimato pesando tutti i cubi al tempo 0 (peso "umido", che include l'acqua contenuta in ciascun cubo) e togliendo da ciascuno dei pesi il peso del contenuto medio di acqua di una serie di 10 cubi per ogni set di cubi posti in campo per ciascuno stand (10 cubi per 6 stand = 60 cubi) ottenuto dopo averli seccati in stufa a 105 °C fino alla stabilizzazione del peso. Il contenuto di acqua medio dei 10 cubi per ogni set fornisce la quantità di acqua presente nei cubi prima di entrare in bosco e consente di calcolare il **peso secco al tempo 0**. La perdita di massa in percentuale dei cubi (*mass loss*, ML) in ciascuna data di prelievo è stata calcolata mediante la seguente formula:

$$ML = 100 * \frac{M_0 - M_f}{M_0}$$

dove  $M_0$  e  $M_f$  sono rispettivamente la massa anidra (ottenuta dopo essiccamento in stufa), iniziale e finale, di ciascun cubo per ciascuna data di prelievo. La perdita di massa, in percentuale, ci restituisce il tasso di decomposizione del legno nel tempo nei diversi trattamenti.

### 2.3.3.1.2 Risultati

I dati sulla decomposizione dei cubi di legno nelle diverse cataste, utili per capire se le tecniche utilizzate possano contribuire al sequestro del carbonio in foresta, sono stati ricavati dai 288 cubi che sono stati prelevati dopo 6, 12, 24, 30 e 36 mesi dal loro posizionamento (cfr. Tab. 2.3.3-2). I dati di *mass loss* nei diversi tipi di cataste, per i diversi tempi di permanenza in bosco e nei diversi stand sono riportati nella Tabella 2.3.3-3.

Stand	Tempo	Controllo	Sollevata	Castagno	
				Castagno 10%	Castagno 20%
BAA	6	NA	NA	NA	NA
	12	-0.41	0.37	-0.61	-0.41
	24	3.28	0.86	1.25	4.71
	30	3.92	3.09	3.62	3.00
	36	NA	NA	NA	NA
BAB	6	NA	NA	NA	NA
	12	0.92	1.83	1.19	0.92
	24	8.04	4.47	4.30	2.63
	30	5.13	3.14	3.56	5.15
	36	NA	NA	NA	NA
CAN	6	NA	NA	NA	NA
	12	3.32	0.62	0.98	0.14
	24	3.32	1.75	1.13	2.27
	30	5.54	7.04	2.61	3.08
	36	NA	NA	NA	NA
PS1	6	-0.47	-0.87	-2.66	-2.63
	12	-1.28	-1.88	0.18	1.18
	24	NA	NA	NA	NA
	30	NA	NA	NA	NA
	36	1.95	1.60	5.97	1.57
PS2	6	-2.37	-1.00	-2.23	-2.58
	12	-1.19	-0.41	0.15	NA*
	24	NA	NA	NA	NA

Stand	Tempo	Controllo	Sollevata	Castagno	
				Castagno 10%	Castagno 20%
	30	NA	NA	NA	NA
	36	0.56	NA*	2.21	5.31
PS3	6	0.83	-0.60	-2.11	1.01
	12	NA*	1.09	0.94	0.81
	24	NA	NA	NA	NA
	30	NA	NA	NA	NA
	36	3.99	NA*	5.06	3.16

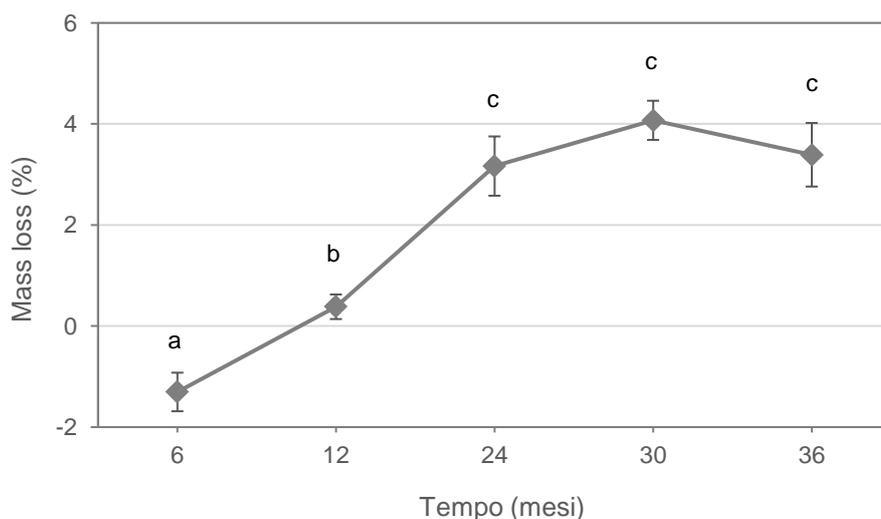
**TABELLA 2.3.3-4. MEDIA DELLA MASS LOSS DEI 4 CUBI IN CIASCUNA DELLE NELLE DIVERSE CATASTE E IN CIASCUNO DEI TEMPI DI PRELIEVO NEI DIVERSI STAND. IN BAA, BAB E CAN NON SONO STATI PRELEVATI I CUBETTI PER IL TEMPO 6 E 36 MESI; IN PS1, PS2 E PS3 NON SONO STATI PRELEVATI I CUBETTI PER IL TEMPO 24 E 30 MESI; \*DATI NON DISPONIBILI A CAUSA DI MANIPOLAZIONE INAPPROPRIATA (VANDALICA) DELLE CATASTE.**

Poiché l'effetto delle cataste ricoperte da castagno è teoricamente simile, le analisi statistiche sono state effettuate considerando i cubi provenienti dalle cataste sormontate da 10 e 20 cm di legno di castagno come se fossero provenienti da un unico trattamento con legno di castagno. I risultati dell'analisi statistica effettuata (Tab. 2.3.3-5) mostrano un effetto significativo del tempo (la decomposizione aumenta nel corso del tempo), ma nessun effetto dei diversi tipi di cataste o dell'interazione tra tempo e tipo di cataste.

	numDF	denDF	F-value	p-value
Intercetta	1	62	5.238	0.025
Trattamento	ns			
Tempo	4	62	28.160	<0.001
Trattamento x Tempo	ns			

**TABELLA 2.3.3-5. ANALISI STATISTICA DELLA MASS LOSS (%) DEI CUBETTI NEI DIVERSI TIPI DI CATASTE (TRATTAMENTO), RISPETTO AL TEMPO DI INCUBAZIONE (TEMPO) ED EFFETTI DELL'INTERAZIONE TRA I DUE TRATTAMENTI. LA DICITURA "NS" SIGNIFICA "NON SIGNIFICATIVO" (P>0.05).**

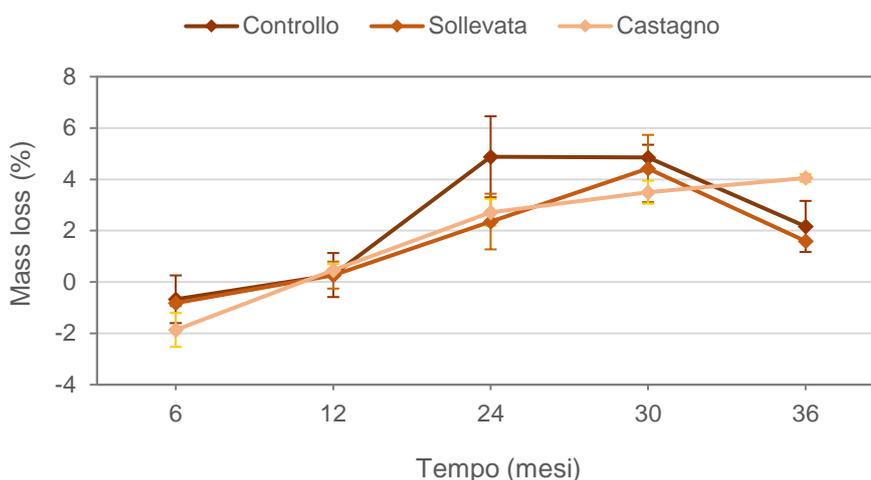
La *mass loss* (%) aumenta nel corso del tempo, come prevedibile. Dopo una repentina perdita di massa nei primi 24 mesi, la decomposizione si attesta intorno al 4% di massa persa dopo 30 e 36 mesi bosco (Fig. 2.3.3-1).



**FIGURA 2.3.3-1. MASS LOSS (%) ± ERRORE STANDARD DEI CUBI DI LEGNO DOPO 6, 12, 24, 30 E 36 MESI DI PERMANENZA ALL'INTERNO DELLE CATASTE. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE (P<0.05). IL PRESENTE GRAFICO INCLUDE TUTTI I TRATTAMENTI, SENZA DISTINZIONE DEL TIPO DI CATASTA.**

Il dato relativo ai 30 mesi e ai 36 mesi è relativamente inatteso. Era prevedibile un aumento della perdita di massa anche dopo i 2 anni, ma è probabile che la variabilità del peso dei cubi e dell'ambiente di decomposizione possa aver aumentato la varianza della *mass loss* contribuendo a diminuire la sensibilità del metodo utilizzato.

Nonostante l'ipotesi di lavoro fosse promettente, i dati sperimentali non sembrano confermare che la velocità di decomposizione del legno di faggio sia influenzata dalla modalità di costruzione delle cataste (Fig. 2.3.3-6).



**FIGURA 2.3.3-6. MASS LOSS (%) ± ERRORE STANDARD DEI CUBI DI LEGNO DOPO 6, 12, 24, 30 E 36 MESI DI PERMANENZA NEI DIVERSI TIPI DI CATASTE. L'ANALISI STATISTICA (TAB. 2.3.3-5) NON HA MOSTRATO ALCUNA DIFFERENZA TRA LE DIVERSE CATASTE NÉ DELL'INTERAZIONE TRA TEMPO E TIPO DI CATASTE.**

Come si dimostrerà nell'AZIONE 3.4, se il legno di faggio viene arricchito con i tannini la velocità di decomposizione diminuisce, tuttavia i cubi di legno di faggio posizionati nelle cataste ricoperte dal legno di castagno non sembrano essersi decomposti più lentamente rispetto agli altri. I motivi possono essere diversi. Innanzitutto, i tannini dilavati dal legno di castagno potrebbero non aver raggiunto o impregnato il legno di faggio a sufficienza, non rendendolo più refrattario alla decomposizione. Inoltre, la variabilità del peso dei cubi potrebbe aver mascherato effetti piccoli e variabili dei tannini sulla velocità della decomposizione. L'esperimento potrebbe, in futuro, essere realizzato con una replicazione maggiore e su tempi più lunghi, tuttavia l'effetto del castagno sembra, alla luce di questo esperimento, troppo piccolo per essere ritenuto applicabile in modo sistematico per aumentare il sequestro del carbonio in foresta.

Tuttavia è interessante notare come i cubi all'interno delle cataste hanno esibito, dopo 24 mesi, valori di *mass loss* simili a quelli registrati per i cubi posizionati sulle cataste nell'AZIONE 3.2. **Tale risultato evidenzia come l'accatastamento dei rami di faggio in bosco a seguito dei tagli possa rivelarsi una buona pratica per incrementare il tempo di residenza del C in foresta.**

### 2.3.3.2 Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

Il presente esperimento, per quanto teoricamente promettente e realizzato in modo tecnicamente corretto, non ha sortito gli effetti sperati, infatti la decomposizione del legno nelle diverse tipologie di cataste è stata molto simile. Le diverse tipologie di cataste (sollevate da terra o ricoperte da rami di castagno) non hanno rallentato la decomposizione dei cubi di legno quindi le tecniche di accatastamento sperimentate non presentano particolari vantaggi rispetto alla normale tecnica di accatastamento nell'ottica di favorire il sequestro del carbonio in foresta. Nonostante l'esperimento non abbia mostrato effetti migliorativi delle

diverse tipologie di cataste, la decomposizione del legno di faggio accatastato risulta comunque più lenta rispetto a quella del legno di faggio appoggiato a terra (cfr. AZIONE 3.2). Tale risultato evidenzia come l'accatastamento dei rami di faggio in bosco a seguito dei tagli possa rivelarsi una buona pratica per incrementare il tempo di residenza del C in foresta.

Rispetto al piano originale, le cataste a prisma triangolare non sono state realizzate in quanto sono state ritenute, dai partner esperti di lavori forestali, di difficile realizzazione pratica e troppo laboriose. In compenso sono state realizzate 18 cataste per tipo e non 15, come previsto, per aumentare la replicazione e ottenere dati più affidabili.

### 2.3.3.3 Personale

UNIPR – UO1				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Preparazione dei campioni, raccolta del materiale sperimentale, analisi dei dati, redazione della relazione	10	€ 480,00
	f. Associato	Preparazione dei campioni, raccolta del materiale sperimentale, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	ociato	Preparazione dei campioni, raccolta del materiale sperimentale, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Tecnico a supporto per gestione prove	Preparazione dei campioni, raccolta del materiale sperimentale, analisi dei dati, redazione della relazione	503	€ 4.561,71
<b>Totale</b>			<b>547</b>	<b>€ 6.673,71</b>

### 2.3.3.4 Trasferte

UNIPR – UO1		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 219,26
	Missioni per attività progettuali	€ 0,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 219,26</b>

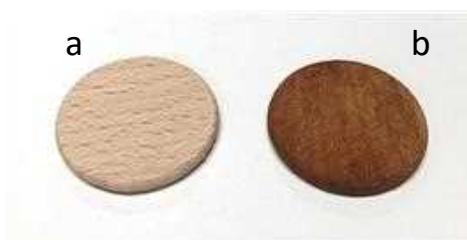
## 2.3.4 AZIONE 3.4

Azione	<b>Realizzazione di pellet con legno di faggio e castagno per rallentare la decomposizione del faggio</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> – Preparazione delle litter bags, posizionamento e stima della velocità di decomposizione dei pellet, analisi dei dati e sintesi dei risultati. <b>UO3, UO4, UO5</b> - Realizzazione dei pellet.

### 2.3.4.1 Descrizione attività

#### 2.3.4.1.1 Introduzione e metodi

Il castagno produce un legno naturalmente ricco di tannini che conferiscono al materiale una spiccata resistenza alla decomposizione. L'applicazione di tronchi di castagno sopra le cataste di legno temporaneamente abbandonate in bosco è un metodo tradizionale per preservare per lungo tempo il legname da ardere per lunghi periodi. Al fine di valutare se i tannini rilasciati dal castagno possano effettivamente rallentare la decomposizione del legname abbandonato in bosco (utilizzato qui come strategia per aumentare il sequestro di carbonio), è stato condotto uno studio sull'effetto dell'arricchimento di tannini sulla decomposizione del legno di faggio. A tale scopo, 48 campioni di legno di faggio (con diametro di 3 cm e spessore di 2 mm), sono stati trattati con una soluzione acquosa contenente tannini alla concentrazione del 5% (Fig. 2.3.4-1). Data l'assenza di informazioni sulla reale entità del rilascio di tannini da parte del legno morto di castagno e del noto contenuto di tannini nel legno di castagno (fino al 27%), abbiamo considerato questa concentrazione come potenzialmente plausibile.



**FIGURA 2.3.4-1. A. DISCHI DI LEGNO DI FAGGIO PRIMA (A) E DOPO (B) IL TRATTAMENTO CON UNA SOLUZIONE DI ACIDO TANNICO AL 5%.**

I campioni sono stati trattati per quattro giorni con una soluzione al 5% di acido tannico, mentre i controlli (sempre 48 campioni) sono stati trattati con acqua. Al termine dell'esposizione i campioni sono stati tamponati con carta assorbente e successivamente asciugati in stufa a 40 °C fino alla stabilizzazione della massa (g). I campioni sono stati poi inseriti all'interno di bustine da tè in nylon (diametro del foro  $\approx 250 \mu\text{m}$ ) etichettate e chiuse all'estremità (Fig. 2.3.4-2). Successivamente, alla fine di aprile 2023, le bustine sono state posizionate in sei plot di 1 m<sup>2</sup> preparati nei pressi della Località Cancelli (Lagdei), vicino a uno degli stand sperimentali selezionati nell'ambito dell'AZIONE 3.1 (CAN).



**FIGURA 2.3.4-2. DISCO DI FAGGIO TRATTATO CON UNA SOLUZIONE DI ACIDO TANNICO AL 5% E INSERITO IN UNA BUSTINA DI TÈ.**

Al fine di valutare l'effetto dei tannini sulla decomposizione del legno a diverse profondità dal suolo i campioni (trattati e non) sono stati esposti sia tra il suolo e lo strato di lettiera (simulazione di legno caduto recentemente al suolo) sia a 5 cm dalla superficie (simulazione di legno meno recente) (Fig. 2.3.4-3). Ciascun plot (1 m<sup>2</sup>) è stato dotato di un totale di 16 campioni (8 provenienti dal trattamento con il 5% di tannino e 8 controlli), di cui 8 (4 trattati e 4 controlli) posizionati tra la lettiera e il suolo e 8 (sempre 4 trattati e 4 controlli) posizionati a -5 cm dalla superficie. Per evitare la perdita dei campioni, ogni bustina è stata fissata al suolo con uno stecco in legno, strategia che ha anche permesso il facile ritrovamento dei campioni nel tempo.



**FIGURA 2.3.4-3. DISCHI DI FAGGIO ESPOSTI SIA SUL SUOLO FORESTALE CHE A -5 CM DALLA SUA SUPERFICIE. DOPO AVER POSIZIONATI I CAMPIONI LE AREE SONO STATE RICOPERTE USANDO LA LETTIERA PRECEDENTEMENTE RIMOSSA.**

Ogni plot è stato dunque corredato di 4 campioni di legno di faggio trattati con la soluzione di tannini al 5% sepolti fra lo strato di lettiera e il suolo, 4 campioni trattati con tannini al 5% sepolti a una profondità di -5 cm dalla superficie del suolo e 8 campioni di controllo sepolti nelle stesse modalità di quelli trattati. Ciascun plot è stato posizionato a non meno di 10 m di distanza l'uno dall'altro e su terreno non soggetto a deflusso rapido della pioggia durante i periodi di massima piovosità. Prima di ogni operazione di trapianto la lettiera è stata attentamente rimossa e successivamente riposizionata; per proteggere l'area sperimentale dal disturbo operato dagli animali selvatici ciascun plot è stato coperto da una griglia metallica (maglie da 10 x 10 cm) posta a 10 cm dal suolo, utilizzando, come supporto, dei cubi di faggio (Fig. 2.3.4-4).



**FIGURA 2.3.4-4. PREPARAZIONE DEL PLOT PER IL POSIZIONAMENTO DEI CAMPIONI (SINISTRA); PLOT RICOPERTO DI LETTIERA E PROTETTO DALLA GRIGLIA METALLICA (DESTRA).**

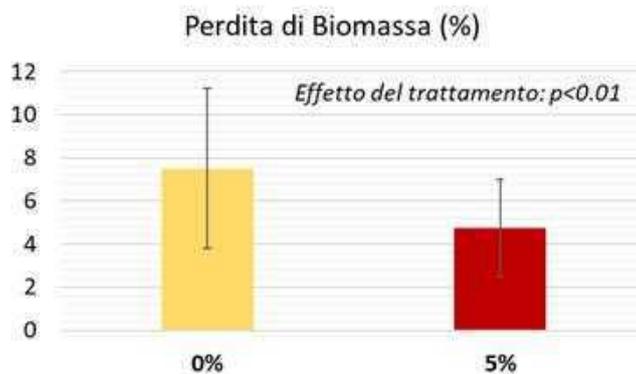
L'esperimento è stato concepito per studiare gli effetti delle applicazioni di tannini sul legno di faggio nell'arco di un anno o più. In particolare, la ricerca è stata progettata per valutare l'effetto delle applicazioni di tannino dopo 3, 6, 12 e 24 mesi dall'esposizione dei campioni al suolo. Per ragioni di praticità, questa relazione presenterà solo i risultati relativi ai primi 3 (T1) e ai successivi 6 mesi (T2) di trattamento/esposizione. Al termine dei primi 3 e 6 mesi di trattamento, sono stati prelevati quattro campioni di legno di faggio da ciascuno dei sei plot, di cui due trattati con tannino e due controlli. Uno dei campioni di ciascuna coppia corrispondeva a un campione seppellito tra la lettiera e il suolo, mentre uno era posizionato a -5 cm dalla superficie del suolo. Gli altri campioni sono stati lasciati sul terreno per i successivi prelievi. In laboratorio i campioni sono stati essiccati all'aria a 40 °C e successivamente spazzolati con una spazzola morbida per rimuovere le particelle di suolo grossolane attaccate alla loro superficie. Dopo questa procedura i campioni sono stati essiccati nuovamente in stufa (40 °C) fino alla stabilizzazione del peso. Si sottolinea che il numero elevato di campioni in ciascun plot è stato mantenuto per evitare perdite o scolorimento dell'identificativo dei campioni, che avrebbero potuto ridurre il numero di repliche. I risultati sono stati espressi come percentuale di perdita di biomassa, come indicato dalla formula:

$$\text{Perdita di biomassa \%} = \frac{[\text{massa finale (g)} - \text{massa iniziale (g)}]}{\text{massa finale (g)}} \times 100$$

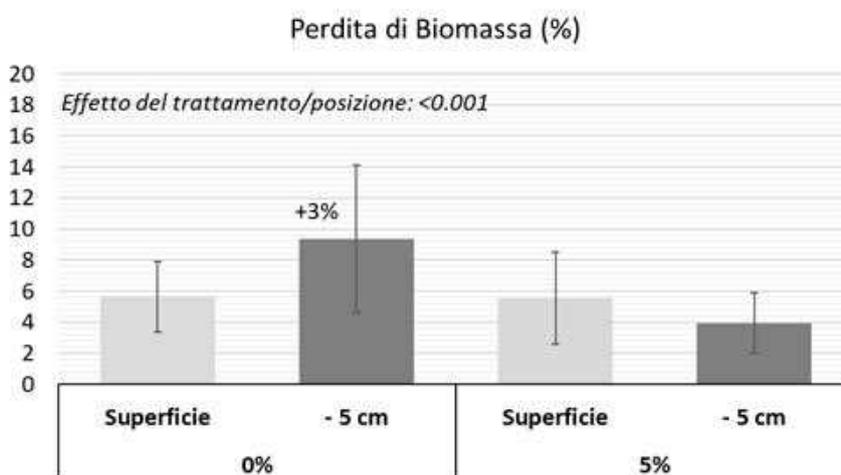
Data la mancanza di un effetto interattivo fra il trattamento (presenza o assenza di tannino) e il tempo (T1 e T2), l'analisi statistica è stata condotta aggregando per ciascun trattamento e metodologia di esposizione (profondità di sepoltura) i dati dei due tempi.

### **2.3.4.1.1 Risultati**

L'analisi statistica ha mostrato che i trattamenti con acido tannico hanno ridotto la decomposizione dei campioni di faggio di circa il 3% rispetto ai controlli (Fig. 2.3.4-5), soprattutto nei campioni posizionati a -5 cm sotto il livello del suolo (Fig. 2.3.4-6). Questi risultati indicano che il trattamento con tannini è stato in grado di ridurre la decomposizione dei campioni all'interno del suolo rispetto a quelli esposti in superficie, risultato in netto contrasto con quanto osservato per i controlli. È ben noto, infatti, che la decomposizione è generalmente più accentuata nel suolo rispetto ai campioni esposti all'aria.



**FIGURA 2.3.4-5. PERDITA DI BIOMASSA SECCA (MEDIA  $\pm$  DEVIAZIONE STANDARD) NEI CAMPIONI DI FAGGIO TRATTATI (5%) E NON TRATTATI (CONTROLLO, 0% DI ACIDO TANNICO) CON ACIDO TANNICO DOPO 6 MESI AD ENTRAMBE LE PROFONDITÀ. L'ANALISI STATISTICA HA EVIDENZIATO DIFFERENZE SIGNIFICATIVE TRA I DUE TRATTAMENTI ( $P<0.01$ ).**



**FIGURA 2.3.4-6. PERDITA DI BIOMASSA SECCA (MEDIA  $\pm$  DEVIAZIONE STANDARD) NEI CAMPIONI DI FAGGIO TRATTATI (5%) E NON TRATTATI (CONTROLLO, 0% DI ACIDO TANNICO) CON ACIDO TANNICO A SEGUITO DELLA LORO ESPOSIZIONE SULLA SUPERFICIE DEL SUOLO E ALLA PROFONDITÀ DI 5 CM PER 6 MESI. L'ANALISI STATISTICA HA EVIDENZIATO UN EFFETTO SIGNIFICATIVO DELL'INTERAZIONE TRATTAMENTO  $\times$  POSIZIONE ( $P<0.001$ ) SULLA DECOMPOSIZIONE, EVIDENZIANDO UNA PERDITA DI MASSA INFERIORE RISPETTO AL CONTROLLO PER I DISCHI POSIZIONATI A -5 CM DI PROFONDITÀ.**

### 2.3.4.2 Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

L'obiettivo principale di questa azione era valutare l'effetto dei tannini contenuti nel castagno sulla velocità di decomposizione del legno di faggio. L'idea originaria era quella di realizzare dei pellet da legno di faggio e castagno, ma l'operazione si è rivelata meno semplice del previsto e, dopo alcuni fallimenti, il tema di ricerca ha optato per testare l'effetto dei tannini con un metodo più diretto, cioè applicando direttamente l'acido tannico al legno di faggio. I dischi di faggio sono stati imbevuti nell'acido tannico, questa volta, il metodo ha funzionato in modo molto efficace. Infatti, l'esperimento ha dimostrato che basta somministrare piccole concentrazioni di acido tannico (i.e. il 5%) per ridurre la decomposizione del 30% circa in 6 mesi. I risultati di questa azione mostrano come, in teoria, l'applicazione di legno di castagno sopra le cataste di faggio potrebbe essere una buona strategia per rallentare la decomposizione. Tuttavia i risultati dell'AZIONE 3.3 non sembrano confermare quanto visto con i dischi di faggio imbevuti direttamente con l'acido tannico. Questo potrebbe dipendere, come accennato nell'AZIONE 3.3, dal fatto che l'acido tannico dilavato dal legno di castagno potrebbe aver raggiunto i cubi di faggio in modo limitato o insufficiente per determinare un effetto misurabile mediante il peso secco dei cubi di faggio. Nonostante i risultati dell'AZIONE 3.3 non indichino che le cataste con strati di castagno si decompongono più lentamente, i risultati dell'AZIONE 3.4 confermano l'ipotesi, cioè che l'acido tannico rende il legno di faggio più refrattario alla decomposizione.

### 2.3.4.3 Personale

UNIPR – UO1				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Preparazione del materiale sperimentale, posizionamento dei campioni, raccolta dei campioni, redazione della relazione	10	€ 480,00
	Prof. Associato	Preparazione del materiale sperimentale, posizionamento dei campioni, raccolta dei campioni, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Prof. Associato	Preparazione del materiale sperimentale, posizionamento dei campioni, raccolta dei campioni, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Tecnico a supporto per gestione prove	Preparazione del materiale sperimentale, posizionamento dei campioni, raccolta dei campioni, analisi dei dati, redazione della relazione	358	€ 3.250,00
<b>Totale</b>			<b>402</b>	<b>€ 5.362,00</b>

COOP ALPINA – UO5				
Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Visite guidate	17	€ 331,50
	Operaio Forestale	Visite guidate	17	€ 331,50
<b>Totale</b>			<b>34</b>	<b>€ 663,00</b>

### 2.3.4.4 Trasferte

UNIPR – UO1		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 358,20
	Missioni per attività progettuali	€ 0,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 358,20</b>

## 2.3.5 AZIONE 3.5

Azione	<b>Utilizzo del biochar per incrementare il sequestro di C nei sistemi forestali. Effetti del biochar sulla germinazione e la sopravvivenza di faggio e cerro</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> - Individuazione degli stand sperimentali, stima del tasso di decomposizione, esperimenti di germinazione e di crescita, analisi dei dati e sintesi dei risultati. <b>UO3, UO4 e UO5</b> – Approvvigionamento del biochar, realizzazione delle buche, rimescolamento del suolo e del biochar e riempimento delle buche.

### 2.3.5.1 Descrizione attività

#### 2.3.5.1.1 Attività 1 – Utilizzo del biochar per incrementare il sequestro di C nei sistemi forestali

##### 2.3.5.1.1.1 Introduzione e metodi

In questa azione il suolo delle faggete è stato arricchito con biochar in diverse percentuali e con diverse modalità (tramite spaglio e miscelamento) per testare l'effetto di questo ammendante sul tasso di decomposizione della lettiera. Con il termine "spaglio" si intende la tecnica di distribuire, su un suolo inalterato, del suolo già ammendato con biochar. Invece, per "miscelamento" si intende la tecnica di rimuovere il suolo, ammendarlo con biochar e successivamente riporre il mix ottenuto nell'area da cui è stato prelevato il suolo stesso. Le due diverse tecniche sono state confrontate allo scopo di determinare quale metodologia sia più idonea per l'applicazione del biochar al suolo forestale senza alterare significativamente il processo di decomposizione della lettiera, che rappresenta uno dei principali pool di carbonio in tutti i suoli forestali. Per fare questo all'inizio di giugno 2021, in località Cancelli di Lagdei, nei pressi di uno degli stand sperimentali selezionati per le azioni descritte sopra, sono state individuate 35 aree (plot) di 1 m<sup>2</sup> che sono state utilizzate per effettuare l'esperimento di arricchimento con biochar secondo i trattamenti illustrati nella Tabella 2.3.5-1. I campioni di lettiera standard collocati sotto lo strato di ammendamento con biochar sono stati impiegati come proxy per valutare l'effetto del biochar sulla lettiera situata a profondità maggiori (lettiera più vecchia) rispetto a quella posizionata sul suolo (lettiera giovane).

ID	Trattamento	Descrizione	Profondità
C	Controllo	Nessun trattamento	- 8, - 16
CR	Controllo rimaneggiato	Buca con suolo di faggeta rimaneggiato	- 8
BR-10	Biochar miscelato al 10%	Buca con suolo rimaneggiato e miscelato al 10% con biochar	- 8
BR-20	Biochar miscelato al 20%	Buca con suolo rimaneggiato e miscelato al 20% con biochar	- 8
BS-10	Biochar a spaglio al 10%	Suolo + biochar (10%) distribuito a spaglio sulla superficie del suolo	- 8, - 16
BS-20	Biochar a spaglio al 20%	Suolo + biochar (20%) distribuito a spaglio sulla superficie del suolo	- 8, - 16
B-100	Biochar miscelato al 100%	Buca con solo biochar (100%)	- 8

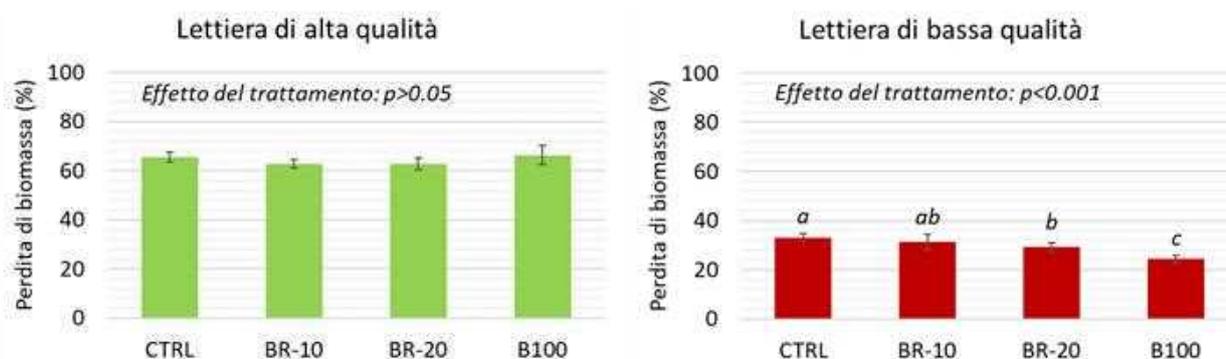
**TABELLA 2.3.5-1. TRATTAMENTI CON CODICE IDENTIFICATIVO (ID), DESCRIZIONE E PROFONDITÀ DI POSIZIONAMENTO DELLE LITTER BAGS; NEI TRATTAMENTI CHE HANNO PREVISTO LO SCAVO DI BUCHE (BR-10, BR-20, B-100 E CR) QUESTE ERANO PROFONDE 20 CM.**

Tutti i trattamenti sono stati replicati 5 volte e distribuiti spazialmente secondo un disegno sperimentale a blocchi. Per valutare gli effetti delle diverse percentuali di arricchimento del biochar e/o modalità di applicazione di questo nei suoli di faggeta sulla velocità di decomposizione della materia organica nel suolo sono stati utilizzati campioni di lettiera costituiti da materiale standard disponibile in commercio (bustine di tè verde e di tè rosso), come spiegato nell'AZIONE 3.2.

Dopo essere state essiccate all'aria, identificate con un codice univoco e pesate per ricavare la massa iniziale di ciascuna bustina, tutte le *tea bags* sono state posizionate *in situ* il 9 giugno 2021 in tutte le repliche di ciascuno dei 7 trattamenti effettuati. In particolare, in ciascun plot sono state utilizzate 2 bustine per ciascun tipo di tè, ad eccezione di un blocco, in cui è stata utilizzata una sola bustina per tipo di tè, incubate alla profondità di -8 cm in 4 trattamenti (i.e. CR, BR-10, BR-20 e B-100) e a -8 cm e -16 cm nei restanti 3 trattamenti – i.e. C, BS-10 e BS-20. Le 192 bustine utilizzate per l'esperimento (96 tè verde e 96 tè rosso) sono state lasciate *in situ* per tutto il periodo estivo e recuperate il 14 settembre 2021, dopo 97 giorni di incubazione. Per monitorare la temperatura durante il periodo di incubazione e valutare eventuali differenze tra i trattamenti sono stati posizionati, in tutti i plot di un blocco, 10 dei sensori di temperatura (HOBO Pendant® Temperature/Light 64K Data Logger), uno per ciascuna profondità di incubazione, che hanno registrato i dati termici con frequenza orario e sono stati prelevati nelle stesse date in cui sono state recuperate le bustine.

### 2.3.5.1.1.2 Risultati

I risultati dell'analisi statistica eseguita sulla lettiera posta all'interno dello strato miscelato con il biochar non hanno mostrato modifiche nella decomposizione della lettiera di alta qualità. Al contrario, hanno evidenziato la capacità del biochar di ridurre la decomposizione della lettiera di bassa qualità rispetto al controllo (Fig. 2.3.5-1), soprattutto a partire dal 20% di ammendamento (BR-20; -4%). In seguito all'ammendamento con il 100% di biochar (BR-100), la decomposizione della lettiera di bassa qualità è stata ulteriormente ridotta (-5% rispetto a BC-20).



**FIGURA 2.3.5-1. PERDITA DI BIOMASSA SECCA (MEDIA ± DEVIATIONE STANDARD) NEI CAMPIONI DI LETTIERA DI ALTA E BASSA QUALITÀ ESPOSTI ALL'INTERNO DI SUOLO AMMENDATO CON BIOCHAR ALLA PERCENTUALE DELLO 0% (CTRL=CONTROLLO; SOLO SUOLO), 10% (BR-10), AL 20% (BR-20) E AL 100% (BR-100). STATISTICA: P<0.05 INDICA DIFFERENZE SIGNIFICATIVE; P<0.01 INDICA DIFFERENZE MOLTO SIGNIFICATIVE; P<0.001 INDICA DIFFERENZE ALTAMENTE SIGNIFICATIVE; P>0.05 INDICA LA MANCANZA DI DIFFERENZE STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVE. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE TRA I TRATTAMENTI (P>0.05).**

I risultati dell'analisi statistica condotta sulla lettiera situata sotto lo strato miscelato con il biochar e a contatto con il suolo di faggeta privo di lettiera non hanno mostrato modifiche nella decomposizione della lettiera di alta e bassa qualità (Tab. 2.3.5-2). Coerentemente, nessuna variazione nella decomposizione delle due tipologie di lettiera è stata osservata quando seppellite 8 cm più in profondità (campioni spaglio 16 cm) rispetto allo strato ammendato con biochar.

Lettieria	Trattamento	ID	Perdita di biomassa %	Statistica
Alta qualità	Spaglio (8 cm)	C	59.3 ± 0.9	n.s.
		BS-10	60.7 ± 2.2	n.s.
		BS-20	59.1 ± 2.8	n.s.
	Spaglio (16 cm)	C	60.9 ± 2.5	n.s.
		BS-10	60.7 ± 2.5	n.s.
		BS-20	59.2 ± 4.7	n.s.
Bassa qualità	Spaglio (8 cm)	C	33.1 ± 3.6	n.s.
		BS-10	31.3 ± 3.3	n.s.
		BS-20	29.1 ± 1.5	n.s.
	Spaglio (16 cm)	C	28.0 ± 3.3	n.s.
		BS-10	27.8 ± 4.1	n.s.
		BS-20	26.0 ± 1.2	n.s.

**TABELLA 2.3.5-2. PERDITA DI BIOMASSA SECCA (MEDIA ± DEVIATION STANDARD) NEI CAMPIONI DI LETTIERA DI ALTA E BASSA QUALITÀ ESPOSTI FRA (SPAGLIO 8 CM) E SOTTO (SPAGLIO 16 CM) LO STRATO AMMENDATO CON BIOCHAR. STATISTICA: N.S. = DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE TRA I TRATTAMENTI (P>0.05).**

## 2.3.5.1.2 Attività 2 – Effetti del biochar sulla germinazione e la sopravvivenza di faggio e cerro

### 2.3.5.1.2.1 Introduzione e metodi

Con questa azione si vuole testare l'effetto dell'arricchimento del suolo forestale col biochar sulla germinazione e sulla crescita due specie arboree di interesse forestale: il faggio (*Fagus sylvatica*) e il cerro (*Quercus cerris*).

**L'effetto del biochar sulla germinazione e sulla crescita delle specie arboree** è stato studiato mediante un esperimento che ha avuto luogo presso il Campus dell'Università di Parma (UO1) nel periodo compreso tra ottobre 2020 e ottobre 2021.

All'inizio dell'autunno 2020 sono stati raccolti oltre 500 semi di faggio e 500 semi di cerro da 20 individui diversi in luoghi distanti almeno 500 m uno dall'altro.

Il faggio è stato sottoposto a stratificazione fredda (30 giorni a + 4 °C) e poi seminato, il cerro non è stato sottoposto ad alcuna stratificazione.

In dicembre è stato predisposto l'impianto sperimentale: il suolo di faggeta, prelevato previamente in situ, è stato preparato per simulare 3 tipologie di substrato (trattamenti) con diverse proporzioni in volume di biochar: controllo (100% suolo di faggeta, C), 10% (90% suolo di faggeta e 10% biochar, B10), e 20% (80% suolo di faggeta e 20% biochar, B20).

Una volta terminata la preparazione il terreno è stato inserito in 135 vasi (8 cm x 8 cm x 8 cm di volume pari a 0.3 l) per ciascun trattamento per il faggio e 136 vasi (8 cm x 8 cm x 8 cm di volume pari a 0.3 l) per ciascun trattamento per il cerro. Tra il 5 e l'11 dicembre 2020 in ogni vaso è stato seminato un seme di faggio o di cerro per un totale di 405 semi di faggio e 408 semi di cerro. I vasi sono stati collocati in una serra con temperature non controllate all'interno della quale è stata monitorata costantemente la temperatura dell'aria. Nel corso dell'esperimento il terreno è stato mantenuto costantemente idratato utilizzando acqua distillata applicata 2 volte alla settimana. Il conteggio (*scoring*) dei semi germinati è stato avviato in febbraio, non appena sono state osservate le prime germinazioni. In particolare, le osservazioni hanno avuto inizio a partire dal 16 febbraio 2021 e sono state effettuate con frequenza bisettimanale (ogni 3 giorni circa) fino al 31 maggio per *F. sylvatica* (44 date di osservazioni) e fino al 19 maggio per *Q. cerris* (39 date di osservazioni) (Fig. 2.3.5-2). La registrazione del dato di germinazione è stata effettuata al momento dell'osservazione delle foglie cotiledonari emergenti dal terreno.



**FIGURA 2.3.5-2. VASI CON SUOLO NON TRATTATO E MESCOLATO CON BIOCHAR IN DIVERSE PERCENTUALI IN CUI SONO STATI SEMINATI DA POCO I SEMI DI FAGGIO E CERRO (SINISTRA) E IN CUI SONO VISIBILI LE PLANTULE DI FAGGIO E CERRO DOPO LA GERMINAZIONE (DESTRA).**

Lo scoring della germinazione ha consentito di monitorare la germinazione di 100 semi di faggio su 396 totali (9 semi non sono stati ritrovati nei vasi, probabilmente ad opera del disturbo generato dalle lucertole), pari al 25.25% sul totale, e la germinazione di 154 semi di cerro su 354 totali (la riesumazione di tutti i semi non germinati alla fine dell'esperimento ha consentito di escludere dal conteggio ben 54 semi fallati a causa della presenza di parassiti), pari al 43.5% del totale.

Alla fine di maggio sono stati preparati oltre 250 vasi da 10 cm x 10 cm x 17 cm da 1.8 l all'interno dei quali è stato inserito del terreno preparato con le stesse modalità descritte in precedenza, cioè 100% suolo di faggeta (controllo), 90% di suolo di faggeta + 10% di biochar (B10) e 80% di suolo di faggeta + 20% di biochar (B20) (% in volume). Il suolo in questi vasi è stato portato a saturazione idrica e, successivamente, sono stati effettuati i travasi delle piante germinate in serra. Tutti gli individui germinati sono stati travasati nei nuovi vasi più grandi, preparati come spiegato sopra, accertandosi di travasare gli individui nei vasi contenenti lo stesso tipo di suolo all'interno del quale erano germinati. Il travaso è stato necessario per diminuire le limitazioni alla crescita delle radici che avrebbero sofferto nei vasi da 0.3 l.

Le piante così traslocate sono state successivamente monitorate nell'ambito di un secondo esperimento volto a valutare la sopravvivenza, lo sviluppo e le performance fisiologiche delle due specie in presenza di diverse concentrazioni di biochar. Almeno 30 vasi per ciascun trattamento e ciascuna specie sono stati collocati in una cella climatica con temperatura e luce controllati (Fig. 2.3.5-3).



**FIGURA 2.3.5-3. PIANTE DI FAGGIO E CERRO DI CIRCA 2 MESI COLLOCATE NELLA CELLA CLIMATICA.**

A intervalli mensili sono state effettuate misure e conteggi di diversi tratti funzionali caratteristici dello sviluppo vegetativo delle piante (Tab. 2.3.5-3). Di tutti gli individui sono state misurate l'altezza della pianta e la lunghezza della foglia più lunga; inoltre è stato contato il numero di foglie. Per un sottoinsieme di individui, sono state effettuate misure ecofisiologiche per valutare gli effetti del biochar sull'apparato fotosintetico e sulla senescenza dei tessuti fogliari. L'efficienza dell'apparato fotosintetico è stata misurata mediante un fluorimetro (HandyPEA), mentre la senescenza fogliare è stata valutata utilizzando un sensore AtLeaf. Le misurazioni sono state condotte su 12 piante selezionate casualmente per ciascun trattamento, a partire da giugno 2021, con intervalli di un mese fino a ottobre 2021. Entrambi i parametri sono stati valutati sulla stessa pianta.

	Trattamento	Ph, Ll, N	Nf	Atleaf	Fv/Fm
<b>Cerro</b>	C	36	30	36	12
<b>Cerro</b>	B10	36	36	36	12
<b>Cerro</b>	B20	30	30	30	12
<b>Faggio</b>	C	30	22	30	12
<b>Faggio</b>	B10	30	27	30	12
<b>Faggio</b>	B20	31	25	31	12

**TABELLA 2.3.5-3. NUMERO DI INDIVIDUI PER SPECIE E TRATTAMENTO PER I QUALI SONO STATE EFFETTUATE LE MISURE DI TRATTI LEGATI ALLO SVILUPPO VEGETATIVO E DI VARIABILI ECOFISIOLOGICHE LEGATE ALL'APPARATO FOTOSINTETICO E ALLA SENESCENZA. PH = PLANT HEIGHT, ALTEZZA DELL'INDIVIDUO; LI = LUNGHEZZA DELLA FOGLIA PIÙ LUNGA; NF = NUMERO DI FOGLIE; ATLEAF = MISURE DI PROXY DI CONCENTRAZIONE DELLA CLOROFILLA; FV/FM = MISURE DI EFFICIENZA DELL'APPARATO FOTOSINTETICO.**

### 2.3.5.1.2.2 Risultati

L'analisi statistica effettuata tra i semi germinati nei trattamenti non ha messo in evidenza differenze significative di conseguenza sembra che l'arricchimento con biochar non abbia effetti sulla germinazione del faggio e del cerro (Tab. 2.3.5-4). Questo risultato suggerisce come gli ammendamenti testati di biochar non abbiano generato effetti negativi sulla rigenerazione di queste due specie forestali.

Trattamento	Faggio		Cerro	
	% Germinazione ± DS		% Germinazione ± DS	
<b>CTRL</b>	21.5 ± 8.2	n.s.	41.6 ± 19.8	n.s.
<b>B10</b>	26.7 ± 7.8	n.s.	49.3 ± 17.9	n.s.
<b>B20</b>	26.8 ± 11.4	n.s.	39.5 ± 21.8	n.s.

**TABELLA 2.3.5-4. MEDIA ± DEVIAZIONE STANDARD (DS) DELLA PERCENTUALE DI GERMINAZIONE DEI SEMI DI FAGGIO E CERRO NEI TRE TRATTAMENTI C, B10 E B20; N.S. = DIFFERENZE NON SIGNIFICATIVE TRA I TRATTAMENTI.**

Di seguito sono riportati i risultati relativi ai parametri dei diversi tratti funzionali e delle misure ecofisiologiche misurati nelle piante di cerro e faggio durante l'intero periodo sperimentale. Per quanto riguarda i parametri morfologici, l'analisi statistica è stata condotta solo nell'ultimo giorno di misurazione (14 ottobre 2021). Invece, per quanto riguarda i parametri fisiologici, sono stati analizzati statisticamente solo quelli registrati in agosto per il faggio e in luglio per il cerro. Durante questo periodo, infatti, le due diverse specie hanno mostrato i massimi valori di concentrazione di clorofille (misura eseguita tramite AtLeaf). Per quanto riguarda gli effetti del biochar sulla crescita delle piante (Figura 2.3.5-4), gli ammendamenti non hanno modificato né l'altezza né il numero di foglie delle piante di faggio, mentre hanno generato un incremento dell'altezza (+48%) e del numero di foglie (+30%) del cerro a seguito dell'ammendamento al 10%. Gli ammendamenti non hanno avuto effetti nemmeno sulla lunghezza della foglia più lunga del faggio, ma hanno invece incrementato quella del cerro a seguito dell'ammendamento con il 10% di biochar (+14%).

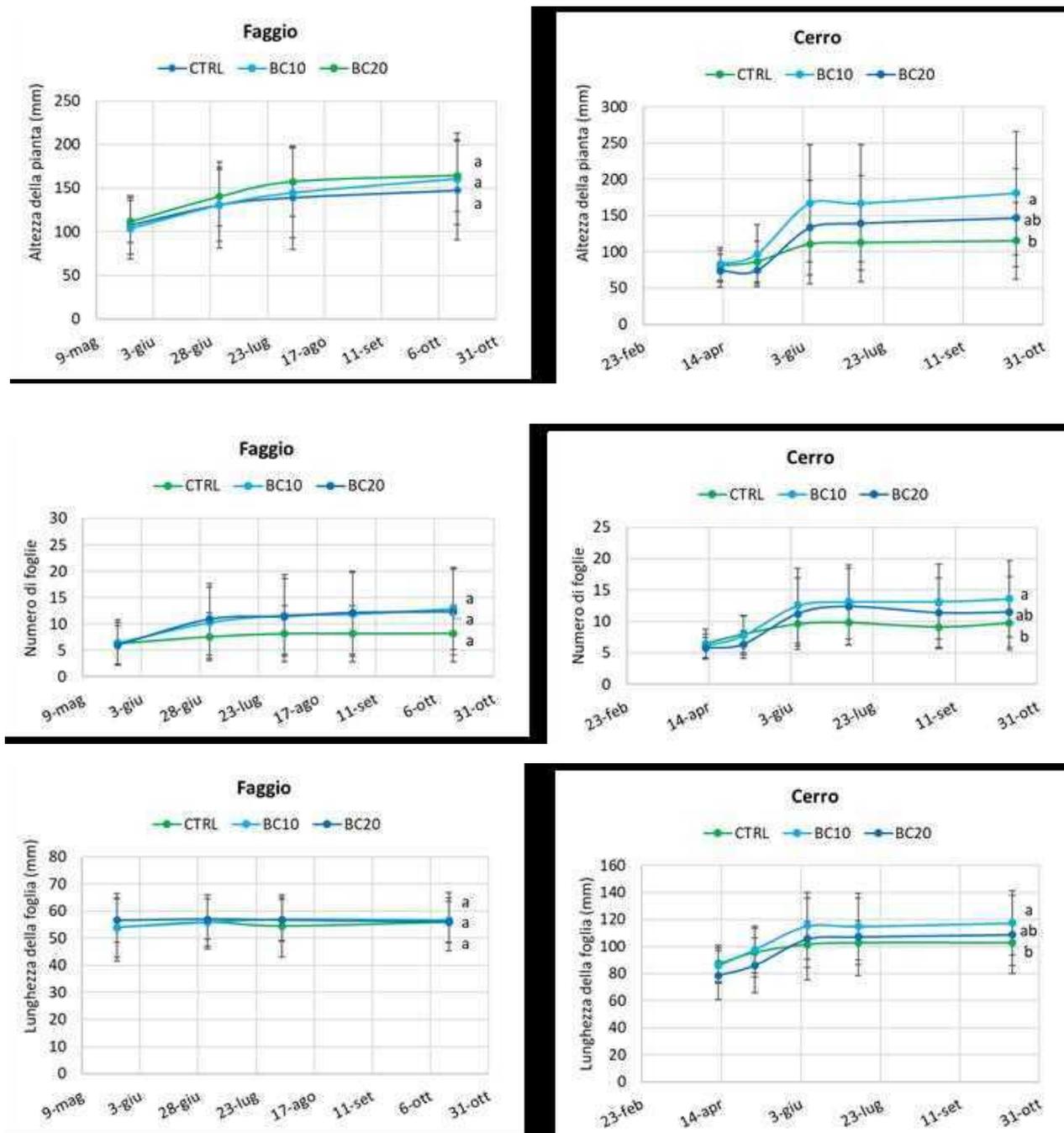


FIGURA 2.3.5-4. ALTEZZA, NUMERO DI FOGLIE E LUNGHEZZA DELLA FOGLIA PIÙ GRANDE DI FAGGIO (*FAGUS SYLVATICA*) E CERRO (*QUERCUS CERRIS*) (MEDIA ± DEVIAZIONE STANDARD) A SEGUITO DELLE APPLICAZIONI DI BIOCHAR SU SUOLO FORESTALE DELL'APPENNINO EMILIANO. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVE FRA TRATTAMENTI ( $P > 0.05$ ).

Gli ammendamenti non hanno influenzato l'efficienza delle piante di faggio e cerro, suggerendo che le applicazioni non hanno generato effetti negativi sull'espressione di questo parametro, spesso utilizzato come indicatore di stress fotosintetico. Per quanto riguarda il contenuto di clorofilla (qui utilizzato come proxy della senescenza fogliare), gli ammendamenti hanno causato un significativo aumento di questo pigmento antenna, indipendentemente dal trattamento (+8%) (Fig. 2.3.5-5). Questo suggerisce che il substrato è stato in grado di generare un effetto benefico sul sistema fotosintetico delle piante ammendate.



FIGURA 2.3.5-5. EFFICIENZA FOTOSINTETICA (FV/FM) E SENESCENZA (ATLEAF) NELLE FOGLIE DI FAGGIO (*FAGUS SYLVATICA*) E CERRO (*QUERCUS CERRIS*) (MEDIA ± ERRORE STANDARD) A SEGUITO DELLE APPLICAZIONI DI BIOCHAR SU SUOLO FORESTALE DELL'APPENNINO EMILIANO. LETTERE UGUALI INDICANO DIFFERENZE NON STATISTICAMENTE SIGNIFICATIVE FRA TRATTAMENTI ( $P > 0.05$ ).

In conclusione, gli ammendamenti con biochar alle percentuali testate non hanno generato un effetto negativo sulla rigenerazione e sulla crescita delle plantule di queste importanti specie arboree.

### 2.3.5.2 Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate

L'aggiunta di biochar nello stand forestale in prossimità della località Cancelli di Lagdei ha incrementato lo stock di carbonio nel suolo delle faggete studiate.

L'esperimento per testare gli effetti dell'arricchimento sul tasso di decomposizione si è svolto con successo dimostrando che il biochar non aumenta la decomposizione della lettiera, ma, anzi, rallenta la decomposizione della lettiera di bassa qualità, cioè della lettiera ricca di lignina che simula materiali legnosi. Analogamente, l'applicazione del biochar non ha avuto effetti negativi sulla germinazione di faggio e cerro, le principali specie legnose che caratterizzano le foreste appenniniche, e non ha avuto effetti negativi sulla crescita delle giovani plantule di faggio e cerro. Anzi, è stato possibile notare come le giovani piante di cerro siano state stimolate dall'applicazione del biochar che ne ha favorito la crescita rispetto alle piante di controllo.

Non sono state ravvisate criticità e non è stato effettuato nessuno scostamento dal piano di lavoro programmato.

### 2.3.5.3 Personale

<b>UNIPR – UO1</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. Associato	Preparazione del materiale vegetale, raccolta dei campioni, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	10	€ 480,00
	Prof. Associato	Preparazione del materiale vegetale, raccolta dei campioni, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	17	€ 816,00
	Prof. Associato	Preparazione del materiale vegetale, raccolta dei campioni, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	23	€ 1.104,00
	Tecnico a supporto e prove	Preparazione del materiale vegetale, raccolta dei campioni, misure, analisi dei dati, redazione della relazione	721	€ 7.292,42
<b>Totale</b>			<b>770,96</b>	<b>€ 9.692,42</b>

<b>C.O.F.A.P. – UO2</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
		Prove sperimentali	0	€ 0,00
	Operaio Forestale	Prove sperimentali	6	€ 117,00
	Operaio Forestale	Prove sperimentali	5	€ 97,50
<b>Totale</b>			<b>11</b>	<b>€ 214,50</b>

<b>COOP MONTE NAVERT – UO3</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Prove sperimentali	0	€ 0,00
	Operaio Forestale	Prove sperimentali	6	€ 117,00
	Operaio Forestale	Prove sperimentali		€ 97,50
<b>Totale</b>			<b>11</b>	<b>€ 214,50</b>

### 2.3.5.4 Trasferte

<b>UNIPR – UO1</b>		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 288,82
	Missioni per attività progettuali	€ 0,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 288,82</b>

## 2.4 AZIONE 4

Azione	Divulgazione
Unità aziendale responsabile	<b>Università di Parma (UO1)</b> – coordinamento e realizzazione delle attività di divulgazione. <b>UO2, UO6, UO7, UO8 e UO9</b> – partecipazione alla realizzazione delle attività di divulgazione

### 2.4.1.1 Descrizione dell'attività e risultati

Durante il progetto sono state realizzate numerose attività previste dal piano e inerenti la divulgazione. Di seguito sono illustrate le attività realizzate.

**Articoli Tecnici e articoli scientifici:** come previsto nel piano, alcuni dei risultati illustrati nelle AZIONI precedentemente descritte sono stati sintetizzati in due articoli tecnico-divulgativi (Fig. 2.4.1-1) che sono stati pubblicati su Sherwood (<https://www.rivistasherwood.it/t/servizi-ecosistemici/biochar-foreste-appennino.html>), una nota rivista nazionale di Scienze Forestali. I due articoli prodotti sono reperibili ai seguenti link: 1) <https://www.rivistasherwood.it/t/servizi-ecosistemici/biochar-foreste-appennino.html> e 2) <https://www.inscape.unipr.it/it/news/news/inscape-torna-sulla-rivista-sherwood-presentato-i-risultati-degli-effetti-della-cercinatura-sull-incremento-della-necromassa/60/>.



FIGURA 2.4.1-1. SCREENSHOT DELLA PRIMA PAGINA DEI DUE ARTICOLI TECNICO-DIVULGATIVI PUBBLICATI SULLA RIVISTA SHERWOOD.

I risultati dell'AZIONE 3.5 sono stati anche pubblicati su riviste scientifiche internazionali. Per essere più precisi, i risultati della ricerca sugli effetti del biochar sulla crescita e sviluppo di faggio e cerro sono stati pubblicati in un articolo scientifico sulla rivista Plants (<https://doi.org/10.3390/plants11233254>), mentre quelli relativi all'effetto del biochar sulla decomposizione della lettiera di bosco sono stati pubblicati sulla

rivista Science of the Total Environment (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166224>) (Fig. 2.4.5-2). Entrambi gli articoli sono Open Access (gli articoli sono allegati).

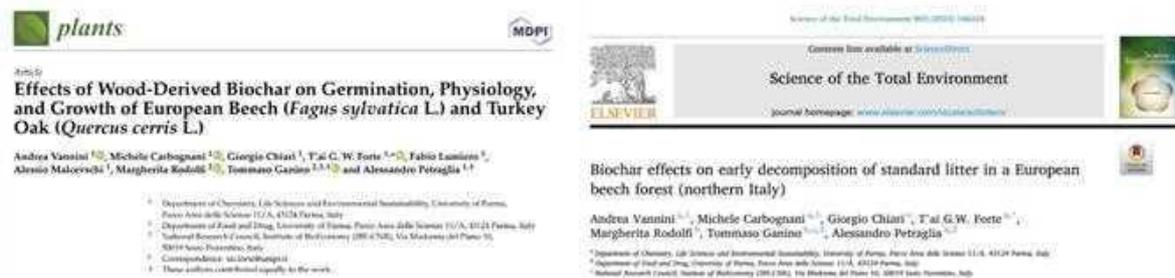


FIGURA 2.4.1-2. SCREENSHOT TRATTI DALLA PRIMA PAGINA DEI DUE ARTICOLI SCIENTIFICI PUBBLICATI SULLE RIVISTE INTERNAZIONALI PLANTS E SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT.

**Sito Internet:** è stato realizzato il sito internet progettato per dare la più ampia visibilità possibile alle persone e alle aziende coinvolte e immaginato per illustrare le attività di campo e di laboratorio svolte e i risultati raggiunti. Il sito è raggiungibile al link [www.inscape.unipr.it](http://www.inscape.unipr.it) (Fig. 2.4.1-3) e contiene foto, filmati e descrizioni delle azioni sviluppate nel progetto.



FIGURA 2.4.1-3. HOME PAGE DEL SITO [WWW.INSCAPE.UNIPR.IT](http://www.inscape.unipr.it), PROGETTATO E REALIZZATO PER FORNIRE LA PIÙ AMPIA VISIBILITÀ POSSIBILE AL PROGETTO.

**Divulgazione tramite social media:** alcune immagini e video relativi alla realizzazione delle misure e delle prove sperimentali sono state pubblicate sul profilo Instagram @plant.ecology.unipr (<https://www.instagram.com/plant.ecology.unipr/>) (Fig. 2.4.1-4) in cui il gruppo di ricerca in Geobotanica ed Ecologia Vegetale, guidato da Alessandro Petraglia, pubblica video e filmati delle proprie attività.

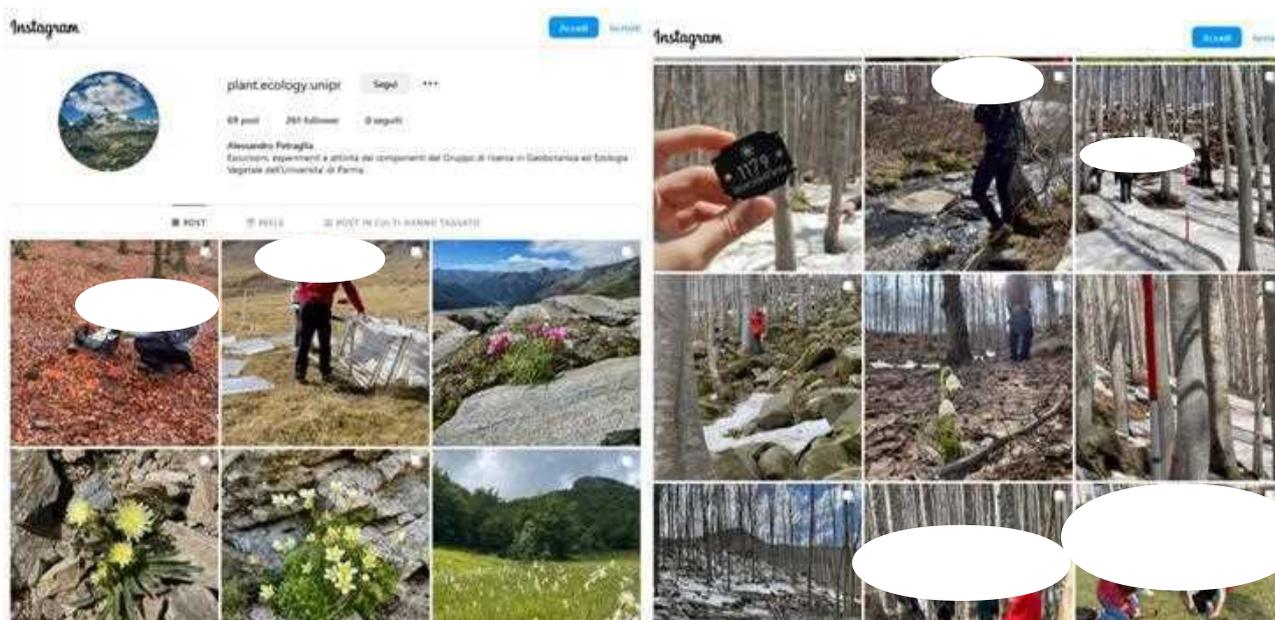


FIGURA 2.4.1-4. SCREENSHOT DAL PROFILO INSTAGRAM @PLANT.ECOLOGY.UNIPR.

**Video dimostrativi e divulgativi:** durante il progetto sono stati realizzati un filmato di spiegazione delle motivazioni e degli obiettivi del progetto (disponibile al link <https://www.youtube.com/watch?v=827XY03CL8U>), 3 filmati più brevi con contenuti tecnico-divulgativi che spigano le azioni intraprese contestualizzandole e dimostrando i metodi di lavoro (disponibili ai seguenti link: <https://www.youtube.com/watch?v=62Be9Dpf0Gc>, <https://www.youtube.com/watch?v=5w5DXB9Jqxo> e <https://www.youtube.com/watch?v=VCewPoNjxXU>) e un filmato di 1 minuto in formato portrait appositamente realizzato per avere ampia diffusione sui social media (disponibile al link <https://www.youtube.com/watch?v=i-D8Fiifhb8>).

Il filmato da 1 minuto è stato anche candidato al concorso “L’Europa è qui” (<https://europaqui-er.it/categoria/progetti/finanziamenti/psr/>) al quale hanno potuto partecipare tutti i progetti finanziati con finanziamenti europei erogati dalla Regione Emilia-Romagna. Il video ha totalizzato 987 preferenze posizionandosi al quinto posto su 109 video divulgativi (Fig. 2.4.1-5).

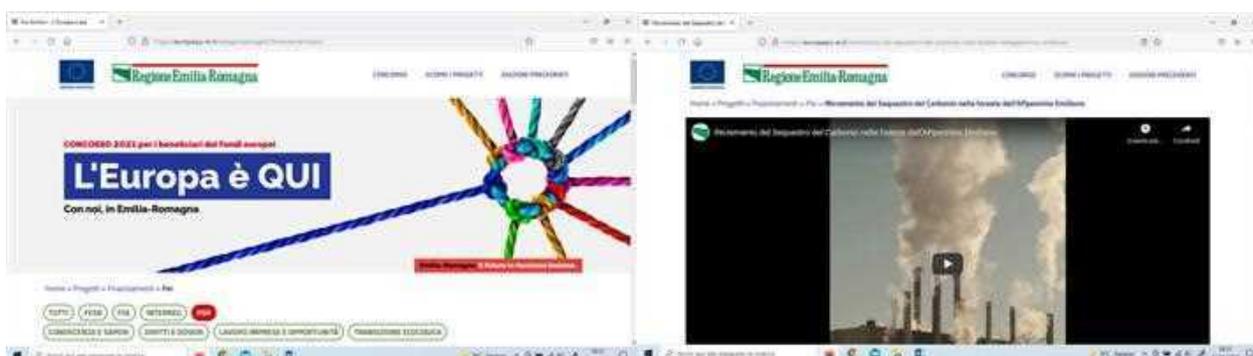


FIGURA 2.4.1-5. HOME PAGE DEL SITO L’EUROPA È QUI (SINISTRA) E PAGINA DI PRESENTAZIONE DEL VIDEO DI PRESENTAZIONE DEL PROGETTO INSCAPE.

**Divulgazione durante seminari tenuti all’Università di Parma e durante escursioni effettuate ad hoc con studenti universitari:** Alessandro Petraglia ha illustrato il progetto INSCAPE in numerose lezioni (per gli insegnamenti di Botanica per Scienze della Natura e dell’Ambiente e Cambiamenti Climatici Globali per Etologia e Ecologia per la Conservazione della Natura) ed ha condotto decine di studenti universitari a visitare

i siti sperimentali spiegando le ragioni scientifiche e tecniche dietro le scelte progettuali e mostrando le tecniche utilizzate per realizzare gli interventi.

**Divulgazione durante conferenze rivolte a tecnici e cittadinanza:** il progetto INSCAPE è stato presentato il 26 novembre 2021 durante un meeting on-line dal titolo **”Sottomisura 16.1 del PSR - Gruppi operativi del PEI per la produttività e la sostenibilità dell’agricoltura: buone pratiche per la conservazione e il sequestro del carbonio nel settore agricolo e forestale nell’Appennino tosco-emiliano”** organizzato nell’ambito delle attività di divulgazione del Progetto LIFE AGRICOLTURE. Alessandro Petraglia ha spiegato le motivazioni del progetto e le azioni intraprese (si allega la locandina dell’evento).

**Eventi divulgativi e incontri tecnici:** durante lo sviluppo del piano (2020-2023) il team UNIPR, in collaborazione con le aziende partner del GO, ha organizzato 3 eventi tecnico-divulgativi con lo scopo di informare soggetti interessati al piano (aziende e operatori forestali, tecnici, stakeholders, consumatori, società civile) in merito a: idee progettuali alla base del progetto, obiettivi da raggiungere, attività previste, risultati attesi e ricadute economiche, sociali ed ambientali di una attività selvicolturale che tenda alla sostenibilità ambientale.

**Il primo evento** si è svolto in data 1 ottobre 2020 presso la Sala Consiliare del Comune di Langhirano (PR). Durante l’evento il Responsabile Scientifico ha presentato tutte le azioni del progetto e ha illustrato i ruoli di ciascun partner (la presentazione è allegata) (Fig. 2.4.1-6).



**FIGURA 2.4.1-6. PRIMA SLIDE DELLA PRESENTAZIONE EFFETTUATA DURANTE IL PRIMO EVENTO TECNICO-DIVULGATIVO DEL PROGETTO INSCAPE.**

**Il secondo evento** si è tenuta in data 6 aprile 2022 presso la Sala Consiliare del Comune di Langhirano (PR) (Fig. 2.4.1-7).



**FIGURA 2.4.1-7. SALA CONSILIARE DEL COMUNE DI LANGHIRANO (PR) GREMITA DI PUBBLICO DURANTE LE PRESENTAZIONI TECNICO-SCIENTIFICHE DEI RICERCATORI E DEI TECNICI COINVOLTI NEL PIANO.**

Durante la riunione i ricercatori e i tecnici coinvolti nel progetto (Fig. 2.4.1-8 e programma allegato) hanno presentato i primi risultati del piano. In particolare, il Responsabile Scientifico ha presentato lo stato di avanzamento dei lavori (presentazione allegata) evidenziando il completamento di tutte le azioni di taglio, cercinatura e realizzazione delle cataste sottolineando la professionalità e la collaborazione dei partner di progetto nella realizzazione degli interventi.

**Incontro tecnico**  
**INCREMENTO DEL SEQUESTRO DEL CARBONIO**  
**NELLE FORESTE DELL'APPENNINO EMILIANO**  
**(I.N.S.C.A.P.E.)**

Mercoledì 6 aprile 2022  
 h. 17:00  
 Sala Consiliare Pellegrino Riccardi  
 Piazza Ferrari 5, Langhirano (PR)

**INTERVENTI**  
 17:00 – 17:10 Saluti

17:10 – 17:25 **La gestione silvicolturale nelle faggete**  
 Dott. For. Simone Barberotti (Tecnica forestale)

17:25 – 17:40 **Interventi per il ripristino dei servizi ecosistemici nel Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano**  
 Dott. For. Willy Peggioni (Parco Naz. dell'Appennino Tosco-Emiliano)

17:40 – 18:00 **Progetto INSCAPE: motivazioni dell'intervento e risultati preliminari**  
 Dott. Alessandro Pettajola (Università di Parma)

18:00 – 18:15 **Effetti del biochar su germinazione e crescita del faggio e del cerro**  
 Dott. Andrea Vezzini (Università di Parma)

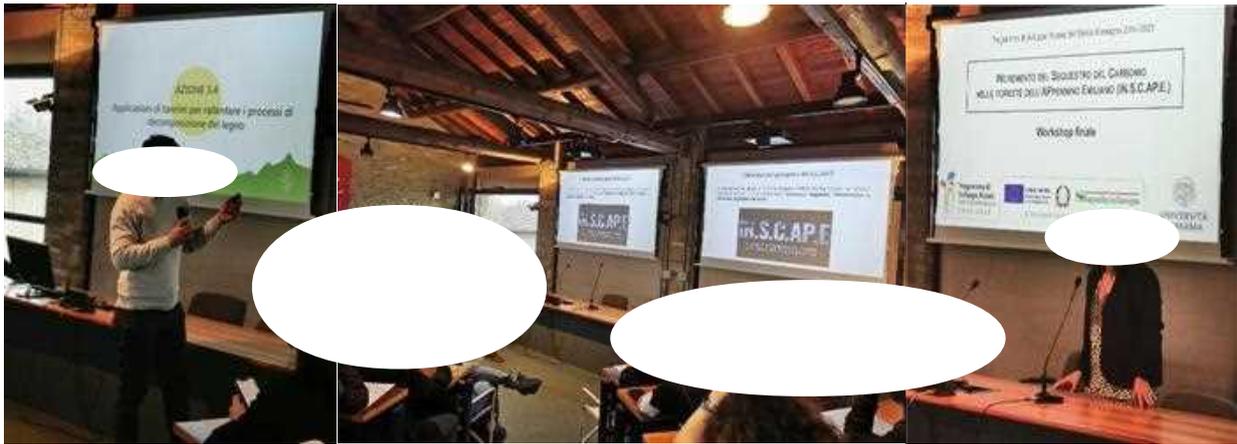
18:15 – 18:45 **Discussione pubblica e saluti**

iniziativa realizzata nell'ambito del Programma regionale di sviluppo rurale 2014-2020 - Tipo di operazione "IL-LEA - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione "produttività e sostenibilità dell'agricoltura". Fattore Azia 22 - Progetti: incremento del sequestro del carbonio nelle foreste dell'Appennino Tosco-Emiliano (I.N.S.C.A.P.E.)

Programma di Sviluppo Rurale 2014-2020 | Regione Emilia-Romagna | Università di Parma

**FIGURA 2.4.1-8. PROGRAMMA DELL'INCONTRO TECNICO DI PRESENTAZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEI LAVORI E DEI PRIMI RISULTATI DEL PIANO.**

Il **terzo evento** si è svolto il 14 dicembre 2023 presso il Centro S. Elisabetta, nel cuore del Campus dell'Università degli Studi di Parma (Fig. 2.4.1-9).



**FIGURA 2.4.1-9. IMMAGINI DELLA SALA DEL CENTRO S. ELISABETTA DURANTE IL WORKSHOP. A SINISTRA IL PROF. ANDREA VANNINI, AL CENTRO IL PROF. ALESSANDRO PETRAGLIA E A DESTRA L'ASSESSORE BARBARA LORI.**

Al workshop, oltre ai ricercatori coinvolti nelle attività sperimentali del piano (Prof. Alessandro Petraglia, Prof. Andrea Vannini e Dott.ssa T'ai Gladys Whittingham Forte), hanno partecipato come relatori il Colonnello Dott. Pierluigi Fedele, Comandante dei Carabinieri Forestali di Parma e Piacenza, il dott. Andrea Piotti dell'IBBR-CNR di Firenze e il dott. Willy Reggioni del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano (Fig. 2.4.1-10; il programma dell'evento è allegato). L'apertura del workshop, al quale hanno partecipato oltre 100 persone tra studenti, tecnici del settore forestale e tecnici degli enti pubblici preposti alla conservazione degli ecosistemi, è stata impreziosita dagli interventi del Magnifico Rettore dell'Università di Parma, Prof. Paolo Martelli, dell'Assessore Barbara Lori (Assessore alla Programmazione territoriale, Edilizia, Politiche abitative, Parchi e forestazione, Pari opportunità, Cooperazione internazionale allo sviluppo) e del Presidente del Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano (partner del progetto), Dott. Fausto Giovanelli.

**WORKSHOP CONCLUSIVO** inscape.unipr.it

## "Incremento del sequestro del carbonio nelle foreste dell'Appennino Emiliano"

**Giovedì 14 Dicembre 2023 h 8:30 - 12:30**  
 Centro S. Elisabetta - Università degli Studi di Parma  
 Parco Area delle Scienze, 95 43124 Parma Italia

**IN.S.C.A.P.E.**

L'Europa investe nelle zone rurali

**PROGRAMMA** inscape.unipr.it

8:30 - 9:00 Registrazione	9:00 - 9:30 Saluti istituzionali	
9:30 - 9:45 "La cerninatura: una possibile tecnica per incrementare la crescita secondaria e il legno morto in foresta approssimando i processi naturali" Prof. Alessandro Petraglia Università di Parma	9:45 - 10:00 "Effetti di diversi interventi forestali sulla decomposizione del legno e della lettiera" Dott.ssa T'ai G.W. Forte Università di Parma	10:00 - 10:15 "Effetti del biocar e dei tannini sulla decomposizione della lettiera e del legno" Dott. Andrea Vannini Università di Parma
10:15 - 10:45 Coffee Break		
10:45 - 11:00 "Bilancio ecostamico delle formazioni forestali appenniniche" Col. Dott. Pier Luigi Fedele Comandante Carabinieri Forestali Parma e Piacenza	11:00 - 11:15 "Migrazioni forestali naturali e 'assistite' nell'Appennino Tosco-Emiliano" Dott. Andrea Piotti IBBR-CNR, Firenze	11:15 - 11:30 "Certificazione e valorizzazione economica dei servizi ecosistemici delle foreste dell'Appennino Tosco-emiliano" Dott. Willy Reggioni Parco Nazionale dell'Appennino Tosco-Emiliano
11:30 - 12:15 Discussione pubblica e saluti		

**FIGURA 2.4.1-10. LOCANDINA DEL WORKSHOP CONCLUSIVO DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI DEL PIANO.**

## 2.4.2 Personale

<b>UNIPR – UO1</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
		Stesura dei testi per il sito internet e i video divulgativi, partecipazione alle riprese video, organizzazione degli eventi	10	€ 480,00
		Stesura dei testi per il sito internet e i video divulgativi, partecipazione alle riprese video, organizzazione degli eventi	10	€ 480,00
	Prof. Associato	Stesura dei testi per il sito internet e i video divulgativi, organizzazione degli eventi	28	€ 1.344,00
<b>Totale</b>			<b>48</b>	<b>€ 2.304,00</b>

<b>C.O.F.A.P. – UO2</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
		Divulgazione	82	€ 2.214,00
<b>Totale</b>			<b>82</b>	<b>€ 2.214,00</b>

<b>COOP MONTE NAVERT – UO3</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Divulgazione	0	€ 0,00
	Operaio Forestale	Divulgazione	8	€ 156,00
	Operaio Forestale	Divulgazione		€ 156,00
<b>Totale</b>			<b>16</b>	<b>€ 312,00</b>

<b>COOP VALPARMA – UO4</b>				
Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Operaio Forestale	Divulgazione	16	€ 312,00
	Operaio Forestale	Divulgazione	18	€ 351,00
	Operaio Forestale	Divulgazione	16	€ 312,00
<b>Totale</b>			<b>50</b>	<b>€ 975,00</b>

### 2.4.3 Trasferte

UNIPR – UO1		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Missioni per attività progettuali	€ 564,68
	Missioni per attività progettuali	€ 0,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 564,68</b>

C.O.F.A.P. – UO2		
Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Trasferte	€ 100,00
<b>Totale:</b>		<b>€ 100,00</b>

### 3 Attività di formazione (già rendicontate)

### 4 Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Nessuna criticità è stata incontrata durante la realizzazione delle attività previste dal progetto.

Criticità tecnico-scientifiche	Nessuna
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Nessuna
Criticità finanziarie	Nessuna

### 5 Considerazioni finali

INSCAPE rappresenta un progetto innovativo, infatti è innovativa la valutazione dell'effetto degli interventi di gestione del bosco sull'ambiente. Una delle considerazioni principali che sono emerse nei primi è che le attività di esbosco, condotte dal personale specializzato delle aziende partner, sono effettuate con metodi che non tengono conto della conservazione dello stock di carbonio e dell'incremento del sequestro del carbonio nei sistemi forestali. Il personale non è sufficientemente formato e sensibilizzato in merito alle questioni ambientali. Attività come questa costituiscono un tentativo di sensibilizzazione che valorizzi la gestione effettuata con metodi volti alla sostenibilità dell'utilizzo delle risorse forestali. Le attività previste, seppur arriveranno a indicarci la giusta strada verso la sostenibilità del bosco, rappresentano solamente un inizio di valutazione degli effetti delle attività boschive sull'ambiente. Infatti, alla fine del progetto, la valutazione non potrà essere ritenuta conclusa, ma certamente altre osservazioni andranno condotte negli anni successivi, soprattutto relativamente alla decomposizione. Si auspica una maggiore continuità su linee di intervento ormai centrali anche a livello della Politica Europea.

Per quanto riguarda il processo di rendicontazione, a volte questo appare complesso e farraginoso. Occorrerebbe semplificare Agrea (che al momento è un divoratore di documenti) e produrre un manuale semplice da seguire in caso di dubbio (soprattutto sulla tipologia di documenti richiesti).

Questi sono due punti fondamentali per poter migliorare ulteriormente un sistema regionale PSR già efficiente e funzionale.

## **6 Relazione tecnica**

Durante il progetto sono stati effettuati interventi finalizzati a incrementare il sequestro del carbonio, a ridurre la perdita di carbonio organico dagli stand forestali e a incrementare la quantità di legno morto.

Gli interventi di abbattimento e cercinatura hanno incrementato la quantità di legno morto negli stand forestali attuali (abbattimento) e ne favoriranno l'incremento in futuro (cercinatura) (AZIONE 3.2). La tecnica della cercinatura sembra molto promettente perché ha incrementato, nei primi due anni, la crescita delle piante di oltre il 40% ed ha incrementato il volume di legno negli stand forestali di circa il 10%. La cercinatura, inoltre, può essere una tecnica che favorisce la disetaneizzazione del bosco e lo sviluppo di stand forestali con una struttura più complessa e naturaliforme incrementando la densità di carbonio per unità di superficie (AZIONE 3.1). Inoltre, il legno morto in piedi, derivante dalle piante cercinate, si decomporrà più lentamente rispetto al legno morto a terra rallentando la perdita di carbonio organico dagli stand forestali (AZIONE 3.2). L'accatastamento del legname riduce la velocità della decomposizione garantendo un rilascio di carbonio in atmosfera più lento rispetto al legno che viene lasciato a terra; tuttavia le diverse tecniche utilizzate non sembrano rallentare il rilascio di carbonio (AZIONE 3.3). I tannini rallentano la decomposizione del legno di faggio riducendola del 40% circa dopo 6 mesi (AZIONE 3.4), tuttavia i tannini rilasciati dai rami di castagno applicati sulle cataste nell'AZIONE 3.3 non sembrano avere avuto effetti deprimenti sulla velocità della decomposizione. La tecnica sembra promettente, ma servono ulteriori studi per confermare l'effettivo vantaggio di utilizzare il legno di castagno per ridurre la perdita di carbonio dagli stand forestali di faggio. Il biochar incrementa lo stock di carbonio nei suoli senza modificare la velocità della decomposizione della lettiera fogliare, ma, anzi, rallentando quella della lettiera legnosa (AZIONE 3.5). Il biochar non inibisce la germinazione di faggio e cerro e non deprime la crescita delle giovani piante; anzi, al contrario, ha effetti stimolanti sulla crescita del cerro (AZIONE 3.5).

Le attività di divulgazione sono state numerose e hanno intercettato interesse da parte di tecnici, stakeholders e cittadini a dimostrazione dell'incremento della sensibilità nei confronti dei temi ambientali e del fatto che è ormai maturo il tempo per un adeguamento delle tecniche di gestione forestale verso logiche che tengano in considerazione le esigenze dell'ambiente su base scientifica (AZIONE 4).

Nel complesso il progetto INSCAPE ha ottenuto risultati rilevanti per il sequestro del carbonio negli ecosistemi forestali soggetti a gestione. La cercinatura e il biochar possono essere introdotti in modo sistematico, con opportuni regolamenti e approfondendo i protocolli, se l'intenzione degli attori della filiera forestale è di incrementare il sequestro del carbonio negli stand forestali.

Data 14/02/2024      IL LEGALE RAPPRESENTANTE