

**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 INTERMEDIA
 FINALE**

DOMANDA DI SOSTEGNO 5015651

DOMANDA DI PAGAMENTO 5236359

FOCUS AREA: 5E

Titolo Piano	FarmCO ₂ Sink - Stoccaggio del C e riduzione delle emissioni di gas serra climalteranti a livello di azienda agricola
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Università Cattolica del Sacro Cuore (UCSC)
Elenco partner del Gruppo Operativo	Società Agricola B&B s.r.l. (effettivo) Società Agricola Buschi Fratelli (effettivo) Rocca dei Folli Village (effettivo) Consorzio Comunale Parmensi (effettivo) CRPA S.p.a. (effettivo) Consorzio Agroforestale dei Comunelli di Ferriere (partner associato)

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	36
Data inizio attività	1° gennaio 2018
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	19 febbraio 2021

Relazione relativa al periodo di attività	dal 1° gennaio 2018	al 19 febbraio 2021
Data rilascio relazione		

Autore della relazione	Stefano Amaducci		
Telefono		e-mail	stefano.amaducci@unicatt.it

Sommario

1 -	DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO	3
1.1	STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO	3
2 -	DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE	3
2.1	ATTIVITÀ E RISULTATI	3
2.2	PERSONALE	4
2.3	TRASFERTE	4
2.4	MATERIALE CONSUMABILE	4
2.5	SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE	5
2.6	MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI	5
2.7	ATTIVITÀ DI FORMAZIONE	5
2.8	COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI	6
3 -	CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ	6
4 -	ALTRE INFORMAZIONI	6
5 -	CONSIDERAZIONI FINALI	7
6 -	RELAZIONE TECNICA	7

1 - Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Indicare per ciascuna azione il mese di inizio dell'attività originariamente previsto nella proposta ed il mese effettivo di inizio, indicare analogamente il mese previsto ed effettivo di termine delle attività. Indicare il numero del mese, ad es.: 1, 2, ... considerando che il mese di inizio delle attività è il mese 1. Non indicare il mese di calendario.

Premessa

Rispetto al Piano presentato è stata richiesta una proroga di sei mesi (Febbraio 2021) al fine di completare le attività progettuali. In particolare, lo slittamento della scadenza di progetto è risultato necessario in riferimento alla raccolta ed elaborazione di tutti i dati sperimentali funzionali alla realizzazione delle LCA, alla conseguente redazione del report finale, oltre che al completamento delle attività di divulgazione e di coaching.

Azione 1 - Coordinamento

L'azione di coordinamento e collaborazione fra i partner è iniziata nel mese 1, come originariamente previsto, ed è proseguita per tutta la durata del progetto, come da previsioni progettuali, concludendosi nel mese 38.

Azione 2 - Raccolta dati e realizzazione dell'Inventory

L'azione di raccolta dei dati per la realizzazione dell'Inventory relativo ai quattro differenti usi del suolo è stata avviata nel mese 2, come da indicazioni progettuali, a mezzo di interviste in loco, accesso ai database aziendali e ai dati storici del Consorzio agroforestale dei Comunelli di Ferriere. Successivamente, con il procedere delle attività in campo, essa si è arricchita a partire dal mese 4 con la raccolta dei dati provenienti da tutti i campi sperimentali, per essere integrata laddove necessario con dati estratti da database regionali, nazionali, internazionali, così come da letteratura scientifica e materiale informativo prodotto a livello industriale. In considerazione delle tempistiche di cui alla successiva azione 3, l'attività si è conclusa soltanto nel mese 33, in ritardo rispetto alle previsioni iniziali (mese 24).

Azione 3 - Adozione di pratiche agricole conservative per il sequestro del C nel settore agricolo e forestale

Le attività necessarie per il monitoraggio dei flussi di C nei quattro ecosistemi agro-forestali oggetto di indagine si sono svolte prima, durante e dopo l'attuazione delle pratiche convenzionali e conservative da parte delle aziende agricole e forestali coinvolte nel gruppo operativo, durante tutto il periodo di attuazione del progetto (da mese 1 a mese 36 come da previsioni iniziali).

Di seguito, si riportano per ciascuno dei quattro campi sperimentali, le attività agro-forestali e di monitoraggio eseguite:

Campo sperimentale n.1) La sperimentazione è stata avviata nel 2018 in collaborazione con la Società Agricola B&B s.r.l. in località Gargatano (PC), all'interno di un pioppeto con clone I-214 al primo anno di età, messo a dimora secondo un sesto d'impianto a settonce di 6,10 x 5,20 m², corrispondente a 315 pioppi/ha. Ai fini operativi, è stata individuata all'interno del pioppeto una superficie complessiva di 3,55 ha, in cui sono stati perimetrati 4 blocchi sperimentali (repliche) contenenti ciascuno 3 tesi differenti per composizione del miscuglio delle cover crops, oltre a una tesi di controllo (suolo nudo gestito con discatura). Le singole tesi all'interno di ogni blocco occupano una superficie di 2.220 m² (61,0 m x 36,4 m), corrispondente a lotti di 70 pioppi per parcella. I tre miscugli per cover crops sono stati seminati nella primavera 2019 (mese 15), all'inizio del secondo anno di coltivazione del pioppeto. Campioni di biomassa vegetale e suolo raccolti sono stati sistematicamente raccolti e analizzati in laboratorio per determinare produzione annua di sostanza secca delle cover crops e relativi quantitativi di carbonio sottratti all'atmosfera (mesi 19, 21, 30, 32).

Campo sperimentale n.2) - La sperimentazione è stata attuata all'interno dell'azienda agricola Buschi Fratelli (Podenzano, PC), dove è avvenuta la riconversione di una prova sperimentale di lungo periodo (11 anni) con sei colture perenni da biomassa. Successivamente alle operazioni di raccolta della biomassa epigea dell'ultima stagione colturale delle colture poliennali (mese 4), nel giugno del 2018 (mese 6) è stata effettuata la riconversione

del suolo mediante l'utilizzo di una trincia forestale (Valentini mod. Demonio e ad una fresa controrotante (Carbogreen) per la preparazione del letto di semina per il sorgo. Successivamente alla raccolta del sorgo, nell'ottobre del 2018 (mese 10), la gestione della prova è stata divisa in tradizionale (Lavorazioni di preparazione del letto di semina per ogni coltura attraverso un erpice a dischi + erpice rotante) e conservativa (Semina diretta delle colture da reddito e non lavorazione + utilizzo di cover crops). Campionamenti di suolo, biomassa vegetale e emissioni di CO2 sono stati collezionati durante tutta la durata della sperimentazione (mesi 6 -31)

Campo sperimentale n.3) Nella primavera del 2019 (mese 17) sono stati realizzati gli impianti a strisce di miscanto (*Miscanthus x giganteus* L.) in loc. Rocca dei Folli Village (Ferriere), mentre negli inverni 2019-2020 (mese 26) e 2020-2021 (mese 36) sono state eseguite le raccolte annuali della biomassa prodotta. In particolare, la raccolta è stata eseguita sia in modo tradizionale, a mezzo di trincia-stocchi e rotoimballatrice, sia in modo non distruttivo, al fine di ottenere steli interi da destinare a impieghi innovativi di tipo durevole (cannette per forestazione e stuoie per uso "garden"). Sub-campioni della biomassa vegetale raccolta sono stati sistematicamente analizzati in laboratorio per determinare produzione annua di sostanza secca e relativi quantitativi di carbonio sottratti all'atmosfera (mesi 26-27 e mese 36). Analogamente, sono stati prelevati e analizzati campioni di suolo per monitorare le variazioni nel contenuto di sostanza organica indotte nel terreno dall'introduzione di una coltura di tipo permanente (mesi 26-27 e mese 36).

Campo sperimentale n.4) Il progetto sperimentale è stato ideato e redatto negli anni 2018-2019 (da mese 2 a mese 24), mentre a partire dall'inizio del 2020 sono state implementate le attività di rilievo all'interno delle proprietà forestali del Consorzio Agroforestale dei Comunelli di Ferriere (da mese 25 a mese 32). Nell'estate 2020 è stato quindi eseguito l'intervento selvicolturale dimostrativo in loc. Selva di Ferriere (mese 31) ed è stata sperimentalmente attivata una filiera produttiva legata alla segazione dei tronchi di faggio per la produzione di pallets (mese 32). Il calcolo dei serbatoi e dei flussi di carbonio relativi alle realtà selvicolturali messe a confronto è stato effettivamente completato a seguito delle analisi di laboratorio sui campioni di legno, lettiera e suolo finalizzate alla determinazione del rispettivo contenuto di carbonio (mesi 32-34).

Azione 4 - Redazione del bilancio del C e valutazione dell'impronta carbonica

Le attività funzionali al calcolo dei bilanci di C per i quattro sistemi agro-forestali indagati sono state avviate a partire dall'anno 2019 (mese 15) come da previsioni progettuali. A questo scopo sono stati utilizzati gli inventari risultanti dall'azione 2 a mezzo del software Gabi Thinkstep, sviluppando il processo di calcolo in funzione del grado di completezza delle informazioni raccolte. Dopo la conclusione dell'azione 2 (mese 33), le fasi 1 e 2 di tutti i bilanci sono state completate secondo le disposizioni progettuali. Di conseguenza, entro la conclusione del progetto, sono stati identificati le tecniche per ridurre le emissioni di GHG e incrementare l'assorbimento di C atmosferico, elaborando le raccomandazioni sulle metodologie da adottare per massimizzare il contributo delle pratiche agronomiche e forestali alla lotta al cambiamento climatico con un approccio di eco-design (mese 37).

Azione 5 – Disseminazione e divulgazione

L'attività di divulgazione è stata completata: lungo il ciclo di vita del progetto si sono tenuti tre incontri tecnici sotto forma di webinar (mese 31, 34, 35). È stato creato un sito web per il progetto (mese 24) e un servizio televisivo (mese 30), I risultati emersi dall'attività sono stati presentati in occasione del convegno finale del progetto tenutosi nel mese 38 sotto forma di webinar. L'attività di formazione (*coaching*) rivolta alle aziende agricole è stata eseguita nel mese 37.

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
1	UCSC - Diproves	Cooperazione	1	1	36	38
2	UCSC - Diproves	Raccolta dati per Inventory	1	2	24	33
3	UCSC - Diproves	Pratiche agricole conservative	1	1	36	36
4	UCSC - Diproves	Bilancio del carbonio	13	15	36	37
5	CRPA s.p.a.	Disseminazione e divulgazione	1	1	38	38

2 - Descrizione per singola azione

2.1 Attività e risultati

Azione	AZIONE 1 – Cooperazione
Unità aziendale responsabile	UCSC - DIPROVES
Descrizione delle attività	<p>Funzionamento e gestione del gruppo operativo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizzo delle mailing list e cellulare per mantenere contatti tra i vari partner • Anno 2018: 2 riunioni presso UCSC del primo anno di progetto per la presentazione delle attività di progetto future • Anno 2019-2020: incontri con i vari partner presso aziende agricole e/o sede UCSC per discutere attività progettuali specifiche • UCSC – DI.PRO.VE.S ha condotto, come previsto, un monitoraggio delle attività progettuali delle spese, delle fatture relative alle attività di progetto in relazione alla conformità con le diverse voci di spesa con produzione di rendiconto finanziario finale. <p>Le altre comunicazioni sono avvenute tramite scambio di mail, messaggistica, chiamate e incontri direttamente in azienda tra personale tecnico DIPROVES e personale delle aziende agricole e dei consorzi forestali.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Azione completata.</p> <p>Attraverso i meeting presso le aziende agricole e i consorzi forestali è stato possibile un confronto diretto tra i vari partner: gli agricoltori e i tecnici delle aziende sperimentali hanno suggerito possibili aggiustamenti e piccole modifiche rispetto al piano originario che non hanno modificato tuttavia il piano sostanziale di lavoro. I contatti tra i partner sono stati costantemente mantenuti poi attraverso telefonate e messaggi e incontri diretti face to face in azienda agricola o sui campi sperimentali per decisioni agronomiche quali semine anticipate, diserbi, turni irrigui e/o concimazioni o forestali quali interventi di ceduzione e lotti boschivi da misurare. Sono stati poi diversi i momenti in cui il personale UCSC ha effettuato con l'aiuto degli agricoltori e i tecnici forestali sono stati raccolti i dati utili alla redazione dei bilanci del C delle varie pratiche agricole conservative adottate.</p>
<u>Attività ancora da realizzare</u>	<u>Nessuna</u>

<u>Azione</u>	<u>Azione 2 - Raccolta dati e realizzazione dell'Inventory</u>
<u>Unità aziendale responsabile</u>	UCSC - DIPROVES
<u>Descrizione delle attività</u>	<p>Operativamente, sono stati realizzati quattro diversi set di inventari, uno per ciascuno dei quattro ecosistemi agro-forestali oggetto di indagine. Ogni set di tabelle, realizzato con il software Excel di Microsoft, ha compreso due o più inventari singoli, relativi ciascuno a una diversa tecnica agro-forestale applicata.</p> <p>Più nel dettaglio, per il <u>campo sperimentale n.1</u> (Società Agricola B&B s.r.l.), sono stati realizzati due inventari, relativi a: 1) coltivazione convenzionale di pioppeto industriale, con discatura sistematica degli interfilari; 2) coltivazione conservativa di pioppeto con semina di cover crops negli interfilari e sfalcio annuale.</p> <p>Per il <u>campo sperimentale n.2</u> (Società Agricola Buschi Fratelli), di nuovo, sono stati implementati due inventari, relativi a: 1) tecniche di coltivazione agricola di tipo</p>

	<p>convenzionale, con semina su suolo lavorato e mantenimento del terreno nudo in inverno; 2) tecniche di coltivazione agricola di tipo conservativo (semina su sodo e uso di cover-crops).</p> <p>Per il <u>campo sperimentale n.3</u> (Rocca dei Folli Village) , invece, sono stati implementati quattro inventari, relativi alla: 1) coltivazione convenzionale di erba medica in rotazione quinquennale; 2) coltivazione e raccolta distruttiva di miscanto da destinare a utilizzi di tipo convenzionale (energetico, lettiera, ecc.); 3) coltivazione e raccolta distruttiva di miscanto da destinare alla bioedilizia (casa di balle di paglia); 4) coltivazione e raccolta non distruttiva di miscanto da destinare a innovativi usi durevoli (cannette segnaletiche, supporti per shelter, bastoncini per vivaistica, stuoie, arelle, pannelli isolanti).</p> <p>Per il <u>campo sperimentale n.4</u> (Consorzio Agroforestale dei Comunelli di Ferriere), infine, in riferimento a boschi appenninici di faggio, sono stati creati quattro inventari, relativi alla: 1) gestione ordinaria di bosco ceduo con matricine; 2) trattamento irregolare di fustaia transitoria, già oggetto di un primo intervento di conversione all'alto fusto di bosco ceduo invecchiato; 3) evoluzione naturale di un bosco ceduo abbandonato; 4) opzione della cippatura della ramaglia fine risultante da tagli di utilizzazione forestale in alternativa al suo rilascio in bosco.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Il lavoro eseguito ha soddisfatto tutte le previsioni iniziali del progetto e lo ha arricchito di alcuni elementi per i quali è emersa rilevanza a seguito delle attività di cui all'azione 1. Innanzitutto, è apparso utile integrare le valutazioni sul miscanto con una nuova opportunità produttiva emersa e sviluppata nell'ambito del progetto di ricerca europeo GRACE – http://grace-bbi.eu (<i>GRowing Advanced industrial Crops on marginal lands for bioEfineries</i>), di cui UCSC è partner, ovvero quella relativa a una tipologia di utilizzi durevoli degli steli di miscanto – il cosiddetto uso “gardening” – potenzialmente di scala più ampia rispetto alla realizzazione di edifici in balle di paglia di miscanto, vista l'esistenza di un vasto mercato di prodotti all'ingrosso e al dettaglio basati su bamboo e canna palustre. In secondo luogo, si è ritenuto opportuno estendere l'analisi del ruolo delle foreste nella lotta ai cambiamenti climatici a un'ulteriore realtà gestionale, di fatto sempre più diffusa all'interno del distretto appenninico: il bosco ceduo abbandonato e invecchiato. Contestualmente, si è implementata una tipologia di conversione all'alto fusto di tipo “irregolare” finalizzata alla creazione di una fustaia disetaneiforme, anziché coetanea, in quanto ritenuta più efficiente ai fini progettuali. Infine, si è voluta considerare l'opzione della cippatura dei residui del taglio del bosco, in considerazione del mercato sempre più importante del cippato di legno per l'alimentazione di caldaie a biomasse destinate alla produzione di calore per edifici pubblici, se non addirittura alla produzione di energia elettrica in centrali private.</p>
Attività ancora da realizzare	Nessuna

Azione	<u>Azione 3</u> - Adozione di pratiche agricole conservative per il sequestro del C nel settore agricolo e forestale
Unità aziendale responsabile	UCSC - DIPROVES
Descrizione delle attività	<p>L'azione ha riguardato l'implementazione, presso ciascuno dei siti di progetto, di diverse pratiche agro-forestali di tipo convenzionale e conservativo e delle rispettive campagne di monitoraggio agro-ambientale. Di seguito, si riportano le attività eseguite nei quattro campi sperimentali.</p> <p><u>Campo sperimentale n.1</u> Le attività svolte hanno riguardato il confronto tra tre diversi mix di cover crops seminati nell'interfila di un pioppeto realizzato presso la Società Agricola B&B s.r.l in località Gargatano (PC). I tre miscugli di cover crops sono stati seminati nella primavera del 2019, all'inizio del secondo anno di coltivazione del pioppeto, e la loro composizione specifica è la seguente: Miscuglio 1 (<i>Trifolium pratense</i> 50%, <i>Lotus corniculatus</i> 50%), Miscuglio 2 (<i>Trifolium pratense</i> 40%, <i>Lotus corniculatus</i> 40%, <i>Festuca arundinacea</i> 20 %), Miscuglio 3 (<i>Trifolium</i></p>

pratense 30%. *Lotus corniculatus* 30%, *Festuca arundinacea* 40 %) su una superficie di 3.55 ha. Durante la prima stagione vegetativa sono state effettuate dal personale UCSC due raccolte della biomassa vegetale prodotta, in occasione della quale è stato effettuato un **prelievo di campioni**, successivamente analizzati in laboratorio per la determinazione dei principali parametri chimico-fisici (peso secco per unità di superficie, umidità alla raccolta, contenuto % di carbonio, ecc) e una misurazione degli accrescimenti dei pioppi a fine stagione culturale. Tutte le operazioni sono state ripetute nella seconda stagione culturale a cui è seguito un campionamento di suolo per determinare l'effetto della coltivazione delle cover sul sequestro di C.



Semina (sx) e stadio di sviluppo (dx) dei miscugli di cover coltivati sotto il pioppeto del progetto FarmCO₂Sink

Produttività dei miscugli di cover crop e produzione di biomassa delle infestanti nelle parcelle sperimentali del progetto FarmCO₂Sink (Ton/ha di sostanza secca)

Tesi	Luglio 2019		Settembre 2019		Giugno 2020		Agosto 2020	
	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti
Mix 1	0.42	4.19	6.51	4.93	4.77	7.05	2.73	5.91
Mix 2	0.46	4.63	6.83	6.87	6.34	6.36	2.52	9.18
Mix 3	0.64	6.42	8.54	4.40	6.79	5.93	2.73	9.77

Campo sperimentale n.2

La sperimentazione è stata attuata all'interno dell'azienda agricola Buschi Fratelli (Podenzano, PC), dove è avvenuta la riconversione di una prova sperimentale di lungo periodo (11 anni) con sei colture perenni da biomassa. Successivamente alle operazioni di raccolta della biomassa epigea dell'ultima stagione culturale delle colture poliennali, nel giugno del 2018 è stata effettuata la riconversione del suolo mediante l'utilizzo di una trincia forestale (Valentini mod Demonio) accoppiata ad un trattore di elevata potenza (Claas Axion 950, 500 cv) e ad una fresa controrotante (Carbogreen) per la preparazione del letto di semina per il sorgo. Successivamente alla raccolta del sorgo, nell'ottobre del 2018, la gestione della prova è stata divisa in tradizionale - minima lavorazione - MT (Lavorazioni di preparazione del letto di semina per ogni coltura attraverso un erpice a dischi + erpice rotante) e conservativa - NT (Semina diretta delle colture da reddito e non lavorazione + utilizzo di cover crops). Per il monitoraggio delle emissioni di CO₂ sono stati posizionati e rimossi ad ogni cambio culturale tubi di plastica posizionati nel suolo utili alla misurazione delle emissioni con analizzatore di gas portatile EGM-5. All'interno delle parcelle sperimentali, sono state eseguite misurazioni di tipo distruttivo, riguardanti la produzione di biomassa (epigea e ipogea) e analisi del relativo contenuto chimico (C%, N%). Inoltre, sono stati raccolti e analizzati in laboratorio campioni di suolo per la determinazione del carbonio organico immagazzinato nel suolo fino ad un metro di profondità (0-100 cm) prima della riconversione e nei primi 60 cm dopo la riconversione. Le analisi effettuate sono riportate nella tabella seguente.

Tipologia
Carbonio organico (g kg ⁻¹)
Carbonio della biomassa microbica
Densità Apparente (g cm ⁻³)

Biomassa Ipogea (Ton ha ⁻¹)
Biomassa ipogea di rizomi o ceppaie (Ton ha ⁻¹)
Biomassa radicale fine (Ton ha ⁻¹)
Contenuto di carbonio nella biomassa ipogea
Produzione di sostanza secca (Ton ha ⁻¹) delle colture annuali
Contenuto di carbonio nella biomassa epigea
Umidità e Temperatura del suolo

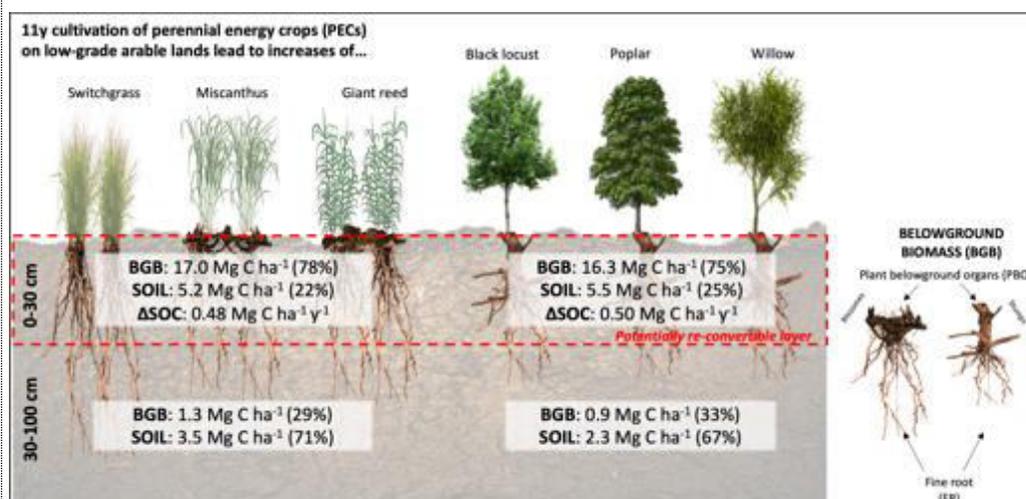
In aggiunta sono stati rilevati i dati meteorologici (Temperatura, precipitazione, radiazione solare) mediante una stazione meteo posta nelle vicinanze. I dati acquisiti sono stati utilizzati per la calibrazione e la validazione di un modello matematico del carbonio, ECOSSE, sviluppato dall'Università di Aberdeen (Aberdeen, Scozia, Regno Unito) per fornire robustezza ai dati di emissioni rilevati a partire dalla riconversione e sulla dinamica del C organico del suolo.



Disegno sperimentale del campo 2 in località Gariga di Podenzano



Operazione di campionamento del suolo e della biomassa epigea nel campo sperimentale 2 effettuate prima della riconversione



Serbatoi di C nel suolo e nella biomassa ipogea di diversi sistemi colturali poliennali in funzione dello strato di suolo considerato.

Campo sperimentale n.3

Le attività svolte hanno riguardato innanzitutto la realizzazione di un nuovo **impianto di miscanto** (*Miscanthus x giganteus* L.) in un appezzamento dell'azienda Rocca dei Folli Village (Ferriere).

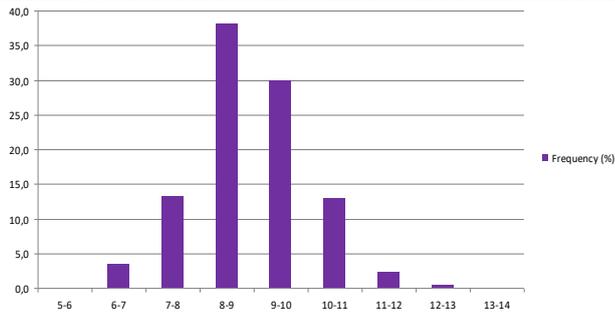


Veduta da drone (sx) e particolare (dx) del miscanto a coltivato a strisce sui campi sperimentali del progetto FarmCO₂Sink in Val Nure

L'operazione è stata eseguita direttamente dall'azienda agricola nella primavera 2019, a mezzo di rizomi di miscanto della varietà "Miscanthus x giganteus" messi a dimora su fasce di larghezza pari a 4 metri con una densità di 1,5 piante/m² per una superficie complessiva di circa 3000 m² di strisce di miscanto e 1 ettaro di terreno agrario. Al termine della prima stagione vegetativa (febbraio 2020), è stata effettuata dal personale UCSC la prima raccolta della biomassa vegetale prodotta, in occasione della quale è stato effettuato un **prelievo di campioni**, successivamente analizzati in laboratorio per la determinazione dei principali parametri chimico-fisici (peso secco per unità di superficie, umidità alla raccolta, contenuto % di carbonio, ecc.) e morfologici di piante e steli (diametro basale delle piante, numero di steli per pianta, dimensioni, struttura, ecc.), funzionali alle successive elaborazioni. L'attività di monitoraggio si è completata con il prelievo di campioni di suolo degli orizzonti più superficiali, al fine di analizzare quantità di biomassa ipogea e incremento annuale di C nel terreno. Tutte le operazioni sono state ripetute al termine della seconda stagione vegetativa (dicembre 2020). Inoltre, in questa occasione, alla raccolta meccanica tradizionale (di tipo distruttivo, taglio-trinciatura-andanatura-imbollatura) è stata associata una **raccolta di tipo non distruttivo** (manuale), volta alla valutazione quantitativa delle tipologie di materiali per giardinaggio, riforestazione e bio-edilizia realmente ottenibili e alle rispettive caratteristiche strutturali.

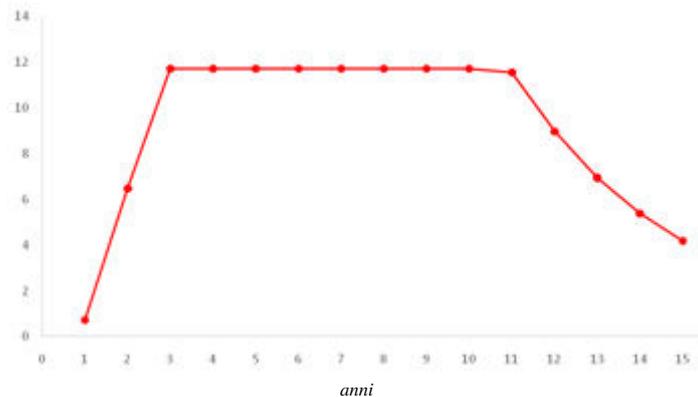


Prodotti durevoli a base di miscanto prototipali sviluppati all'interno del progetto per uso gardening (cannette segnaletiche, supporti per shelter e stuoie)



Distribuzione diametrica (mm) della popolazione di steli di miscanto coltivato in Val Nure

Facendo riferimento ai dati produttivi di attività sperimentali condotte da UCSC su altri impianti di miscanto, coltivati a strisce e in pieno campo in terreni marginali con età anche molto superiore (dai 3 ai 13 anni), è stato quindi possibile interpolare i dati di produzione reale ottenuti nei primi due anni di coltivazione a Rocca dei Folli con le curve di crescita costruite per altri terreni marginali piacentini. In questo modo, è stato delineato uno scenario produttivo per il miscanto coltivato a strisce in comune di Ferriere, da cui sono stati desunti i valori complessivi di biomassa epigea e ipogea prodotta in un **ciclo culturale di 15 anni** e del relativo incremento di C immagazzinato nel suolo per unità di tempo e superficie ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$).



Proiezione della produttività epigea ($\text{Mg SS ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) del miscanto nei primi 15 anni dall'impianto

Il confronto della coltivazione di miscanto con colture convenzionali tipiche degli ambienti montani piacentini (es. erba medica) è stato completato attraverso interviste ad agricoltori locali relativamente a operatività agronomica e produttività della coltura, unitamente all'analisi delle quantità di C stabilmente immagazzinato nel suolo.

Successivamente, servendosi di raster DEM, shapefiles di European Soil Data Centre (ESDAC) e Geoportale della Regione Emilia-Romagna, è stata applicato a livello territoriale per l'intero comune di Ferriere il modello RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*) L' applicazione del modello RUSLE ("Revised Universal Soil Loss Equation") per la determinazione della quantità di suolo annualmente persa per erosione a ettaro. Più in dettaglio, la procedura si è basata sui dati raster DEM (Digital Elevation Model), sugli shapefile del Comune di Ferriere e del relativo uso del suolo (anno 2017). A partire dal modello digitale del terreno DEM sono state calcolate le pendenze sia in gradi sia in percentuale e, fra i terreni classificati come "Seminativi in aree non irrigue", le aree di interesse sono state selezionate fra quelle con una pendenza inferiore al 30%. Quindi, sono stati caricati e utilizzati i dati raster necessari al calcolo della RUSLE, ovvero i fattori R (erosività della pioggia), K (erodibilità del suolo), L_S (fattore topografico), C (copertura del suolo) e P (fattore di influenza della pratica antierosiva).

Dai dati disponibili è stata quindi calcolata la perdita di suolo con e senza la pratica strip cropping, attraverso la seguente formula:

$$V (\text{Mg}_{\text{suolo}} \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}) = R * K * L_S * C * P$$

La differenza tra le due RUSLE ha quindi permesso di calcolare la perdita di suolo evitata a seguito dell'introduzione delle strip cropping. La simulazione relativa al

controllo dell'erosione superficiale ottenibile con un'applicazione su larga scala delle strisce di miscanto, secondo densità variabili con la pendenza del terreno. Questo processo ha portato alla determinazione della ipotetica quantità di carbonio sottratto all'erosione a seguito di un'estensione della coltura a strisce di miscanto sui terreni marginali dell'intero comune di Ferriere.

Parametro	u.d.m.	Comune di Ferriere
Stoccaggio di C nel suolo	Mg C	355,9
Tasso di sequestro annuale di C nel suolo	Mg C anno ⁻¹	23,7
Stoccaggio di C negli organi ipogei (rizomi + radici)	Mg C	909
Tasso di sequestro annuale di C in organi ipogei	Mg C anno ⁻¹	60,64
Perdita di C evitate con fasce di miscanto	Mg C	247,3
Tasso annuale evitata perdita di C con miscanto	Mg C anno ⁻¹	16,5
Bilancio		
Sequestro del C con fasce	Mg C	1265
Tasso sequestro annuale del C con fasce	Mg C anno ⁻¹	84,3
Bilancio del C (sequestro + perdite evitate)	Mg C	1512,3
Bilancio del C (sequestro + perdite evitate)	Mg C anno ⁻¹	100,8

Campo sperimentale n.4

Le attività sperimentali sono consistite innanzitutto nell'individuazione all'interno del comprensorio forestale afferente alle proprietà collettive dei Comunelli di Ferriere di **sei parcelle sperimentali**, attraverso cui ricostruire e analizzare le cronosequenze relative ai tre diversi sistemi di gestione forestale da mettere a confronto. Nel dettaglio, sono state scelte e georeferenziate le seguenti parcelle:

- tre parcelle (età 3 - 15 - 30 anni) per il ceduo ordinario: A₁-A₂-A₃
- due parcelle (età 60 - 75 anni) per il ceduo abbandonato: B₁-B₂
- una parcella (65 anni) per il ceduo in conversione all'alto fusto: C₁

Quindi, si è proceduto a una gran mole di **rilievi forestali**, finalizzati alla misurazione di tutti i pools di carbonio (biomassa vivente epigea e ipogea, necromassa, lettiera, suolo) insistenti in ciascun sito. Per questi compiti, ci si è avvalsi della consulenza specialistica dello studio professionale facente capo al Dott. For. Simonelli Riccardo, nonché di personale e laboratori di UCSC. In particolare, le misurazioni dendrometriche e pedologiche sono state completate con **analisi strumentali** volte alla determinazione di densità basali e apparenti per legno e suoli, nonché del contenuto % di C dei diversi campioni analizzati.

Per la ricostruzione del flusso di prodotti legnosi nel periodo storico di riferimento del progetto (1945-2020), si sono invece consultati gli archivi storici del Consorzio Agroforestale dei Comunelli di Ferriere e si sono eseguite interviste alle principali imprese forestali operanti nell'area. Per caratterizzare da un punto di vista sia operativo sia selvicolturale l'intervento di conversione "irregolare" all'alto fusto, nell'estate 2020 UCSC ha quindi organizzato un **cantiere dimostrativo** all'interno della parcella sperimentale di Selva di Ferriere (C₁), provvedendo al rilievo di tutti i dati relativi al taglio. L'intervento selvicolturale è stato di fatto eseguito su una superficie di 695 m² dalla Cooperativa Monte Ragola di Rompeggio (Ferriere) e ha prodotto legname di discreta qualità tecnologica, che è stato ritirato gratuitamente dalla segheria Aschieri-De Pietri di Fossacaprara (CR).



Una fase delle operazioni di concentrazione nel cantiere dimostrativo di Selva di Ferriere: il materiale per segheria è allestito in tronchi di 210 cm con diametro in punta > 15 cm.

Con questo piccolo lotto di legname (40 qli), sono stati sperimentalmente realizzati listelli di legname da assemblare per la **costruzione di pallets** destinati alla filiera della ceramica. In occasione delle lavorazioni dei tronchi di faggio provenienti dal sito sperimentale, sono stati infine rilevati tipologia, caratteristiche tecniche e produttività di tutti i macchinari utilizzati. Al tempo stesso, attraverso interviste ai principali attori delle rispettive **filiera produttive**, sono state analizzate anche le lavorazioni necessarie alla produzione di legna da ardere e alla fornitura di cippato per caldaie o centrali a biomasse legnose destinate alla produzione di energia termoelettrica.

Complessivamente, le attività svolte hanno permesso di **quantificare i serbatoi di C** accumulati nei diversi tipi di ecosistemi forestali e, con essi, sia la quantità di carbonio complessivamente sottratta all'atmosfera negli ultimi 75 anni, **dal 1945 al 2020**, sia la quantità di **emissioni di gas climalteranti** generate dalle differenti strategie gestionali.

Area	Serbatoi di carbonio in foresta (ton C/ha)					Totale (ton C/ha)
	Biomassa epigea	Biomassa ipogea	Necromassa	Lettiera	Suolo	
A ₁	13,47	10,46	1,54	7,48	34,05	67,00
A ₂	47,28	15,28	0,89	16,49	21,11	101,05
A ₃	85,18	19,99	3,76	6,57	11,75	127,25
B ₁	111,96	26,28	2,28	16,33	12,89	169,74
B ₂	133,27	31,28	4,24	7,38	32,23	208,40
C ₁	104,97	24,64	1,01	13,89	13,33	157,84

Gestione forestale	Legname utilizzato (1945-2020)	Destinazione del legname (%)				
	m ³ /ha	Segati	Combustibile	Elettricità	Compost	Residui
Ceduo matricinato	500	-	90	-	-	10
Ceduo in conversione	175	10	76	5	4	5

Gestione forestale	Utilizzo di energia da fonti fossili				Consumo di materiali non rinnovabili
	Gasolio (kg/ha)	Olio (kg/ha)	Trasporti (km/ha)	Elettricità (MWh/ha)	Metalli, plastiche (kg/ha)
Ceduo matricinato	5290	112	5000	-	331,6
Ceduo abbandonato	-	-	-	-	-

Ceduo in conversione	1858	35	2335	1,05	184,9
----------------------	------	----	------	------	-------

L'opzione della **cippatura dei residui** forestali, infine, è stata analizzata in termini di emissioni complessive di cantiere e filiera di trasformazione, a fronte delle quantità di energia termica o energia elettrica prodotte in riferimento alle due forme gestionali di tipo attivo.

Gestione forestale	Utilizzo di energia da fonti fossili				Materiali non rinnovabili	Energia prodotta	
	Gasolio (kg/ha)	Olio (kg/ha)	Trasporti (km/ha)	Elettricità (MWh/ha)	Metalli, plastiche (kg/ha)	Calore (MWh/ha)	Elettricità (MWh/ha)
Ceduo matricinato	316,3	2,5	172,8	0,44	402,7	91,82	40,66
Ceduo in conversione	56,0	0,4	30,6	0,08	71,3	15,30	6,78

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

Le attività realizzate nei campi prova sono risultate sostanzialmente in linea con il progetto originario. Le uniche differenze sostanziali sono risultate le seguenti:

- per il **campo sperimentale n.1** La società agricola agricola B&B per le operazioni di gestione delle prove sperimentali ha usufruito della manodopera dell'operaio Galli Andrea rispetto al nome (Luigi Bisi) dichiarato in fase di approvazione del progetto, in quanto quest'ultimo nelle fasi iniziali del progetto ha ottenuto i requisiti di età pensionabile. La semina su sodo delle cover crop interfilari è stata eseguita invece con una macchina combinata (erpice+seminatrice) della ditta Cuneo Agricoltura snc un fornitore differente da quello indicato in fase di approvazione del progetto: questo cambio si è reso necessario in quanto il letto di semina nell'aprile 2018 non era idoneo per la semina su sodo. Inoltre, in seguito ad un evento alluvionale prolungato a fine Novembre 2019 (più di 10 giorni) la prova ha subito dei notevoli danni in seguito alla deposizione di circa 5 cm di sedimento fine (limo + argilla). Questo ha comportato un campionamento di suolo ulteriore e la necessità di effettuare una raccolta di biomassa per la stima della produttività dei miscugli polifiti in un altro campo sperimentale. All'interno di una prova sperimentale al secondo anno presso l'az. agricola Cerzoo sono state selezionati dei miscugli prativi identici a quelli seminati in questo campo sperimentali e i dati dei 3 sfalci al secondo anno di prova sono stati utilizzati per la stima della produzione potenziale di tali miscugli in assenza di esondazioni e interferenze con la fertilità de suolo legate alla deposizione di limo e argilla. La raccolta dati relativi alle emissioni di CO2 dal suolo nel campo sperimentale con inerbimento interfilare e in quello ove è stata dismesso un pioppeto ha subito una modifica nel piano di monitoraggio in cui i flussi di CO2 dal suolo sono stati interrotti. La deposizione di materiale legnoso e sedimento fine ha comportato una sommersione degli apparati di misurazione e si è deciso di interrompere tale monitoraggio in quanto il bilancio del C non avrebbe potuto essere condotto con le medesime condizioni sperimentali nei 3 anni del progetto.
- per il **campo sperimentale n.2** L'impossibilità di variare la profondità di riconversione ha imposto un cambio di gestione della riconversione convenzionale e conservativa. La profondità di riconversione è stata la stessa sia per convenzionale che per conservativo mentre è stata adottata una diversa gestione del suolo dopo la riconversione (no till + Cover crops vs Minima lavorazione). Rispetto al piano operativo, dopo la riconversione, avvenuta nel giugno 2018, è stato seminato sorgo da biomassa al posto del mais (coltura con minori esigenze irrigue). La semina su sodo di soia, frumento e cover crop negli appezzamenti con "agricoltura conservativa è stata effettuata con un fornitore differente da quello indicato in fase di approvazione del progetto. È stata utilizzata una seminatrice da sodo a 20 file (Bertini Modello 22.000) della Ditta Passera Mauro. A seguito di prove condotte con la seminatrice della ditta Ferrari Sergio e Luciano le aziende agricole e i tecnici dell'università hanno convenuto sul cambio fornitore in quanto con il modello Bertini il solco di semina e il taglio dei residui colturale avveniva in maniera più idonea. Dopo le prime prove avvenute con successo con la prima semina delle cover crop nell'autunno dell'anno 2018 si è deciso di continuare con l'utilizzo di tale seminatrice da sodo alla semina anche con le due

	<p>semine di cover e della soia. Inoltre, nel monitoraggio post-riconversione del ciclo del C non è stata eseguita l'analisi del contenuto di C nelle frazioni di aggregati del suolo in quanto non si sono osservate differenze significative nelle tesi sperimentali. Questo cambiamento è stato necessario in quanto la dinamica di aggregazione delle particelle di suolo ha mostrato un andamento pressoché costante senza differenze tra le tesi CT e MT sia in termini di contenuto che concentrazione di C delle varie frazioni di aggregati (micro e macro aggregati). Si è deciso pertanto di concentrare gli sforzi di raccolta dati in campo al fine di potenziare il dataset per la calibrazione/validazione del modello ECOSSE che è stato utilizzato per la redazione del bilancio del C su questo campo sperimentale (si veda attività modellistica dell'azione 4). L'azienda agricola Buschi Fratelli per le operazioni di gestione delle prove sperimentali ha usufruito della manodopera dell'operaio Martinica Petru Petre (livello specializzato).</p> <ul style="list-style-type: none"> • per il <u>campo sperimentale n.3</u>, la raccolta manuale di tipo non distruttivo è stata introdotta al fine di poter valutare nuovi utilizzi di tipo durevole per il miscanto; inizialmente, essi non erano stati valutati come adatti a questo tipo di biomassa, ma di fatto sono stati riconosciuti tali al procedere delle attività sperimentali relative al progetto di ricerca europeo GRACE, tuttora in corso e di cui UCSC è partner. Inoltre, il partner Rocca dei Folli Village che ha ospitato il campo sperimentale n°3 non ha usufruito del budget a disposizione per l'assunzione della manodopera per la messa in opera e la gestione delle prove sperimentali. La supervisione scientifica delle prove è stata fatta in accordo come da progetto con personale UCSC il quale ha coordinato il personale del partner nell'esecuzione delle prove sperimentali di coltivazione a strisce del miscanto presso i terreni di proprietà del partner. Il partner Rocca dei Folli Village, pertanto, non esegue la rendicontazione finanziaria in quanto si è avvalso di personale proprio per lo svolgimento delle attività dell'azione 3. • per il <u>campo sperimentale n.4</u>, l'impossibilità di destinare i tronchi di faggio alle falegnamerie, viste le ridotte dimensioni del materiale ottenuto dall'intervento di diradamento della fustaia transitoria, ha imposto un cambio di destinazione del legname utilizzabile per impieghi durevoli. In realtà, il pallet non è un tipo di prodotto con vita utile pari a quella di una seggiola, per rifarsi all'es. indicato nel progetto iniziale, ma la possibilità di più riutilizzi prima della sua dismissione finale consente di ipotizzare una durata del prodotto legnoso, comunque, non inferiore a 4-5 anni.
Attività ancora da realizzare	

Azione	<u>Azione 4</u> - Redazione del bilancio del C e valutazione dell'impronta carbonica
Unità aziendale responsabile	UCSC - DIPROVES
Descrizione delle attività	<p>Basandosi sui quattro set di inventari realizzati, ciascuno per il corrispondente campo sperimentale, si è proceduto al calcolo dei rispettivi bilanci di C a mezzo del software Gabi Thinkstep in modo da poter confrontare fra loro le differenti opzioni colturali o gestionali (convenzionale vs. conservativa). Per ogni pratica di gestione analizzata sono stati compilati dettagliati inventari dei diversi serbatoi di C interessati (suolo, vegetazione e prodotti) e dei flussi di C nell'agroecosistema. L'indicatore utilizzato è definito come le tonnellate di carbonio per superficie per anno ($Mg\ C\ ha^{-1}\ y^{-1}$). Questa analisi ha permesso la quantificazione delle emissioni totali di gas serra climalteranti con le metriche raccomandate dall'IPCC attraverso uno studio di <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA). L'unità funzionale di riferimento è stata l'ettaro di superficie gestita, mentre l'indicatore utilizzato è stato definito come tonnellate di carbonio per superficie per anno ($Mg\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$).</p> <p>In particolare, per i campi sperimentali 1 e 2 i confini del sistema analizzato hanno incluso la sola fase di coltivazione, per cui è stata messa in evidenza la differenza di GWP tra una gestione "convenzionale" e la gestione "conservativa" delle colture proposta dal Piano Operativo. Per i campi sperimentali 3 e 4, invece, i confini del sistema sono stati allargati per comprendere anche l'utilizzo della biomassa prodotta e, quindi, le intere filiere produttive.</p>

Campo sperimentale n°1

Nel caso delle cover coltivate sotto pioppeto in zone golenali, i bilanci realizzati sono stati due, uno per la pratica convenzionale e uno per la pratica conservativa. I dati relativi alle emissioni e consumi di C legate alle fasi di coltivazione delle cover (Preparazione suolo, semina, sfalcio) o delle lavorazioni del suolo nel caso della pratica convenzionale sono stati raccolti presso la società agricola B&B srl dal personale UCSC. Lo scenario temporale di coltivazione è stato di 10 anni considerando il ciclo di coltivazione classico di un pioppeto tradizionale. Il serbatoio del C considerato è stato calcolato annualmente ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e cumulativamente nei 10 anni (Mg C ha): la capacità di sequestro nel C nel suolo da parte delle cover è stata considerata per i primi 6 anni di coltivazione (oltre i quali il pioppeto va ad ombreggiare completamente l'interfila limitando esponenzialmente la crescita delle cover) utilizzando dati pubblicati su letteratura internazionale. Il sequestro di C nei prodotti legnosi del pioppeto e nella biomassa ipogea dello stesso non è stato considerato in quanto è stato assunto che la coltivazione delle cover non avesse influenza sulla produttività del pioppeto, che per tanto era presente in entrambe le pratiche e quindi non considerato.

Campo sperimentale n°2

Nel caso della riconversione di colture poliennali da biomassa, sono state confrontate due diverse gestioni del terreno dopo la riconversione: gestione con cover e semina su sodo contro gestione con minima lavorazione. I dati relativi alle emissioni e consumi di C legate alle fasi riconversione e gestione del suolo (riconversione, preparazione suolo semina, diserbi e raccolte) sono stati raccolti presso la società agricola Buschi Fratelli dal personale UCSC. Lo scenario temporale considerato riguarda i primi due anni successivi alla riconversione. Il serbatoio del C considerato è stato calcolato annualmente ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e cumulativamente nei 2 anni (Mg C ha). I dati raccolti in campo (prima della riconversione per quantificare i serbatoi di C nel suolo e nella biomassa ipogea, pubblicati sulla rivista internazionale Global Change Biology Bioenergy (10.1111/gcbb.12785) e successivi alla riconversione sono stati utilizzati per la calibrazione e validazione di un modello matematico del C del suolo (ECOSSE, Università di Aberdeen, Scozia), i cui risultati sono stati utilizzati nel calcolo del bilancio del C nel suolo.

Campo sperimentale n°3

Nel caso del miscanto coltivato a strisce su terreni declivi, sono state analizzate e messe a confronto la valorizzazione energetica (combustione) con due tipi di utilizzo alternativo della biomassa: a) come materiale da costruzione (case di balle di paglia) e b) come alternativa all'uso di bamboo e canna palustre nel confezionamento di prodotti per giardinaggio (bastoncini per vivaistica), riforestazione (cannette segnaletiche, supporti per shelter) o bio-edilizia (stuoie, arelle, pannelli isolanti). I tre casi sopra esposti sono quindi stati confrontati con una coltivazione tradizionale di erba medica senza strisce di miscanto in rotazione con cereali a paglia. La biomassa di miscanto per uso edilizio è stata imballata e le balle ipotizzate essere utilizzate direttamente nella costruzione delle case di balle di paglia. Gli altri utilizzi del miscanto sono andati incontro ai seguenti processi di trasformazione della biomassa: raccolta steli manuale in campo, trasporto fascine di steli presso centro di stoccaggio/processamento (idealmente presso sede aziendale), assortimento/selezione/taglio manuale degli steli per diversi prodotti durevoli in funzione di diametro, curvatura e rigidità, defoliazione. Nel caso delle stuoie e arelle per la bioedilizia si è prevista la spedizione presso Lacep srl per la produzione dei suddetti prodotti. I dati relativi ai consumi delle varie linee di produzione sono stati calcolati secondo prove manuali di raccolta e processamento da parte del personale UCSC e interviste a tecnici del settore che operano con le canne palustri. I dati relativi alle emissioni e consumi di C legate alle fasi di coltivazione del miscanto (trapianto, raccolta, trasporto e stoccaggio) e dell'erba medica/cereali sono state raccolte dal personale di Rocca dei Folli. Lo scenario temporale di coltivazione è stato di 15 anni: 15 anni di miscanto e 3 cicli di 3 anni di medicaio alternati a 2 anni di cereali autunni vernini (frumento o orzo). I serbatoi del C considerati sono stati calcolati annualmente ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e cumulativamente nei 15 anni (Mg C ha): biomassa epigea (dati primari raccolti nel progetto nei primi 2 anni e stimati da prove in ambiente marginale in provincia di Piacenza per gli anni 3-15), biomassa ipogea (radici fini + rizomi, dati primari raccolti

nel progetto nei primi 2 anni e stimati da prove in ambiente marginale in provincia di Piacenza per gli anni 3-15), sequestro nel C nel suolo (campioni analizzati nel corso del progetto per i primi 2 anni, per gli anni 3-15 si sono utilizzati dati pubblicati da UCSC su riviste internazionali derivanti da prove in Provincia di Piacenza), perdita di C per mancata erosione del suolo (dato ottenuto da applicazione modello RUSLE a livello territoriale).

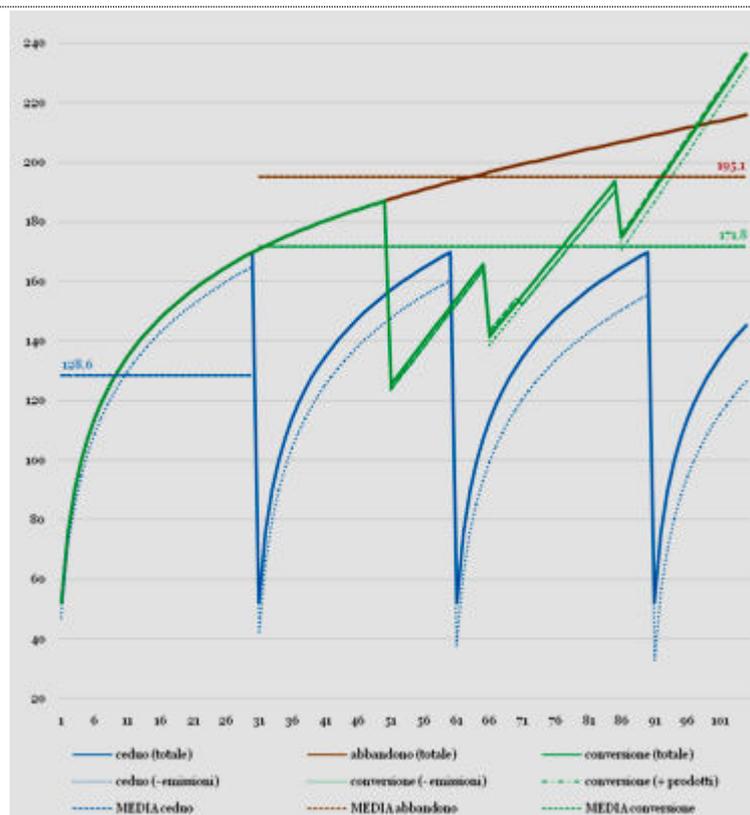
Campo sperimentale n°4

Nel caso delle faggete appenniniche, i modelli selvicolturali comparati hanno riguardato: 1) la gestione ordinaria del ceduo matricinato di faggio, finalizzata alla produzione di legna da ardere; 2) l'abbandono definitivo del ceduo con conseguente evoluzione naturale di tipo incontrollato; 3) la conversione all'alto fusto del ceduo invecchiato secondo interventi di tipo irregolare finalizzati alla disetaneizzazione della futura fustaia, con contestuale produzione di assortimenti adatti a impieghi durevoli.

L'azione ha quindi previsto un'analisi dettagliata dei processi di stoccaggio di C biogenico e dei consumi legati alle attività di utilizzazione e trasformazione della biomassa legnosa, portando a evidenziare le **migliori strategie per la gestione dei cedui di faggio** dell'Appennino emiliano-romagnolo relativamente a un orizzonte temporale di 100 anni. A tal fine, sulla base dei dati effettivamente raccolti in bosco, sono stati costruiti gli scenari di crescita, utilizzazione e trasformazione del legname di faggio in relazione alle tre opzioni messe a confronto.

Al riguardo, è emerso come la scelta di un mantenimento del governo a ceduo risulti la meno favorevole in termini di stoccaggio del C in boschi e prodotti legnosi, a causa dell'impatto significativo dei cantieri di utilizzazione e della breve vita utile della legna da ardere. L'abbandono colturale risulta, invece, l'opzione migliore ma solo nel medio periodo, dal momento che al superamento dei 70 anni i boschi abbandonati riducono fortemente il loro ritmo di accrescimento e aumentano l'incidenza della necromassa sulla provvigione totale. La **conversione dei cedui invecchiati all'alto fusto** appare, al contrario, la soluzione in grado di garantire le migliori performance nello stoccaggio di C a lungo termine. La **fustaia disetaneiforme**, in particolare, grazie alla provvigione legnosa elevata e costante, all'ottima stabilità strutturale e alla capacità di fornire materiali richiesti da segherie e falegnamerie per la produzione di beni durevoli, appare la scelta in grado di immagazzinare i maggiori quantitativi di C già a partire dal 97-98° anno di età del bosco in conversione.

Il seguente grafico illustra, in sintesi, l'andamento dello stoccaggio di carbonio (espresso in ton C per ettaro) nei tre sistemi forestali messi a confronto, al netto dei consumi della filiera e compresi i prodotti legnosi per la durata della loro vita utile.



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

Lo sviluppo delle LCA ha rispettato pienamente le indicazioni del PO, arricchendo le analisi con gli aspetti già messi in evidenza per l'azione 2. Non si sono evidenziate criticità al riguardo. In particolare, l'utilizzo del modello ECOSSE nel campo sperimentale 2 ha permesso di ottenere dati relativi ai flussi del C dettagliati a livello giornaliero per le diverse pratiche e per l'intera durata della prova progettuale (2 anni di rotazione dopo la riconversione). Nel campo sperimentale 3 l'analisi territoriale del potenziale antierosivo delle fasce coltivate a miscanto ha permesso di ottenere dati più solidi circa il bilancio del C della pratica della coltivazione a strisce (*strip cropping*) lungo le curve di livello di terreni declivi. L'applicazione del modello RUSLE all'intero territorio comunale di Ferriere utilizzando dati geospazializzati ad alta risoluzione e dati primari sul bilancio del C (scenario a 15 anni) della coltivazione del miscanto hanno permesso di ottenere dati medi altamente rappresentativi delle condizioni geomorfologiche e pedoclimatiche delle vallate appenniniche emiliane.

Attività ancora da realizzare

Azione	Formazione
Unità aziendale responsabile	Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. SpA e con Consorzio Comunalie Parmensi
Descrizione delle attività	<p>La proposta formativa di Coaching personalizzato N.5015823 (CRPA) rivolta agli imprenditori agricoli fornisce strumenti per comprendere i fattori che incidono sul degrado del suolo correlati a pratiche agricole inappropriate, motivando l'adozione di tecniche di agricoltura conservativa e pratiche di lavorazione rispettose del suolo, come il ruolo delle fasce tampone sulla qualità delle acque e dell'ambiente.</p> <p>Gli incontri formativi (coaching) hanno permesso il confronto con la realtà dell'agricoltore/imprenditore e l'approfondimento di metodi gestione di pratiche agronomiche migliori e appropriate, anche in relazione ai risultati del piano di innovazione.</p> <p>Nonostante il momento di emergenza sanitaria, appena possibile, si è cercato di proporre un</p>

	<p>calendario di incontri condiviso e compatibile con gli impegni in campagna. Sono stati organizzati 2 incontri individuali per singola azienda agricola/partecipante, raggruppati nelle giornate del 27, 29 gennaio 2021 e 3, 5 febbraio 2021, consegnato il materiale didattico e durante l'ultimo incontro effettuato un test di apprendimento e approfondimento.</p> <p>Il coaching è stato articolato in due moduli:</p> <p>1- <u>I problemi ambientali e le misure agroambientali</u>: si è inteso incentivare la conoscenza e sensibilità alla sostenibilità ambientale approfondendo i processi di degrado del suolo, la relazione tra pratiche di gestione del suolo, problemi ambientali e misure agroambientali e pratiche conservative per lo stoccaggio del C a livello di azienda agricola.</p> <p>2- <u>Come ridurre il degrado del suolo mediante l'attuazione di pratiche agricole conservative</u>: coinvolgimento nell'utilizzazione dei principali strumenti attualmente disponibili quali pratiche conservative per lo stoccaggio del C a livello di azienda agricola, come la lavorazione conservativa del suolo (semina su sodo e lavorazione ridotta del terreno) e interventi di avviamento di un pioppeto attraverso inerbimento interfilare con cover crop poliennali; tecniche di ripristino conservativo del terreno a fine ciclo produttivo di colture poliennali erbacee (arundo, miscanto, panico).</p> <p>La proposta formativa presentata dal Consorzio Comunalie Parmensi (proposta n. 5015822) era rivolta alle aziende forestali del territorio con lo scopo di illustrare le modalità di gestione della proprietà boschive con particolare riferimento agli interventi di conversione dei cedui all'alto fusto. L'attività è stata svolta in data 23 gennaio 2021, verso la fine del programma, in quanto l'emergenza sanitaria non aveva permesso nel periodo estivo l'organizzazione del coaching. L'azienda partecipante è stata il Consorzio dei Comunelli di Ferriere, nella persona del suo Presidente Giovanni Cavanna; data l'abbondante presenza di neve nel periodo, il coaching è stato realizzato presso la sede del Consorzio a Ferriere. L'attività di coaching si è incentrata non solo sulle tecniche di taglio per trasformare il ceduo in alto fusto, ma soprattutto nell'evidenziare le potenzialità in termini di assorbimento di CO2 rispetto alle altre forme di gestione selvicolturali. Al termine del coaching è stato rilasciato al partecipante la relazione tecnica sugli argomenti discussi.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico- scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Azione completata</p>
Attività ancora da realizzare	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p>

Azione	Divulgazione
Unità aziendale responsabile	Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. SpA in collaborazione con Consorzio Comunalie Parmensi (per attività legate al settore forestale)
Descrizione delle attività	<p>Nel corso della durata del progetto Farm CO2Sink si è data diffusione delle attività realizzate, allo scopo di divulgarne i risultati, attraverso azioni dirette ed indirette a favore delle aziende agricole operanti nel settore agricolo e forestale e di tutti gli operatori pubblici e privati coinvolti nella gestione del territorio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ideazione e realizzazione di una linea grafica coordinata per tutti gli strumenti di comunicazione. • Attivazione di una pagina internet di progetto (www.farmco2sink.crpa.it), da cui è possibile scaricare tutta la documentazione prodotta (materiale divulgativo, bibliografia tecnico-scientifica, materiale multimediale, presentazioni a incontri tecnici e convegni) e consultare la sezione "blog" che riporta sottoforma di news tutte le attività tecniche e divulgative eseguite. • Attivazione delle statistiche di registrazione e gestione dei contatti del sito web, che hanno evidenziato un accesso da parte di n. 776 utenti, n. 1036 visite totali, con una media 2,79

	<p>pagine visualizzate durante ogni sessione. L'84,2% dei visitatori ha avuto accesso da desktop, il 14,1% da mobile, mentre il restante 1,7% da tablet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ideazione e stampa dei seguenti prodotti divulgativi: un roll up di progetto (giugno 2020) (http://farmco2sink.crpa.it/media/documents/farmco2sink_www/F2S_rollup_004_LQ-RGB.pdf?v=20201106) e un opuscolo informativo con i risultati del Piano (febbraio 2021) (http://farmco2sink.crpa.it/media/documents/farmco2sink_www/FARMCO2SINK_Opuscolo_risultati_finali.pdf?v=20210215) • Stesura e pubblicazione di Articoli tecnico-divulgativi (2 da parte del CRPA e 1 dal Consorzio Comunalie Parmensi): <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>FarmCO Sink: "sequestrare" C nel suolo per ridurre il cambiamento climatico</i> uscito sulla rivista online AgroNotizie il 26/10/2020 - CRPA; ○ <i>Riconversione di impianti da biomassa con colture erbacee</i> di E. Martani, A. Ferrarini, M. Pilla, S. Amaducci uscito sulla rivista L'Informatore Agrario n.3/2020 p. 56-58 - CRPA; ○ <i>Belowground biomass C outweighs soil organic C of perennial energy crops: Insights from a long-term multispecies trial</i> a cura di Enrico Martani Andrea Ferrarini Paolo Serra Marcello Pilla Andrea Marcone Stefano Amaducci pubblicato su Global Change Biology and Bioenergy il 10/12/2020 (non fra quelli previsti). ○ <i>Cambiamenti climatici, gestione alternative dei boschi di faggio</i> pubblicato su AgroNotizie, 21/12/2020 a cura del Consorzio Comunalie Parmensi. • Stesura e invio di n. 2 Comunicati stampa a giornalisti e organi della comunicazione: <ul style="list-style-type: none"> ○ Comunicato Stampa n.1 inviato il 28/12/2020 con newsletter CrpaInforma n. 22-2020 con I primi risultati di progetto; ○ Comunicato Stampa n.2 inviato a fine progetto con CrpaInforma n. 5-2021 con le conclusioni delle attività. • Realizzazione di n. 3 giornate tecniche in modalità webinar (n. 2 organizzate da CRPA e n. 1 da Consorzio Comunalie Parmensi): <ul style="list-style-type: none"> ○ 1° Giornata Tecnica, il 15 luglio 2020, (organizzata da CRPA) alla presenza di n. 21 portatori d'interesse, mandato invito con newsletter CrpaInforma n. 8/2020, con la presentazione: <i>Risultati preliminari del Gruppo Operativo: riconversione di colture poliennali, coltivazione di colture poliennali a strisce su terreni declivi</i> a cura di Enrico Martani, Andrea Ferrarini e Marcello Pilla – Università Cattolica del Sacro Cuore.
	<ul style="list-style-type: none"> ○ 2° Giornata Tecnica, il 9 novembre 2020, (organizzata da CRPA) alla presenza di n. 22 portatori d'interesse, mandato invito con newsletter CrpaInforma n. 17/2020 e accreditamento all'Ordine dei dottori agronomi e forestali per il riconoscimento del CFP, con la presentazione: <i>Stoccaggio di carbonio e riduzione delle emissioni di gas climalteranti a livello di azienda Agricola</i> a cura di Stefano Amaducci, Andrea Ferrarini, Marcello Pilla, Enrico Martani – Università Cattolica del Sacro Cuore. ○ 3° Giornata Tecnica, il 9 dicembre 2020, (organizzata dal Consorzio Comunalie Parmensi) alla presenza di n. 12 stakeholder tra dottori agronomi forestali e accreditamento all'Ordine dei dottori agronomi e forestali per il riconoscimento del CFP, con la presentazione: <i>Stoccaggio di carbonio e riduzione delle emissioni di gas climalteranti a livello di azienda Agricola</i> a cura di Stefano Amaducci, Andrea Ferrarini, Marcello Pilla, Enrico Martani - Università Cattolica del Sacro Cuore. <ul style="list-style-type: none"> • Realizzazione di un convegno finale in modalità webinar, il 16 febbraio 2021, alla presenza di n. 45 partecipanti. Inviata newsletter di invito con CrpaInforma n. 3/2021. Di seguito i titoli delle relazioni: <ul style="list-style-type: none"> ○ <i>Stoccaggio di carbonio e riduzione delle emissioni di gas climalteranti a livello di azienda Agricola</i> a cura di Stefano Amaducci – UCSC; ○ <i>Sequestro di carbonio in terreni marginali di pianura: il caso del pioppeto in area golenale e le colture poliennali da biomassa</i> a cura di Enrico Martani – UCSC; ○ <i>Miscanto a strisce in appennino: bilancio di carbonio di prodotti durevoli a ridotta impronta carbonica</i> a cura di Andrea Ferrarini – UCSC; ○ <i>Confronto fra gestioni selvicolturali in boschi di Faggio</i> a cura di Marcello Pilla – UCSC; • Programmazione e realizzazione di un servizio televisivo con riprese effettuate a giugno 2020 al campo sperimentale di Gariga di Podenzano (PC), andato in onda all'interno della Rubrica di agricoltura <i>A Cielo Aperto – Con I Frutti della Terra</i>, su emittenti: TRC canale

	<p>11 sabato 27 giugno 2020 alle h 17.15 e h 23, domenica 28 giugno alle h 12.30; TRC canale 15 domenica 28 giugno alle h 13.30, h 17 e h 23; canale 518 SKY domenica 28 giugno alle h 10.00 e h 17.45. Inoltre in seguito è stato diffuso anche su emittente Telelibertà Piacenza l'11 luglio 2020 h 18.29 e h 23.02 e il 12 luglio h 18.36 3 h 20.01.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Con immagini ed interviste del servizio Tv è stato prodotto un videoclip di progetto condiviso sul sito web: (http://farmco2sink.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=20926&tt=t_bt_app1_www) • Diffusione delle iniziative promosse nel progetto Farm CO2Sink, con social Twitter tramite account @cpasocial (05/10/20, 10/02/21 e 16/02/21). • Comunicazione dei risultati del gruppo operativo con formati richiesti per essere condivisi sul sito internet della rete PEI (www.eip-ari.eu) (UNICATT)
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico- scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Rispetto al Piano si sono realizzati webinar in sostituzione degli incontri tecnici e del convegno finale per sopraggiunti impedimenti dovuti a emergenza COVID-19.</p> <p>Ne consegue il non utilizzo dei costi per n. 3 coffee break e la stampa di cartelline per la distribuzione di materiale in occasione di eventi in presenza.</p>

2.2 Personale

Elencare il personale impegnato, il cui costo è portato a rendiconto, descrivendo sinteticamente l'attività svolta. Non includere le consulenze specialistiche, che devono essere descritte a parte.

UCSC AZIONE 1

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore	Coordinamento	218	€ 8,666.79
			Totale	€ 8,666.79

UCSC AZIONE 2

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore	Raccolta dati e creaz inventory	101	€ 3,997.73
	Tecnico	Raccolta dati e creaz inventory	50	€ 1,859.50
	Assegnista di ricerca	Raccolta dati e creaz inventory	1720	€ 23,789.64
			Totale	€ 29,646.87

UCSC - SOC.AGR BUSCHI FRATELLI - SOC.AGR B&B s.r.l. AZIONE 3

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore	Adozione di pratiche agricole conservative	45	€ 1,813.35
	Ricercatore	Adozione di pratiche agricole conservative	132	€ 3,399.00
	Tecnico	Adozione di pratiche agricole conservative	100	€ 3,719.00
	Assegnista di ricerca	Adozione di pratiche agricole conservative	1076	€ 14,868.53
	Contrattista	Adozione di pratiche agricole conservative	616	€ 9,149.74
	Collaboratore	Adozione di pratiche agricole conservative	436	€ 8,152.82

	Operaio Agricolo specializzato	Adozione di pratiche agricole conservative	817	€ 14,820.59
			Totale	€ 55,923.03

UCSC

AZIONE 4

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Professore	Redazione del bilancio C e valutazione impronta carbonica	99	€ 3,975.94
	Ricercatore	Redazione del bilancio C e valutazione impronta carbonica	157	€ 4,042.75
	Tecnico	Redazione del bilancio C e	50	€ 1,859.50
	Contrattista	Redazione del bilancio C e	784	€ 13,832.37
	Contrattista	Redazione del bilancio C e	385	€ 3,787.02
	Contrattista	Redazione del bilancio C e	251	€ 2,426.37
			Totale	€ 29,923.95

AZIONE 5

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
CRPA	Impiegato	assistenza organizzativa divulgazione	53	€ 1,111.41
CRPA	Impiegato	assistenza organizzativa divulgazione	112	€ 2,524.48
CRPA	Tecnico	gestione sito web	20	€ 515.80
CRPA	Ricercatore	supporto tecnico attività divulgazione	293	€ 6,104.36
CCP	Impiegato	Operatore della divulgazione	42	€ 969.36
CCP	Impiegato	Operatore della divulgazione	75	€ 1,487.25
Totale:				€ 12,712.66

2.3 Trasferte

UCSC

Cognome e nome	Descrizione	Costo
Amaducci Stefano	AZIONE 1	€ 210.90
Ferrarini Andrea	AZIONE 2	€ 187.46
Marcello Pilla	AZIONE 2	€ 1,766.40
Ferrarini Andrea	AZIONE 3	€ 527.00
Marcello Pilla	AZIONE 3	€ 1,138.00
Volpato Edoardo	AZIONE 3	€ 192.82
Amaducci Stefano	AZIONE 4	€ 117.18
Totale:		€ 4,139.76

2.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
ELEMENTAR ITALIA SRL fornitore per Emme3	adsorption column CO2 compl.	€ 1,541.00
LOMBARD E MAROZZINI SRL	Tubi PR2/6 per umidità profilo suolo	€ 2,762.50
LOMBARD E MAROZZINI SRL	Sensore di flusso di calore	€ 960.00
CONSORZIO AGRARIO TERREPADANE	Semente cover crop	€ 601.73
Totale		€ 5,865.23

2.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

UCSC

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
GMR strumenti	Strumento misurazione emissioni CO2 dal suolo	€ 11,910.00
GMR strumenti	Datalogger FL Sens con sensori temperatura e umidità del suolo per misurazioni in continuo	€ 2,700.00
Ecosearch srl	Stazione meteo WatchDog 2900T	€ 1,763.00
Cornell University	Cornell Sprinkle infiltrometer	€ 1,857.25
Totale		€ 18,230.25

2.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

Descrivere i prototipi realizzati e i materiali direttamente imputabili nella loro realizzazione

UCSC

Fornitore	Descrizione	Costo
Thinkstep s.r.l.	GaBi Academy & GaBi Databases per LCA/eco-design	€ 5,800.00
Totale:		€ 5,800.00

2.7 Attività di formazione

Descrivere brevemente le attività già concluse, indicando per ciascuna: ID proposta, numero di partecipanti, spesa e importo del contributo richiesto

PROPOSTA CATALOGO VERDE 5015823 (CRPA)

La proposta formativa di Coaching personalizzato rivolta agli imprenditori agricoli fornisce strumenti per comprendere i fattori che incidono sul degrado del suolo correlati a pratiche agricole inappropriate, motivando l'adozione di tecniche di agricoltura conservativa e pratiche di lavorazione rispettose del suolo, come il ruolo delle fasce tampone sulla qualità delle acque e dell'ambiente.

Il Coaching è stato articolato nei previsti due moduli, i problemi ambientali e le misure agroambientali; come ridurre il degrado del suolo mediante l'attuazione di pratiche agricole conservative, con l'analisi dei risultati e verifica mediante test.

Sono stati organizzati 2 incontri individuali, suddivisi in due giornate e si allegano nella presente domanda di pagamento, nella piattaforma on-line SIAG i seguenti documenti: registro presenze, materiale didattico, test valutativo, questionario di gradimento, fattura quota di partecipazione.

	partecipante	Spesa	quota Azienda	contributo
Coaching 5015823 Az. Agricola Bruschi Fratelli		€ 372.00	€ 74.40	€ 297.60
Coaching 5015823 Az. Agricola B&B s.r.l.		€ 372.00	€ 74.40	€ 297.60
Totale CRPA		€ 744.00		€ 595.20

Alla quota partecipativa dell'Azienda Agricola è stata applicata l'IVA al 22%.

PROPOSTA CATALOGO VERDE 5015822 (Consorzio Comunali Parmensi)

La proposta formativa di Coaching personalizzato rivolta agli imprenditori forestali fornisce strumenti per comprendere le modalità di gestione forestale con particolare riferimento alla trasformazione dei cedui in alto fusto e alla potenzialità di questi in merito allo stoccaggio di CO2.

L'attività è stata svolta in data 23 gennaio 2021 a favore del Consorzio dei Comunelli di Ferriere, nella persona del suo Presidente Giovanni Cavanna. Si allegano nella presente domanda di pagamento, nella piattaforma on-line SIAG i seguenti documenti: registro presenze, materiale didattico, test valutativo, questionario di gradimento, fattura quota di partecipazione.

	partecipante	Spesa	quota Azienda	contributo
Coaching 5015822 Consorzio Comunelli di Ferriere –		€ 372,00	€ 74,40	€ 297,60
Totale CCP		€ 372,00	€ 74,40	€ 297,60

Alla quota partecipativa dell'Azienda Agricola è stata applicata l'IVA al 22%.

2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

UCSC

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	€ 1,023.51	Dichiarazione atto costitutivo ATS/ATI presso notaio	€ 583.73
	€ 9,180.00	Consulenza forestale 3 anni per raccolta dati forestali, monitoraggio produttività faggeta e gestione avviamento all'alto fusto	€ 9,000.00
		Totale:	18,583.75

CONSULENZE – SOCIETÀ

CRPA - SOC.AGR BUSCHI FRATELLI - SOC.AGR B&B s.r.l.

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Sia Servizi srl		€ 850.00	Servizio televisivo format A Cielo Aperto	€ 850.00
Altrimedia spa		€ 150.00	Diffusione servizio televisivo su emittente Telelibertà	€ 154.21

Consorzio Forestale Padano	Francesco Sarzi Sartori	€ 1,210.00	Ripristino terreno coltivato con specie poliennali erbacee e fresatura con macchina forestale Valentini	€ 1,210.00
Mancini Daniele & C snc		€ 2,750.00	Taglio e cippatura essenze arboree poliennali	€ 2,750.00
C/Terzi Passera Mauro		€ 85.80	Semina su Sodo	€ 85.80
Cuneo Agricoltura srl		€ 352.00	Semina cover crops poliennali	€ 352.00
Cooperativa Agricola e Zootecnica Monte Ragola		€ 2,440.00	Contoterzi per "Taglio faggeta per avviamento all'alto fusto"	€ 2,000.00
Totale:				€ 7,402.01

3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Le sinergie sulle quali si è fondata la cooperazione fra gli enti partecipanti al GO si sono dimostrate efficaci nel risolvere le criticità che si sono presentate durante l'arco del periodo progettuale. In particolare, le annate 2018 e 2019 hanno visto delle problematiche nella scelta e nella gestione delle colture (tempistica semine, preparazione del terreno) in seguito a eventi climatici estremi prima e durante la stagione sia di natura puntiforme che prolungati (es. maggio 2018 e ottobre 2019 con piovosità sopra la media). In tutti i casi le aziende agricole insieme ad UCSC hanno individuato le soluzioni agronomiche migliori per soddisfare i fabbisogni aziendali e progettuali. Dal punto vista finanziario l'unica nota è il partner Rocca dei Folli Village non esegue rendicontazione finanziaria in quanto si è avvalso di personale proprio per lo svolgimento delle attività dell'azione 3. Le attività di implementazione delle fasce di miscanto in Val Nure come la selezione dei lotti boschivi nelle faggete appenniniche si sono svolte in linea con quanto indicato nella proposta progetto. Vi sono stati piccoli scostamenti nella tipologia e nella frequenza di acquisizione di alcune tipologie di dati (es. campionamento di gas e del suolo) o nella modalità di elaborazione degli stessi (sostituzione di alcuni indicatori con simulazioni modellistiche come nei campi sperimentali n°2 con ECOSSE e n°3 con il modello RUSLE). Tuttavia, i risultati sono stati raggiunti in linea con quanto delineato nel piano operativo aggiungendo invece scenari di confronto sul bilancio di C di linee di prodotti a bassissima impronta carbonica. In tutti i casi UCSC ha provveduto ad identificare la miglior soluzione tecnico-scientifica per soddisfare gli obiettivi progettuali, incrementando ad esempio le misurazioni o adottandone di sostitutive. È il caso dei prodotti durevoli a base di miscanto che hanno permesso di valorizzazione le applicazioni di tale coltura in ambiente marginale appenninico (terreni declivi propensi a fenomeni comuni di erosione superficiale) senza intaccare sostanzialmente la gestione dei seminativi. In alcuni casi si è inoltre provveduto ad eseguire attività aggiuntive per dare più valore ai dati acquisiti durante i tre anni di progetto come testimonia l'azione 3 ove nel campo sperimentale n°2 (riconversione sistemi colturali poliennali) è stata eseguita un'attività aggiuntiva non prevista di modellizzazione di scenari di gestione del suolo che ha arricchito un bilancio dettagliato dei flussi di C nel sistema suolo-pianta oppure gli scenari di gestione pluriennali a 100 anni dei lotti boschivi a faggeta del campo sperimentale n°4 i quali hanno offerto un quadro esaustivo del panorama di tecniche selvicolturali disponibili nell'appennino tosco-emiliano.

Criticità tecnico-scientifiche	Piccole criticità legate alla semina su sodo risolte con la scelta di un modello idoneo e di un contoterzista disponibile durante le semine autunno-vernine. In generale le varie criticità tecnico-scientifiche sono state affrontate dal personale UCSC con la rielaborazione di strategie sostitutive di medesima se non maggiore valore scientifico di acquisizione e successiva elaborazione del dato scientifico. Le strategie sostitutive di raccolte dati hanno visto sia l'acquisizione di dati primari che reperimento di dati di letteratura (esempio consumi e costi energetici operazioni di raccolta e trasformazione della biomassa).
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Segnaliamo la difficoltà nel reperimento della semente cover crop e dei conto terzi durante i periodi critici della stagione culturale (soprattutto per la semina e la raccolta). Alcune aziende agricole hanno dovuto rivolgersi ad altri conto terzi della zona (con prezzi unitari uguali al fornitore vincitore dei tre preventivi) come riportato in maniera specifica nell'azione 3 (Box: Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità).
Criticità finanziarie	Il partner Rocca dei Folli Village non esegue rendicontazione finanziaria in quanto si è avvalso di personale proprio per lo svolgimento delle attività dell'azione 3.

4 - Altre informazioni

Riportare in questa sezione eventuali altri contenuti tecnici non descritti nelle sezioni precedenti

Nessuna

5 - Considerazioni finali

Riportare qui ogni considerazione che si ritiene utile inviare all'Amministrazione, inclusi suggerimenti sulle modalità per migliorare l'efficienza del processo di presentazione, valutazione e gestione di proposte da cofinanziare

Per migliorare **l'efficienza del processo di presentazione**, dall'esperienza di questo GOI è emerso come sarebbe interessante la possibilità per gli enti di ricerca, che intendono testare con ricerche applicate in campo, di caricare in un portale dedicato del sito web AGREA alla misura specifica, video, presentazioni, documenti interattivi e/o questionari che fungano da idee progettuali consultabili dagli operatori agricoli in una prima fase dell'apertura del bando. Allo stesso modo in questa prima fase le aziende agricole potrebbero caricare in AGREA la lista di richieste e necessità che stanno sperimentando in campo per affrontare problematiche di natura agronomica e/o di efficienza di processo. Questa possibilità di identificare in maniera biunivoca la domanda e l'offerta offrirebbe per entrambi gli attori la possibilità di incontrarsi e scambiare idee e pratiche innovative da testare sul territorio attraverso la costituzione di un GOI. Questo favorirebbe l'instaurarsi di una sinergia positiva e la possibilità per gli enti di ricerca di conoscere realtà agricole innovative disponibili a testare tecniche, pratiche di gestione e misurazione.

Per quanto riguarda la **gestione e divulgazione dei GOI**, il gruppo operativo FarmCO2Sink propone di implementare un sistema di raccolta, gestione e utilizzo di dati e esperienze pratiche tramite applicativi mobile o web. Una tale piattaforma digitale consentirebbe di caricare e discutere con altri GOI o aziende agricole in tempo reale i dati raccolti, le foto e i video dei momenti di divulgazione e meeting progettuali. Ogni coordinatore può inviare e gestire gli accessi e le richieste relativi alla propria pagina progettuale. Questo da un lato faciliterebbe la valutazione delle attività progettuali in tempo reale da parte dell'ente finanziatore che avrebbe tutto il materiale già caricato in una piattaforma web e dall'altro fornirebbe uno strumento di discussione enti di ricerca e mondo agricolo che sono sempre più attenti entrambi ai processi di innovazione e allo scambio di idee e esperienze pratiche di successo. Si propone perciò di sviluppare un app sull'esempio di quella **EIP-AGRI Events** (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eipagri.confjghcv&hl=it>). Come gruppo di ricerca coinvolto in altri GOI UCSC ha partecipato a diversi eventi EIP AGRI e ha trovato molto utile il poter contattare/rimanere in contatto con altri partner scientifici/agricoltori di altri GOI. L'UCSC, ad esempio, ha instaurato una serie di rapporti di collaborazione con alcuni attori del mondo agricolo europeo per lo studio di alcune pratiche di carbon farming. Uno scambio dinamico di dati, foto e esperienze dirette in campo tra operatori del settore in una app gestita dall'ente finanziatore consentirebbe di ottenere quel livello di trasparenza dei dati ed esperienze dei gruppi di innovazione ma soprattutto aumenterebbe lo scambio di know-how essenziale per l'innovazione in campo agricolo e nella ricerca applicata.

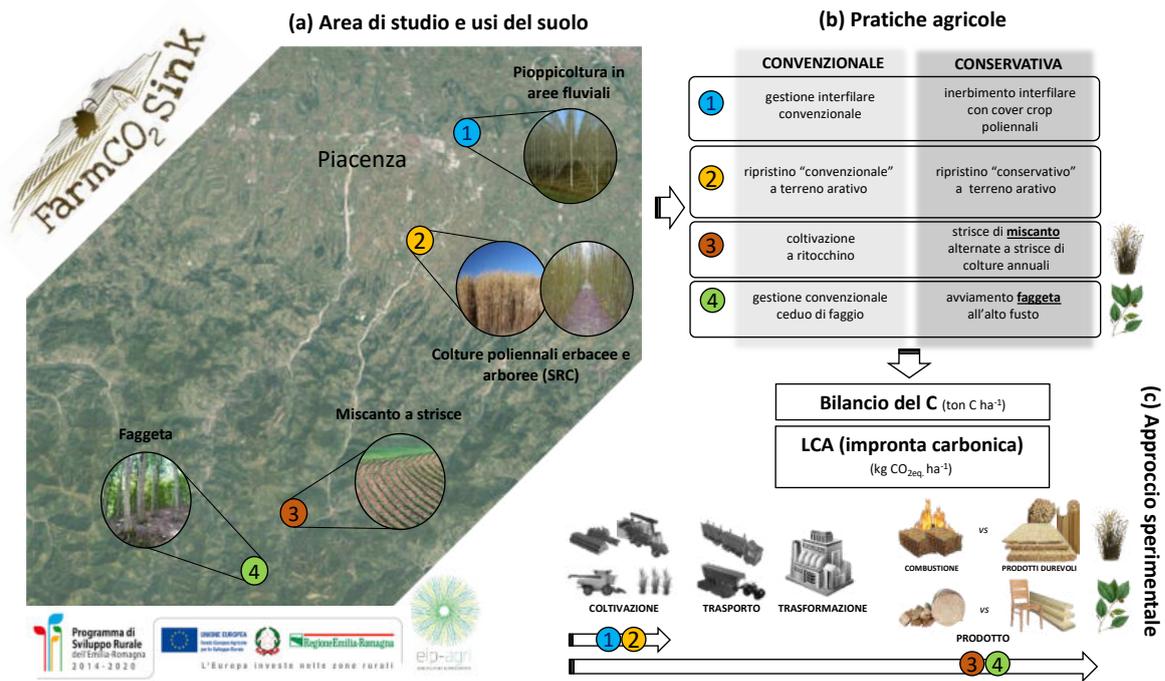
6 - Relazione tecnica

La relazione tecnica di FarmCO₂Sink è composta da una prima parte descrittiva del progetto e delle attività svolte (sezioni 1-3) con una descrizione dettagliata dei campi sperimentali e i dati raccolti, una seconda parte con la presentazione dei risultati ottenuti (4) relativi all'impronta carbonica (bilancio del C) e una parte conclusiva (sezione 5). Particolare enfasi è stata riposta nel presentare in maniera approfondita i risultati derivanti dai campi sperimentali siti in aree svantaggiate come quelle appenniniche. In queste aree FarmCO₂Sink ha studiato la gestione sostenibile delle faggete e la coltivazione del miscanto le quali riteniamo in accordo con i partner dei GOI possano svolgere un ruolo importante nella lotta ai cambiamenti climatici di queste aree e per questo motivo hanno trovato un ampio spazio in questa relazione tecnica finale.

1. **Descrizione generale del progetto**
2. **Le azioni progettuali**
3. **I campi sperimentali (*premessa, disegno sperimentale, rilievi, inventario e risultati*)**
 - 3.1 **Campo sperimentale n.1**
 - 3.2 **Campo sperimentale n.2**
 - 3.3 **Campo sperimentale n.3**
 - 3.4 **Campo sperimentale n.4**
4. **Impronta carbonica di differenti gestioni colturali nei 4 sistemi agro-forestali**
5. **Conclusioni**

1. Descrizione generale del progetto

Il suolo e il legname rappresentano le più cospicue riserve di carbonio (C) su scala mondiale. Le pratiche agricole tradizionali e lo sfruttamento intensivo dei boschi hanno tuttavia determinato una diminuzione del carbonio stoccato nei suoli e nei boschi, aumentando nel contempo le emissioni di gas serra climalteranti (GHG) a livello globale. L'agricoltura e la silvicoltura possono sottrarre CO₂ dall'atmosfera e favorire la lotta ai cambiamenti climatici in modo sia diretto, riducendo le emissioni relative ai processi di coltivazione, sia indiretto, stoccando il carbonio atmosferico in ecosistemi e prodotti durevoli. Nel primo caso, si tratta di utilizzare in modo più razionale i mezzi tecnici e gli input colturali (combustibili fossili, lubrificanti, concimi, fertilizzanti, fitofarmaci); nel secondo, invece, sarebbe opportuno che le attività agricole e selvicolturali si avvalsero di pratiche "conservative" in grado di sottrarre CO₂ dall'atmosfera e immagazzinarla nel medio e lungo termine in sostanza organica del suolo, della foresta e dei prodotti lignocellulosici. In FARMCO₂Sink sono coinvolte 3 aziende agricole e due consorzi agro-forestali. Il piano del Gruppo Operativo ha l'obiettivo di individuare, in sistemi produttivi agro-forestali della Provincia di Piacenza, **i sistemi conservativi più efficienti in termini di sequestro biologico del C a livello di azienda agricola e la riduzione delle emissioni di gas serra clima alteranti (GHG)**. L'individuazione dei sistemi conservativi è più efficiente è stato effettuato confrontando alcuni sistemi produttivi agroforestali nella provincia di Piacenza: dalla pioppicoltura in zone golenali, passando dalla coltivazione di colture poliennali da biomassa in zone rurali fino alla coltivazione a strisce anti-erosive in collina ai boschi di faggio dell'Alta Val Nure. Lo studio è stato effettuato tramite il confronto due diverse pratiche di gestione del sistema produttivo, ovvero una pratica convenzionale e una o più pratiche conservative (Figura 1).



Aree di studio dei sistemi agro-forestali e b) confronto tra le pratiche di gestione tradizionali e conservative adottate in FarmCO2Sink

Il pacchetto di pratiche conservative proposte in FarmCO2Sink si fonda sull'integrazione di tecniche colturali proprie dell'agricoltura conservativa come, per esempio, il minimo disturbo del suolo tramite l'adozione della non-lavorazione (No-till) e della semina diretta o della minima lavorazione (Minimum tillage), dell'uso di colture intercalari di copertura (Cover crops) nei sistemi agro-forestali di pianura. Nei sistemi agro-forestali di collina la pratica conservativa prevedeva la coltivazione di miscanto in fasce per combattere l'erosione nei suoli declivi e la riduzione della frequenza di taglio dei boschi di faggio.



Esempi di parcelle conservative e convenzionali realizzate nei campi sperimentali del progetto FarmCO2Sink

2. Le azioni progettuali

Il progetto si è suddiviso in 3 azioni progettuali specifiche:

Azione 2 - Raccolta dati e realizzazione dell'Inventory

Azione 3 - Adozione di pratiche agricole conservative per il sequestro del C nel settore agricolo e forestale

Azione 4 - Redazione del bilancio del C e valutazione dell'impronta carbonica

Vi sono poi le azioni 1 (coordinamento) e le azioni di formazione e divulgazione.

3. I campi sperimentali (premessa, disegno sperimentale, rilievi, inventario e risultati)

In ogni campo sperimentale, a seconda del caso studio, sono state allestite sia parcelle in cui si è implementata la pratica conservativa, sia parcelle di controllo ove è stata mantenuta la pratica convenzionale.

3.1 Campo sperimentale n° 1 - Differenti gestioni di pioppeto in aree golenali

Premessa

La gestione conservativa dei terreni golenali lungo il fiume Po persegue, in provincia di Piacenza, l'obiettivo di individuare pratiche migliorative per la gestione della pioppicoltura, al fine di valorizzare sia le produzioni legnose sia il potenziale di stoccaggio e conservazione della sostanza organica nel suolo, riducendo le emissioni di gas climalteranti (GHG) in atmosfera. La particolare localizzazione dei terreni destinati alla coltivazione del pioppo, generalmente posti all'interno delle fasce fluviali esondabili, rende l'agroecosistema particolarmente vulnerabile rispetto a fenomeni di erosione fluviale con possibile asportazione degli orizzonti più superficiali di suolo.

L'opportunità di adottare pratiche innovative in grado di migliorare l'impatto ambientale della pioppicoltura industriale, facilitando il controllo delle malerbe, l'incremento naturale della fertilità e lo stoccaggio duraturo di C nel suolo e nei prodotti legnosi a base di pioppo, pare potersi concretizzare attraverso la semina di cover crops poliennali negli interfilari. L'introduzione di coperture erbacee di tipo perenne con adeguata rappresentanza di specie leguminose, in alternativa alla tradizionale gestione del terreno mediante fertilizzazioni azotate e discature, può consentire il contestuale soddisfacimento di tutte le condizioni richieste.

Disegno sperimentale

La sperimentazione è stata avviata nel 2018 in collaborazione con la Società Agricola B&B s.r.l. in località Gargatano (PC), all'interno di un pioppeto con clone I-214 al primo anno di età, messo a dimora secondo un sesto d'impianto a settonce di 6,10 x 5,20 m², corrispondente a 315 pioppi/ha. Ai fini operativi, è stata individuata all'interno del pioppeto una superficie complessiva di 3,55 ha, in cui sono stati perimetrati 4 blocchi sperimentali (repliche) contenenti ciascuno 3 tesi differenti per composizione del miscuglio delle cover crops, oltre a una tesi di controllo (suolo nudo gestito con discatura). Le singole tesi all'interno di ogni blocco occupano una superficie di 2.220 m² (61,0 m x 36,4 m), corrispondente a lotti di 70 pioppi per parcella.

I tre miscugli per cover crops sono stati seminati nella primavera 2019, all'inizio del secondo anno di coltivazione del pioppeto, e la loro composizione specifica è risultata come segue:

✚ Miscuglio n° 1:

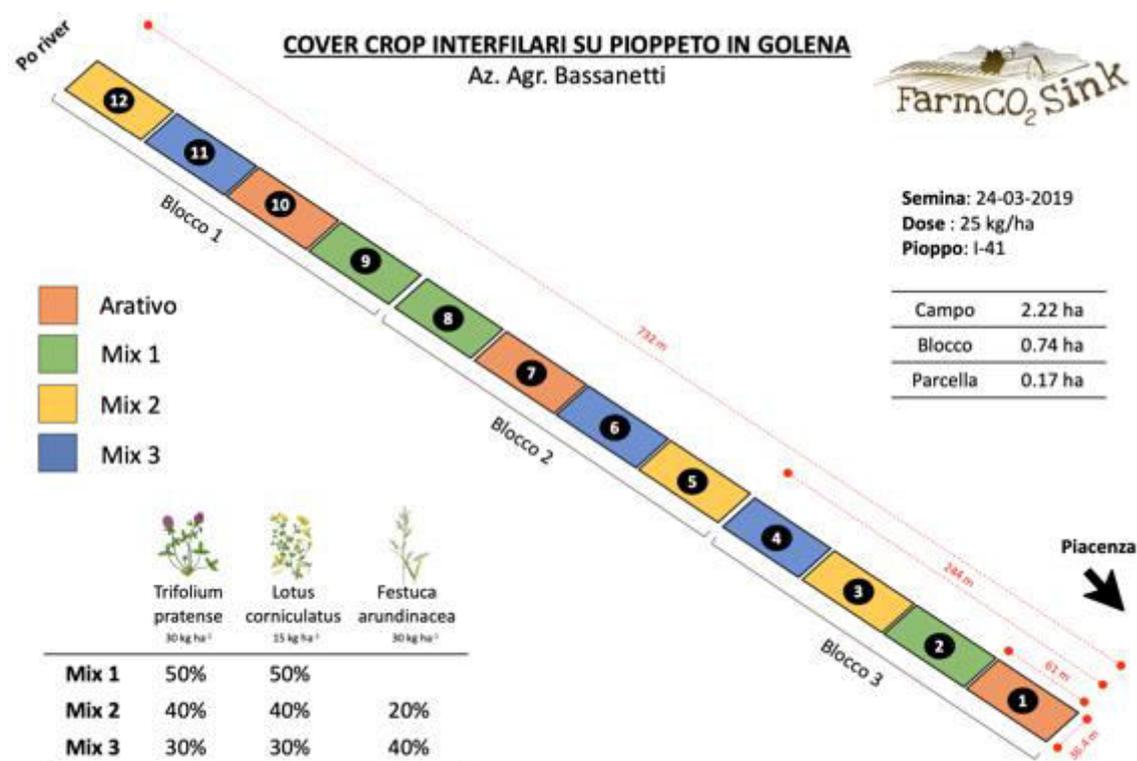
Trifolium pratense 50% dose in purezza 30 kg/ha → dose in miscuglio = 15 kg/ha
Lotus corniculatus 50% dose in purezza 15 kg/ha → dose in miscuglio = 7,5 kg/ha
 Totale del miscuglio 22,5 kg/ha >>> 5,00 kg/parcella

✚ Miscuglio n°2:

Trifolium pratense 40% dose in purezza 30 kg/ha → dose in miscuglio = 12 kg/ha
Lotus corniculatus 40% dose in purezza 15 kg/ha → dose in miscuglio = 6 kg/ha
Festuca arundinacea 20% dose in purezza 30 kg/ha → dose in miscuglio = 6 kg/ha
 Totale del miscuglio 24 kg/ha >>> 5,33 kg/parcella

✚ Miscuglio n°3:

Trifolium pratense 30% dose in purezza 30 kg/ha → dose in miscuglio = 9 kg/ha
Lotus corniculatus 30% dose in purezza 15 kg/ha → dose in miscuglio = 4,5 kg/ha
Festuca arundinacea 40% dose in purezza 30 kg/ha → dose in miscuglio = 12 kg/ha
 Totale del miscuglio 25,5 kg/ha >>> 5,66 kg/parcella



Disegno sperimentale del pioppeto con cover interfilari presso Società Agricola B&B srl

Rilievi sperimentali in campo

All'interno di ciascuna parcella sperimentale, si sono eseguite misurazioni dei seguenti parametri fisico-chimici:

- ✚ accrescimento del pioppo (misurazione diametri e altezze)
- ✚ produzione di biomassa erbacea cover crop
- ✚ umidità e T del suolo (interrotta dopo alluvione 2019)
- ✚ C organico totale del suolo
- ✚ emissioni e flusso netto di CO₂ dal suolo interrotta dopo alluvione 2019)

In concomitanza con l'evento alluvionale del fiume Po di Novembre 2019 si sono inoltre effettuati campionamenti sulla quantità di suolo riportato/asportato dalle acque esondate nelle 4 diverse realtà vegetazionali. L'obiettivo di tale allestimento sperimentale è stato, nel complesso, quello di poter verificare l'efficacia delle cover crops poliennali nel sequestro di C nel suolo e, al tempo stesso, nella riduzione di malerbe e nell'incremento della stabilizzazione del suolo.

Inventario per le emissioni gassose della filiera del pioppo

Le operazioni considerate si sono, quindi, limitate all'analisi delle seguenti fasi del ciclo produttivo:

- ✚ impianto del pioppeto
- ✚ coltivazione pluriennale

Per ciascuna fase della coltivazione del pioppo, sono stati raccolti dati e informazioni analitiche su tutte le fasi del processo produttivo, comprensive di: viabilità di accesso, procedure operative, macchinari e attrezzature utilizzate, carburanti e materiali di consumo necessari, tempi di lavoro specifici.

L'insieme delle informazioni necessarie alla compilazione dell'inventario per l'analisi del ciclo di vita (LCI) è stato raccolto attraverso attività di rilievo diretto in campo, integrate da interviste in azienda.

Risultati

La produttività del pioppeto non è stata influenzata significativamente dalla gestione convenzionale o conservativa nei primi anni di coltivazione, come è possibile osservare dalla seguente tabella che mostra il diametro medio a 1,30 m di altezza dei pioppi:

Diametri Pioppi a 1,30 metri (cm)			
Tesi	Anno	Anno	Anno
	1	2	3
Convenzionale	4.6	8.3	12.23
Mix1	4.6	8.9	12.10
Mix2	4.9	8.9	12.05
Mix3	4.8	8.7	11.98

Nei primi 2 anni di coltivazione, le cover crops gestite con doppio sfalcio durante la stagione culturale hanno contribuito ad un iniziale contenimento del cotico infestante come evidenziato nella successiva tabella:

Tesi	Luglio 2019		Settembre 2019		Giugno 2020		Agosto 2020	
	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti	Cover	Infestanti
Convenzionale	/	6.52	/	14.3	/	10.6	/	11.4
Mix 1	0.42	4.19	6.51	4.93	4.77	7.05	2.73	5.91
Mix 2	0.46	4.63	6.83	6.87	6.34	6.36	2.52	9.18
Mix 3	0.64	6.42	8.54	4.40	6.79	5.93	2.73	9.77

La coltivazione di cover crops non ha influenzato significativamente il contenuto di C nei primi 30 cm del suolo rispetto al controllo convenzionale, come evidenziato nella tabella successiva:

Carbonio organico (g kg ⁻¹)		
Tesi	2018	2020
Convenzionale	9.8	17.0
Mix1	11.0	14.2
Mix2	9.6	15.4
Mix3	12.3	12.6

L'aumento del contenuto di C nel suolo rispetto al campionamento iniziale è dovuto all'effetto di eventi alluvionali del fiume Po nell'inverno 2019 che hanno depositato un importante strato di limo e argilla, e con esse carbonio, piuttosto che all'effetto dovuto alla coltivazione delle cover crops.

La deposizione di limo e argilla da parte degli eventi alluvionali è stata misurata ed è stata riportata nella tabella successiva:

Tesi	Sabbia %		Limo %		Argilla %	
	2018	2020	2018	2020	2018	2020
Convenzionale	51	24	38	52	11	24
Mix1	33	16	47	58	20	26
Mix2	39	17	46	57	15	26
Mix3	41	26	44	55	15	19

3.2 Riconversione di colture poliennali da biomassa

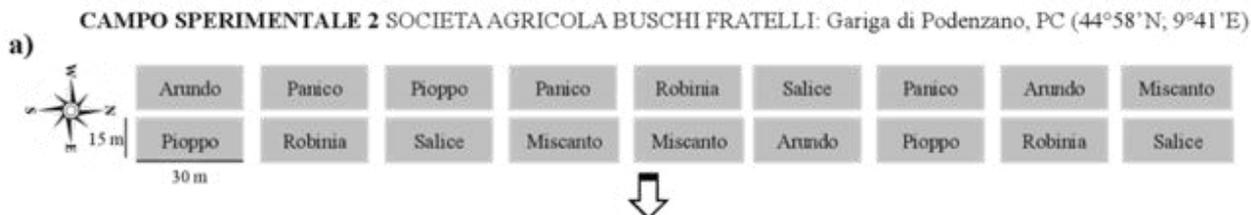
Premessa

La gestione conservativa dei terreni agricoli persegue l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas climalteranti (GHG) legate alle attività di coltivazione e di promuovere il sequestro biologico del carbonio, al fine di contrastare con efficacia i cambiamenti climatici. La coltivazione di specie poliennali da biomassa è stata proposta, in particolare, come una valida soluzione per contribuire alla diminuzione del livello complessivo di GHG in atmosfera, dal momento che risulta in grado di agire sia in modo diretto, riducendo l'entità dei fattori produttivi impiegati, sia indiretto, favorendo la produzione di grandi quantitativi di sostanza secca, in parte immagazzinabile in modo stabile sotto forma di sostanza organica del suolo. Nonostante questi benefici, la durata del ciclo di coltivazione di queste colture è limitata, nei nostri ambienti a 10-15 anni. Superato questo periodo di tempo la produttività cala, e risulta necessaria la riconversione delle colture poliennali da biomassa alla coltivazione di colture annuali. La riconversione alla coltivazione di coltura annuali presenta una criticità, ad oggi, del tutto poco conosciuta, ovvero il destino carbonio immagazzinato nel suolo durante la coltivazione di specie perenni è sconosciuto ed esso può essere riemesso in atmosfera, o in alternativa la riconversione può promuovere un ulteriore sequestro.

Allestimento sperimentale

La sperimentazione è stata attuata all'interno dell'azienda agricola Buschi Fratelli (Podenzano, PC), dove è avvenuta la riconversione di una prova sperimentale di lungo periodo (11 anni) con sei colture perenni da biomassa. Successivamente alle operazioni di raccolta della biomassa epigea dell'ultima stagione colturale delle colture poliennali, nel giugno del 2018 è stata effettuata la riconversione del suolo mediante l'utilizzo di una trincia forestale (Valentini mod Demonio) accoppiata ad un trattore di elevata potenza (Claas Axion 950, 500 cv) e ad una fresa controrotante (Carbogreen) per la preparazione del letto di semina per il sorgo.

Successivamente alla raccolta del sorgo, nell'ottobre del 2018, la gestione della prova è stata divisa in tradizionale (Lavorazioni di preparazione del letto di semina per ogni coltura attraverso un erpice a dischi + erpice rotante) e conservativa (Semina diretta delle colture da reddito e non lavorazione + utilizzo di cover crops). Per il monitoraggio delle emissioni di CO2 sono stati posizionati e rimossi ad ogni cambio colturale tubi di plastica posizionati nel suolo utili alla misurazione delle emissioni con analizzatore di gas portatile EGM-5.



Disegno sperimentale del campo 2 in località Gariga di Podenzano



Rilievi sperimentali in campo

All'interno delle parcelle sperimentali, sono state eseguite misurazioni di tipo distruttivo, riguardanti la produzione di biomassa (epigea e ipogea) e analisi del relativo contenuto chimico (C%, N%). Inoltre, sono stati raccolti e analizzati in laboratorio campioni di suolo per la determinazione del carbonio organico immagazzinato nel suolo fino ad un metro di profondità (0-100 cm) prima della riconversione e nei primi 60 cm dopo la riconversione. Le analisi effettuate sono riportate nella tabella seguente.

Tipologia	Unità di misura
-----------	-----------------

Carbonio organico	(g kg ⁻¹)
Carbonio della biomassa microbica	(mg g ⁻¹)
Densità Apparente	(g cm ⁻³)
Biomassa Ipogea	(Ton ha ⁻¹)
Biomassa ipogea di rizomi o ceppaie	(Ton ha ⁻¹)
Biomassa radicale fine	(Ton ha ⁻¹)
Contenuto di carbonio nella biomassa ipogea	%
Produzione di sostanza secca delle colture annuali	(Ton ha ⁻¹)
Contenuto di carbonio nella biomassa epigea	%
Umidità e Temperatura del suolo	% °C

In aggiunta sono stati rilevati i dati meteorologici (Temperatura, precipitazione, radiazione solare) mediante una stazione meteo posta nelle vicinanze. I dati acquisiti sono stati utilizzati per la calibrazione e la validazione di un modello matematico del carbonio, ECOSSE, sviluppato dall'Università di Aberdeen (Aberdeen, Scozia, Regno Unito) per fornire robustezza ai dati di emissioni rilevati a partire dalla riconversione e sulla dinamica del C organico del suolo.

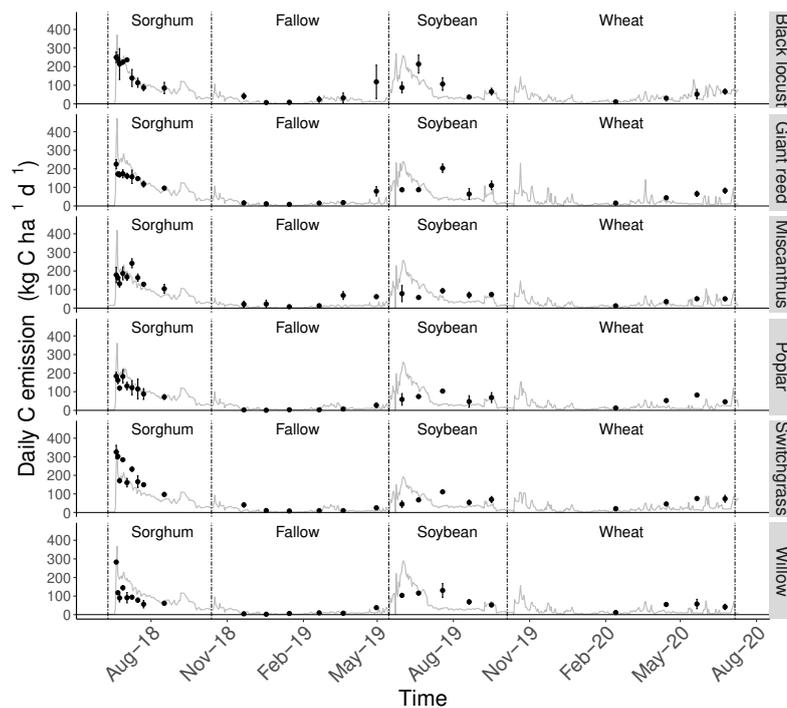
Risultati

La quantificazione dei serbatoi di C prima della riconversione sono riportati nella seguente tabella:

	CROP	SOC	Δ SOC	Plant belowground organs		Fine roots	
		sequestration rate		Mg C ha ⁻¹		Mg C ha ⁻¹	
		Mg C ha ⁻¹ y ⁻¹					
Woody	Black locust	0.62	6.93	17.26	bc	1.34	a
	Poplar	0.32	3.63	13.49	b	1.65	a
	Willow	0.55	6.07	13.04	b	2.19	a
Herbaceous	Miscanthus	0.52	5.73	16.27	bc	4.46	b
	Switchgrass	0.32	3.51	2.26	a	8.86	c
	Giant reed	0.60	6.65	22.75	c	3.46	a

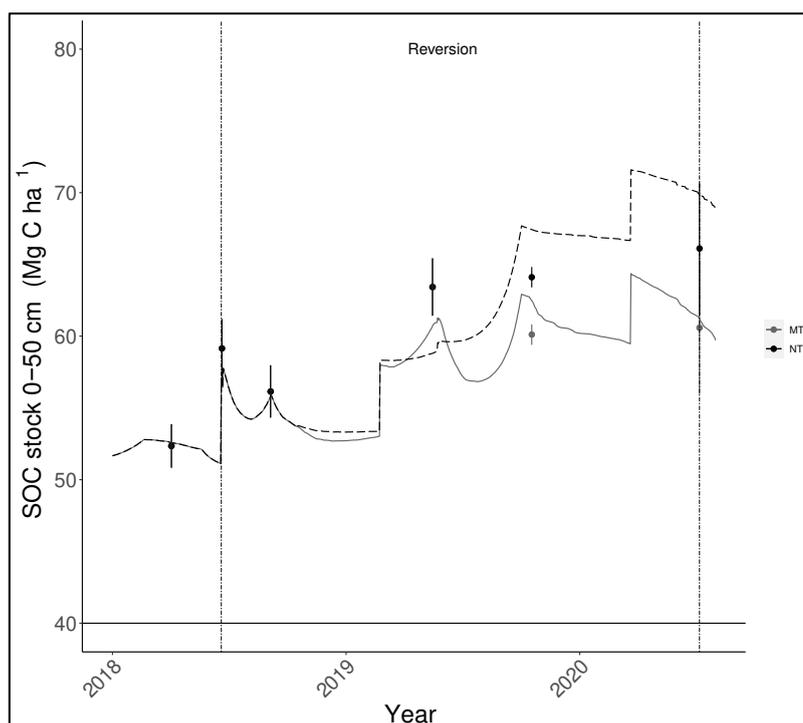
Different letters within the same column indicate significant differences (P< 0.05) among crops, according to Tukey's test

In particolare, le colture poliennali sono state capaci di sequestrare in 11 anni di coltivazione 5.5 Mg ha⁻¹ di C, quindi annualmente queste colture possono sequestrare in media 0.5 ha⁻¹ Mg di C per anno. Il campionamento specifico che è stato effettuato per quantificare la biomassa ipogea ha portato a risultati significativi: sono state trovate grosse differenze tra le colture, in particolare Arundo (Giant reed in inglese) è stato capace di sequestrare 22.75 Mg ha⁻¹ di C dopo 11 anni coltivazione. Al contrario il panico ha sequestrato 8.86 Mg ha⁻¹ di C nella biomassa radicale.



I dati misurati in campo in seguito alla riconversione sono stati utilizzati per la calibrazione e validazione del modello del ciclo del C nel suolo ECOSSE. Come è possibile osservare nel grafico precedente, il modello è stato calibrato con successo per simulare le emissioni di C dal suolo in seguito alla riconversione. In particolare, è possibile notare come ci sia un buon grado di corrispondenza tra i valori misurati in campo (puntini neri) e quelli simulati dal modello (linea grigia) per tutte le colture nei primi due anni successivi alla riconversione.

Il modello ECOSSE è stato validato per simulare l'evoluzione del C nel suolo dopo la riconversione in funzione della pratica di gestione adottata (No till + cover vs Minima Lavorazione). Il C nel suolo a seguito della riconversione è aumentato sia per la pratica convenzionale (MT) che per la conservativa (NT). La dinamica del carbonio dopo la riconversione è riportata nel grafico successivo:



3.3 Campo sperimentale n.3: confronto fra gestioni agricole in terreni di montagna

Premessa

La gestione conservativa dei terreni agricoli della montagna emiliano-romagnola persegue l'obiettivo di ridurre le emissioni di gas climalteranti (GHG) legate alle attività di coltivazione e di promuovere il sequestro biologico del carbonio, al fine di contrastare con efficacia i cambiamenti climatici e prevenire fenomeni di dissesto idrogeologico. La coltivazione in ambienti marginali di specie poliennali da biomassa si propone, in particolare, come una valida soluzione per contribuire alla diminuzione del livello complessivo di GHG in atmosfera, dal momento che risulta in grado di agire sia in modo diretto, riducendo l'entità dei fattori produttivi impiegati, sia indiretto, favorendo la produzione di grandi quantitativi di sostanza secca, in parte immagazzinabile in modo stabile sotto forma di sostanza organica del suolo.

L'adozione di pratiche agricole di tipo innovativo, tuttavia, punta a massimizzare il sequestro biologico del C non solo a livello di azienda agricola, ma anche attraverso uno stoccaggio a lungo termine nei prodotti finali derivabili dalle coltivazioni vegetali. La possibilità di utilizzare la biomassa di miscanto non solo come biocombustibile in sostituzione dei combustibili di origine fossile, ma anche come materiale per opere di bioedilizia (es. case in balle di paglia di miscanto, arelle, pannelli isolanti) o di giardinaggio/vivaistica (es. cannette segnaletiche, tutori leggeri, stuoie) si propone, a questo riguardo, come un'ottima alternativa per sviluppare nuove filiere agricole dall'elevato valore climatico-ambientale in aree marginali.

La coltivazione a strisce del miscanto lungo le curve di livello di terreni declivi, infine, persegue l'obiettivo di un contrasto ai fenomeni erosivi di superficie. Questo risultato sarà ricercato sia mediante un'azione fisica di opposizione al ruscellamento delle acque meteoriche, sia grazie all'aumentato tenore di sostanza organica nel suolo, con conseguente miglioramento delle sue principali caratteristiche strutturali (riduzione della densità apparente, incremento di porosità, ritenzione idrica e stabilità degli aggregati).

Allestimento sperimentale

La sperimentazione è stata attuata all'interno dell'azienda Rocca dei Folli Village (Ferriere, PC – zona svantaggiata “D”), dove strisce di miscanto alternate a strisce di colture annuali sono state coltivate in appezzamenti acclivi. La scelta della località è stata determinata in funzione della buona rappresentatività delle caratteristiche stazionali e aziendali medie (altitudine, pendenza, fertilità, accessibilità, grado di meccanizzazione), che possono influenzare operatività agricola e produttività della coltura sull'Appennino emiliano, e della successiva utilizzazione della biomassa raccolta per la costruzione di un edificio in balle di paglia di miscanto.

All'interno dell'area sperimentale (1050 m s.l.m.), su pendenze variabili dal 8 al 12 %, sono state quindi realizzate alcune strisce di miscanto poste lungo le curve di livello, larghe 3,75 metri e distanti 10 e 15 metri una dall'altra, in funzione della lunghezza del versante secondo il criterio USDA (lunghezza del versante/2). Il materiale genotipico utilizzato è stato del tipo *Miscanthus x giganteus*, un ibrido sterile fra *Miscanthus sinensis* x *Miscanthus sacchariflorus*, messo a dimora con una densità di 1,5 piante/m² (0,75 m x 0,88 m).



Per estendere la validità dei dati ottenuti a livello di bacino idrografico e realizzare un'analisi di scenario applicabile all'intera Val Nure (PC), si sono invece utilizzate raster DEM e le banche dati di European Soil Data Centre (ESDAC) e del Geoportale della Regione Emilia-Romagna per calcolare l'impatto della coltivazione a strisce di miscanto in termini di evitata erosione superficiale.

All'interno dell'area sperimentale, infine, sono stati raccolti dati utili alla valutazione dell'impatto ambientale di tale sistema di coltivazione, in riferimento a:

- 1) una coltivazione con strisce di miscanto, quale alternativa alla tradizionale coltura dell'erba medica in pieno campo;
- 2) un utilizzo del miscanto come materiale per la costruzione di case di balle di paglia, in confronto alla combustione del miscanto per fini energetici;
- 3) un utilizzo di tipo durevole per gli steli di miscanto alternativo rispetto alla casa di balle di paglia (es. cannette segnaletiche, tutori leggeri, stuoie, arelle, pannelli isolanti), in relazione a una maggiore diffusione dei prodotti a livello commerciale (vedi tabella sottostante).

<i>Prodotto</i>	<i>Lunghezza (cm)</i>	<i>Diametro (mm)</i>	<i>Prezzo al dettaglio (€)</i>
Cannette	150	12-14	0,24 cad.
		10-12	0,16 cad.
	120	12-14	0,18 cad.
		10-12	0,14 cad.
	105	10-12	0,14 cad.
		8-10	0,09 cad.
Bastoncini vivaistica	90	8-10	0,08 cad.
		6-8	0,06 cad.
Stuoie	200	> 6	5,50-7,50 m ²
	150	> 6	6,00-8,00 m ²
	100	> 6	6,50-9,00 m ²
	200	*spessore 2 cm	12-15,00 m ²

Pannelli isolanti	200	*spessore 5 cm	15-18,00 m ²
-------------------	-----	----------------	-------------------------

Rilievi sperimentali in campo

All'interno degli appezzamenti sperimentali, a partire dal 1° anno di coltivazione, sono state eseguite misurazioni sito-specifiche di tipo distruttivo, riguardanti la produzione annuale di biomassa (epigea e ipogea) e analisi del relativo contenuto chimico (C%, N%). Inoltre, sono stati raccolti e analizzati in laboratorio campioni di suolo per la determinazione del carbonio totale immagazzinato negli orizzonti esplorati dagli apparati radicali del miscanto (profondità 0-100 cm). Nel secondo anno di attività, inoltre, sono state realizzate prove di raccolta di tipo non distruttivo, volte a determinare la distribuzione delle frequenze per classi diametriche degli steli di miscanto e la rispettiva attitudine alla produzione di manufatti di tipo durevole da destinare a giardinaggio o vivaistica. Le analisi effettuate sono riportate nella tabella seguente.

Carattere	Intensità di campionamento
Diametro basale della pianta (cm)	25 piante
Densità di steli per pianta (n° pianta ⁻¹)	25 piante
Area disponibile per singolo stelo (cm ²)	25 piante
Diametro basale degli steli (mm)	5 piante
Distribuzione diametrica degli steli	5 piante
Altezza degli steli (cm)	5 piante
Diametro (mm) a differenti livelli (base, centro, punta)	100 steli
Coefficiente di rastremazione (Δ mm m ⁻¹)	100 steli
Rettilinearità (punteggio 0-2)	100 steli
Resistenza a presso-flessione (punteggio 0-2)	100 steli
Numero dei nodi	25 steli
Lunghezza internodi (cm)	25 steli

La rettilinearità degli steli, in particolare, è stata riferita a tre classi in funzione della distanza (D) fra base dello stelo e proiezione verticale del suo tratto centrale, generalmente rettilineo. I punteggi sono stati definiti come segue:

- “0” = $D > 10$ cm → “stelo deformato”
- “1” = $2,5$ cm $< D < 10$ cm → “stelo leggermente curvo”
- “2” = $D < 2,5$ cm → “stelo diritto”

La resistenza meccanica alla compressione verticale è stata determinata in relazione a un'infissione manuale dello stelo in vaso (bastoncini per vivaistica) o nel terreno (giardinaggio) con una sollecitazione di circa 2-3 N mm² applicata a circa i 2/3 della lunghezza del prodotto finale (es. 60 cm per bastoncini da vivaistica di 90 cm e 70-80-100 cm per cannette di lunghezza 105-120-150 cm). Gli steli con curva basale, sono stati preliminarmente potati in modo da ottenerne la corretta rettilinearità. I punteggi, sono stati quindi calcolati come segue:

- “0” = lo stelo si rompe
- “1” = lo stelo resiste solo dopo potatura basale
- “2” = lo stelo resiste nella sua forma originaria

Per quanto riguarda la valutazione dell'effetto antierosivo prodotto dalle diverse pratiche di gestione del suolo – colture poliennali a strisce vs. colture tradizionali in pieno campo – si è invece applicato il modello RUSLE (“Revised Universal Soil Loss Equation”) per la determinazione della quantità di suolo annualmente persa per erosione a ettaro. Più in dettaglio, la procedura si è basata sui dati raster DEM (Digital Elevation Model), sugli shapefile del Comune di Ferriere e del relativo uso del suolo (anno 2017). A partire dal modello digitale del terreno DEM sono state calcolate le pendenze sia in gradi sia in percentuale e, fra i terreni classificati come “Seminativi in aree non irrigue”, le aree di interesse sono state selezionate fra quelle con una pendenza inferiore al 30%. Quindi, sono stati caricati e utilizzati i dati raster necessari al calcolo della RUSLE, ovvero i fattori R (erosività della pioggia), K (erodibilità del suolo), L_s (fattore topografico), C (copertura del suolo) e P (fattore di influenza della pratica antierosiva). In particolare, il P factor derivante dalle strip cropping è stato calcolato in relazione a diverse classi di pendenza (espressa in gradi), facendo riferimento alla tabella sotto riportata.

Table 7 P factor for contour cropping, strip cropping and terracing developed by Parveen and Kumar (2012)

Slope	Contouring	Strip cropping	Terracing
0.0–7.0	0.55	0.27	0.10
7.0–11.3	0.60	0.30	0.12
11.3–17.6	0.80	0.40	0.16
17.6–26.8	0.90	0.45	0.18
>26.8	1.00	0.50	0.20

Operativamente, a causa delle diverse risoluzioni dei raster utilizzati, è stato necessario realizzare una griglia di 50 m x 50 m estraendo di conseguenza i valori di ogni cella. Dai dati estratti è stata quindi calcolata la perdita di suolo con e senza la pratica strip cropping, attraverso la seguente formula:

$$V (\text{Mg}_{\text{suolo}} \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}) = R * K * L_s * C * P$$

La differenza tra le due RUSLE ha quindi permesso di calcolare la perdita di suolo evitata a seguito dell'introduzione delle strip cropping. Da questa, utilizzando il database della regione Emilia-Romagna relativo al contenuto % di C organico nel suolo (strato 0-30 cm) e applicando lo scaling factor per convertirlo ai valori di concentrazione dello strato 0-5 cm, si sono calcolate le tonnellate di carbonio complessivamente coinvolte per il territorio di riferimento.

Parallelamente, è stata calcolata la lunghezza della pendenza (λ) utilizzando fattori LS e le formule di seguito riportate:

$$LS = L \times S$$

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

$$m = \beta/(1 + \beta)$$

$$\beta = (\sin \theta / 0.0896) / [3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56]$$

$$S = 10.8 \sin \theta + 0.03 \text{ for } p < 9\%$$

$$S = 16.8 \sin \theta - 0.50 \text{ for } p \geq 9\%$$

A partire dalla lunghezza della pendenza è stato definito il dislivello di quota (metri) utile a disegnare le strip cropping su ogni area. Il dislivello è stato calcolato dividendo la lunghezza della pendenza (λ) per due [secondo criteri ($y/2$) USDA per la pratica strip cropping (code 585)] e moltiplicando tale valore per il seno della pendenza in gradi. Il dislivello ottenuto per ogni area è stato raggruppato in 8 classi di dislivello: 1 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m e 35 m. Successivamente per ogni classe sono state calcolate le curve

di livello basate sui valori della classe stessa; quando sia le curve di livello che il campo appartenevano alla stessa classe, sono state estratte le strip cropping usando le curve di livello di ogni area. Dopo aver disegnato le strip cropping, sono state calcolate le lunghezze delle strisce. Infine, sono stati estratti i dati aggregando tutte le informazioni calcolate a livello comunale.

Inventario per le emissioni gassose della filiera di miscanto

L'impatto sull'emissione di gas climalteranti nell'ambito delle possibili filiere di miscanto per l'area appenninica – combustione, bio-edilizia, giardinaggio e vivaistica – e dell'alternativa convenzionale di una coltivazione a prato di erba medica in rotazione quinquennale è stato valutato distinguendo tra le seguenti fasi di operatività:

-  coltivazione agricola
-  raccolta annuale della biomassa
-  trasformazione e utilizzo del prodotto raccolto

Per ciascuna tappa delle filiere di erba medica e miscanto, sono stati raccolti dati e informazioni su tutte le fasi dei processi produttivi, comprensive di: viabilità di accesso, procedure operative, macchinari e attrezzature utilizzate, carburanti, energia elettrica, acqua e materiali di consumo richiesti, tempi di lavoro specifici, prodotti ottenuti e successive destinazioni. L'insieme delle informazioni è stato ottenuto principalmente attraverso attività di rilievo diretto in campo e in azienda. In riferimento all'utilizzo del miscanto quale combustibile, opzione non attiva nel territorio in esame al momento della sperimentazione, ci si è basati su esperienze già in atto in altre realtà italiane, in cui la biomassa secca confezionata in balle è direttamente utilizzata in caldaie specifiche di efficienza termica nota (rif. 75% da Wagner et al. 2017). Parallelamente, per stimare la produttività della coltura (perenne) in un periodo relativamente lungo, si è fatto riferimento ai dati di analoghe attività sperimentali condotte da UCSC su altri impianti di miscanto con età anche molto superiore (dai 3 ai 13 anni). Attraverso questi, è stato quindi possibile interpolare i dati di produzione reale ottenuti nei primi due anni di coltivazione a Rocca dei Folli con le curve di crescita costruite per altri terreni marginali piacentini. Di conseguenza, è stato delineato uno scenario produttivo per il comune di Ferriere, da cui sono stati desunti i valori complessivi di biomassa epigea e ipogea prodotta in un ciclo colturale di 15 anni e del relativo incremento di C immagazzinato nel suolo per unità di tempo e superficie ($Mg\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$).

Per il confronto con realtà agricole tradizionali che non utilizzano le coltivazioni a strisce di miscanto, infine, si è fatto riferimento ai dati di produzione e impiego di fattori produttivi per medicinali di montagna, rilevati attraverso indagini e interviste presso aziende limitrofe, unitamente ai dati disponibili in letteratura per quanto riguarda il relativo stoccaggio e le dinamiche del carbonio nel suolo.

Risultati

La produttività del miscanto dopo il secondo anno di coltivazione in loc. Rocca dei Folli (Ferriere) e le caratteristiche fisico-chimiche della pianta alla raccolta sono state definite e riportate nella seguente tabella.

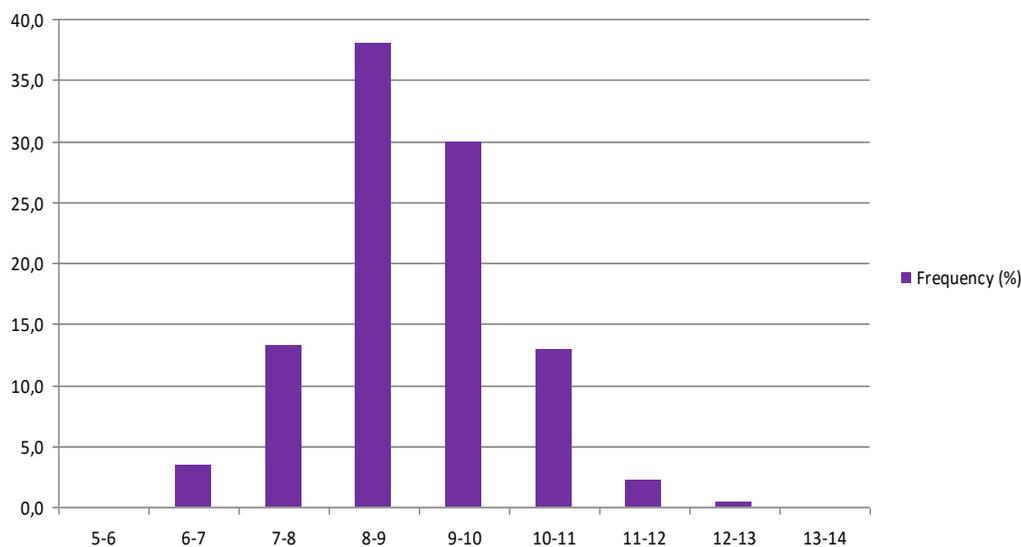
Biomassa ($Mg\ SS\ ha^{-1}$)	6,46
Contenuto medio C (%)	44
Steli (%)	96,7
Foglie e infiorescenze (%)	3,3
Sostanza secca alla raccolta (%)	63,2
Diametro basale della pianta (cm)	44,8
Numero di steli per pianta	26,1
Area di pertinenza per stelo (cm^2)	60,4

Incremento di carbonio nel suolo (Mg C ha ⁻¹ anno ⁻¹)	0,55
--	------

La stima della produttività della coltura e del potenziale di immagazzinamento di C nel suolo in un ciclo colturale di 15 anni ha invece permesso di determinare il seguente scenario:

Anno	Biomassa epigea (Mg SS ha ⁻¹)	Rizomi e radici fini (Mg SS ha ⁻¹)	C organico nel suolo (Mg SS ha ⁻¹)
1	0,72	0,83	30,5
2	6,46	6,57	31,0
3	11,69	13,43	31,6
4	11,69	15,89	32,1
5	11,69	17,78	32,6
6	11,69	18,95	33,1
7	11,69	19,13	33,7
8	11,69	20,32	34,3
9	11,69	19,77	34,9
10	11,69	19,74	35,4
11	11,54	21,34	36,0
12	8,94	21,74	36,5
13	6,93	21,82	36,9
14	5,37	21,83	37,4
15	4,16	21,81	37,8

Analisi sulle caratteristiche morfologiche degli steli di miscanto per la “pianta media”, all’interno di una popolazione sufficientemente rappresentativa della variabilità della specie, hanno permesso di determinarne la distribuzione percentuale delle frequenze per classi diametriche (espresse in mm), come graficamente illustrato nella figura sotto riportata.

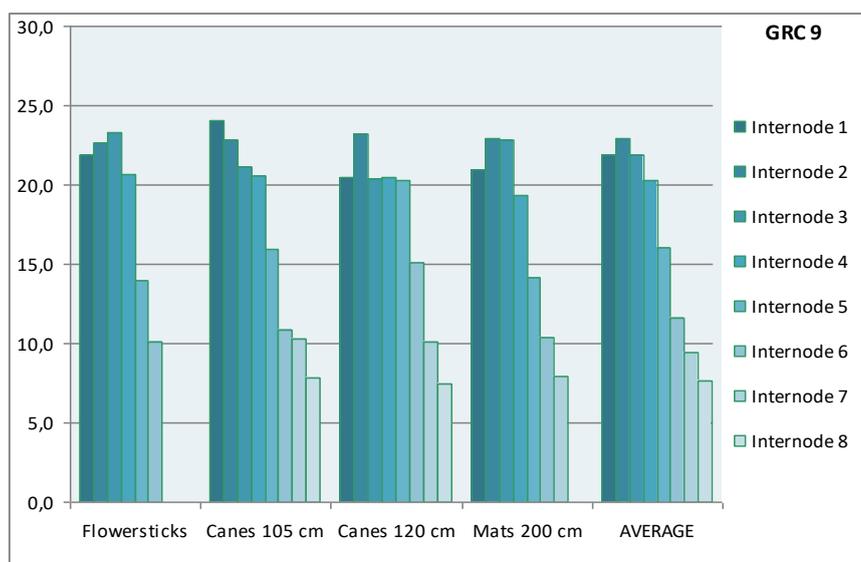


La miglior ripartizione fra diversi prodotti durevoli destinati a giardinaggio, vivaistica o arredo di stabilimenti balneari per gli steli di una pianta “media” di miscanto è risultata essere la seguente:

Prodotto	% steli	Vita utile (anni)
Cannette 150 cm	1,1	2
Cannette 120 cm	6,2	2
Cannette 105 cm	25,6	2
Bastoncini vivaistica 90 cm	28,8	2
Stuoie 100-150-200 cm	32,8	10
Pannelli isolanti	5,5	30

Di conseguenza, sono stati definiti nel dettaglio alcuni importanti caratteri morfologici degli steli di miscanto in relazione ai loro diversi usi finali, quali diametri di base e di fine prodotto, decremento diametrico o indice di rastremazione degli steli, numero di nodi e lunghezza dei rispettivi internodi.

Prodotto	Diametro (mm)		Decremento diametrico (Δ mm m ⁻¹)		
	base	punta	parte basale	parte finale	media
Bastoncini vivaistica 90 cm	9,04	7,15	-1,98	-2,12	-2,06
Cannette 105 cm	9,83	7,6	-2,03	-2,12	-2,08
Cannette 120 cm	10,84	8,04	-2,33	-2,45	-2,38
Stuoie 200 cm	8,36	4,43	-1,91	-2,03	-1,97



Le analisi territoriali volte a comprendere l'impatto della coltivazione a strisce di miscanto sul controllo dell'erosione superficiale hanno invece permesso di ottenere i seguenti risultati in termini di perdita di suolo ($\text{Mg suolo ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$) e C organico del suolo ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$), stimate attraverso RUSLE con strip cropping (SC) di miscanto nei comuni di Ferriere e, per confronto, di Farini.

Comuni	Perdita suolo ($\text{Mg suolo ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$)			Perdita SOC ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$)		
	Senza SC	Con SC	Perdita evitata con SC	Senza SC	Con SC	Perdita evitata con SC
Ferriere	19,53	8,41	11,09	0,695	0,299	0,395
Farini	17,91	7,58	10,32	0,763	0,324	0,439

Da un punto di vista territoriale, le fasce di miscanto potenziali identificate secondi i criteri USDA nei comuni di Ferriere e Farini risulterebbero quindi le seguenti:

Comuni	Area campi analizzati (m^2)	Lunghezza totale strisce (km)	Larghezza strisce (m)	Area delle strisce (ha)	Incidenza areale strisce ($\% \text{ ha}^{-1}$)
Ferriere	1059,7	111,1	3,75	41,7	3,93
Farini	2439,8	229,4	3,75	85,0	3,52

Di conseguenza, i risultati del sequestro del C ipogeo (suolo + biomassa ipogea) e della perdita evitata di C per erosione con le fasce di miscanto identificate secondi i criteri USDA nei comuni di Farini (85 ha di strisce) e Ferriere (41.7 ha di strisce) per un periodo temporale di 15 anni risulterebbero, al netto della produzione epigea annualmente raccolta, le seguenti:

Parametro	u.d.m.	Comune di Ferriere	Comune di Farini
Stoccaggio di C nel suolo	Mg C	355,9	725,5
Tasso di sequestro annuale di C nel suolo	Mg C anno ⁻¹	23,7	48,3
Stoccaggio di C negli organi ipogei (rizomi + radici)	Mg C	909	1854
Tasso di sequestro annuale di C in organi ipogei	Mg C anno ⁻¹	60,64	123,6
Perdita di C evitate con fasce di miscanto	Mg C	247,3	560
Tasso annuale evitata perdita di C con miscanto	Mg C anno ⁻¹	16,5	37,3
Bilancio			
Sequestro del C con fasce	Mg C	1265	2580
Tasso sequestro annuale del C con fasce	Mg C anno ⁻¹	84,3	172
Bilancio del C (sequestro + perdite evitate)	Mg C	1512,3	3140
Bilancio del C (sequestro + perdite evitate)	Mg C anno ⁻¹	100,8	209,3

In conclusione, il calcolo delle emissioni di gas climalteranti e del consumo di materie prime non rinnovabili per le filiere di miscanto ed erba medica coltivati per 15 anni in Alta Val Nure (PC) sono risultate le seguenti:

Destinazione miscanto vs. erba medica	Utilizzo di energia da fonti fossili				sumo di materiali non rinnovabili	Materiali vegetali
	Gasolio (kg/ha)	Olio motore (kg/ha)	Trasporti (km/ha)	Elettricità (MWh/ha)	Metalli, plastiche, ecc. (kg/ha)	Rizomi, sementi (kg/ha)
Combustibile	1974,1	11,8	300	16,69	717,9	750
Casa di balle di paglia	1974,1	11,8	300	0	83,7	750
Giardinaggio/vivaiistica	3481,3	30,0	10800	1,16	4100,7	750

Erba medica	4322,2	23,5	450	0	154,2	75
-------------	--------	------	-----	---	-------	----

Nel caso di utilizzo del miscanto come combustibile, la produzione di calore mediante impiego di una caldaia predisposta (rendimento termico 75%) può quindi essere stimata, per un periodo di 15 anni, in complessivi 374,5 MWt ha⁻¹.

Discussione

L'introduzione del miscanto coltivato a strisce quale integrazione spaziale delle tradizionali coltivazioni agricole di montagna appare avere un effetto positivo sia dal punto di vista ambientale, sia economico. Per il primo aspetto, la possibilità di immagazzinare notevoli quantità di C nel suolo e nella biomassa ipogea di una specie perenne (84%), o comunque molto produttiva per almeno 15 anni, e di sottrarne contestualmente altro all'erosione superficiale attiva sui terreni declivi (16%) risulta di per sé una strategia molto favorevole a livello territoriale (+100,8 Mg C annuo nel comune di Ferriere e +209,3 nel limitrofo comune di Farini). Inoltre, la possibilità di ottenere produzioni annuali di elevate quantità di biomassa senza la necessità, una volta consolidato l'impianto, di operazioni colturali al di fuori dell'unica raccolta invernale, determina: 1) da un lato, un impatto molto basso in termini di emissioni e consumo di materiali non rinnovabili legati alla operatività agricola; 2) dall'altro, la disponibilità di una materia prima adatta a differenti filiere produttive di carattere innovativo.

A quest'ultimo riguardo, la possibilità di un utilizzo più convenzionale quale quello energetico determina bassi costi ambientali, legati all'impatto della filiera produttiva, ma comporta una durata del prodotto vegetale molto breve, con stoccaggio di C trascurabile e vantaggi ambientali riconducibili solamente alla sostituzione di altri combustibili, eventualmente di origine fossile.

L'opzione dell'impiego del materiale vegetale trinciato e imballato per la realizzazione di edifici costruzioni secondo le tecniche della bio-edilizia, la cosiddetta casa di balle di paglia, risulta a parità di costi ambientali per le operazioni agronomiche e di trasformazione, una soluzione molto favorevole in termini di stoccaggio durevole del C biogenico accumulato in steli e foglie di miscanto. Essa, tuttavia, mostra limiti applicativi legati a una diffusione della soluzione costruttiva su ampia scala e alla conseguente possibilità di utilizzare notevoli quantitativi di materiale ogni anno per tale scopo.

Infine, l'innovativa possibilità di destinare parte della produzione di steli a diversi prodotti per giardinaggio, vivaistica e arredo di stabilimenti balneari o campeggi, in sostituzione di prodotti già in uso a base di bamboo o canna palustre normalmente importati da Asia o Europa orientale, si connota per: 1) una vita utile dei prodotti a base di miscanto variabile da pochi anni (cannette e supporti per reti o piante) a qualche lustro (stuoie e pannelli isolanti), con eventuale possibilità di riciclaggio o naturale decomposizione dei prodotti a fine ciclo; 2) l'esistenza di un vasto mercato di riferimento per questo tipo di prodotti, con possibilità di assorbire le produzioni di superfici significative coltivate con miscanto; 3) un impatto ambientale della filiera relativamente elevato, sia per l'utilizzo di materiali ferrosi necessario al confezionamento di alcuni tipi di prodotti finali, sia soprattutto per la forte delocalizzazione delle poche aziende attualmente coinvolgibili nelle attività di trasformazione della materia prima.

3.4 Campo sperimentale n.4: confronto fra gestioni forestali in boschi appenninici di faggio

Premessa

La capacità delle foreste di contrastare i cambiamenti climatici attraverso lo stoccaggio di notevoli quantità di CO₂ atmosferica, sottoforma di biomassa legnosa e C organico contenuto nel suolo, può essere influenzata in modo significativo dal tipo di gestione forestale adottata. Al tempo stesso, le modalità di utilizzo dei prodotti legnosi ottenuti dal bosco possono concorrere nel determinare l'impatto complessivo di un ecosistema forestale sul ciclo del C.

Un bosco appenninico di faggio regolarmente governato a ceduo matricinato permette di ottenere a intervalli di 25-30 anni abbondanti quantità di legname da ardere, generalmente utilizzata per il riscaldamento domestico o nelle pizzerie. In questo caso, il C stoccato nella porzione epigea delle piante viene rapidamente restituito all'atmosfera a seguito del processo di combustione, mentre le ramaglie più fini risultanti dal taglio (diametro < 8 cm) vengono lasciate a decomporsi nel bosco.

Il progressivo spopolamento e invecchiamento della popolazione residua, che caratterizza da diversi decenni le alte valli dell'Appennino emiliano e più in generale italiano (Fig.1), sta determinando in realtà un diffuso abbandono dei cedui di faggio, che superano spesso i turni tecnici necessari per il mantenimento di una gestione con rinnovazione di tipo agamico. I boschi cedui non più utilizzati dall'uomo invecchiano quindi in modo rapido, perdono definitivamente la loro capacità pollonifera, riducono progressivamente la capacità di stoccaggio di nuova biomassa legnosa e vanno incontro all'inevitabile deperimento, con aumento dei quantitativi di legname morto in piedi e a terra.

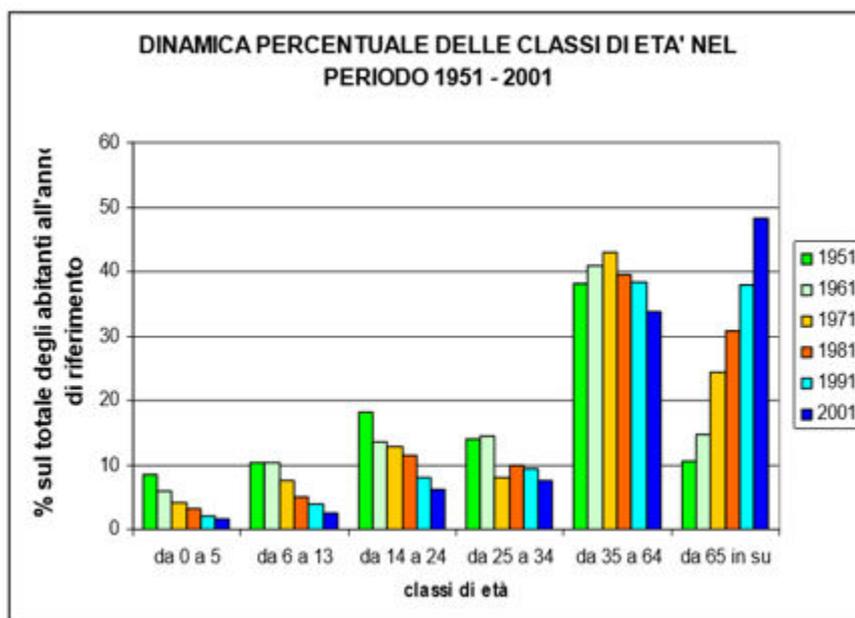


Fig.1 – Andamento demografico nel territorio del comune di Ferriere, in alta Val Nure (PC)

Il destino dei cedui abbandonati è, di fatto, quello di una naturale conversione all'alto fusto attraverso un processo di tipo spontaneo generalmente molto lento, disordinato e poco funzionale dal punto di vista ecologico. L'intervento mirato dell'uomo può, invece, velocizzare e razionalizzare questa evoluzione, plasmando nuove fustaie di faggio in grado di massimizzare i servizi ecosistemici offerti dal bosco (provvigione legnosa, difesa idrogeologica, ciclo dell'acqua, mitigazione dei cambiamenti climatici, biodiversità, ecc.), così come il suo potenziale produttivo (legname a uso strutturale, biomasse a finalità energetica).

Allestimento sperimentale

La sperimentazione attuata nelle faggete dell'alta Val Nure (PC), è consistita nel confronto fra tre realtà forestali molto differenti per la gestione forestale attuata, ferma restandone la rappresentatività sociale, economica e ambientale per il contesto considerato.

In dettaglio, sono stati definiti tre modelli selvicolturali di riferimento:

- A) ceduo matricinato regolarmente utilizzato
- B) ceduo abbandonato
- C) fustaia transitoria (da conversione all'alto fusto di ceduo invecchiato)

Relativamente a ciascuna delle realtà culturali oggetto di indagine, sono state individuate nel territorio gestito dal Consorzio Agro-Forestale dei Comunelli di Ferriere alcune parcelle sperimentali, allo scopo di ricostruire in modo efficace le crono-sequenze e comprendere meglio le dinamiche evolutive dei tre sistemi forestali a confronto.

In particolare, sono state circoscritte e investigate le seguenti realtà selvicolturali:

- A₁) Ceduo matricinato di faggio a utilizzazione molto recente (0-5 anni)
- A₂) Ceduo matricinato di faggio di età pari a circa metà turno (12-18 anni)
- A₃) Ceduo matricinato di faggio di età pari a circa il turno (28-35 anni)

- B₁) Ceduo invecchiato di faggio, con età pari a circa 1,5 volte il turno (50-60 anni)
- B₂) Ceduo abbandonato di faggio, con età superiore a 2 volte il turno (> 60 anni)

- C₁) Fustaia transitoria di faggio, risultante da un primo intervento di avviamento all'alto fusto su ceduo invecchiato assimilabile alla parcella B₁, pronta per il secondo taglio di conversione

La disposizione delle parcelle sperimentali è ricaduta all'interno di aree il più possibile omogenee per caratteristiche stazionali (altitudine, posizione, esposizione, pendenza, classe di fertilità) e parametri selvicolturali (numero di piante ad ettaro, area basimetrica media, altezza dominante), benché, per ragioni operative e di rappresentatività, esse non siano risultate prossime o confinanti.

Selezione delle parcelle forestali

Le sei parcelle sperimentali, tutte ricadenti all'interno del territorio forestale gestito dal Consorzio Agro-Forestale dei Comunelli di Ferriere, in alta Val Nure (PC), sono state individuate e caratterizzate come di seguito illustrato.

A₁) Ceduo matricinato di faggio a utilizzazione molto recente (3 anni)

Comunello: Selva - UDC 10a

Compresa: CF - Cedui produttivi di faggio

Località: Flagello

Posizione: medio versante

Altitudine: 1199 m. s.l.m

Esposizione: nord

Pendenza: 35-40%

Suolo: piuttosto superficiale con pietrame a tratti affiorante

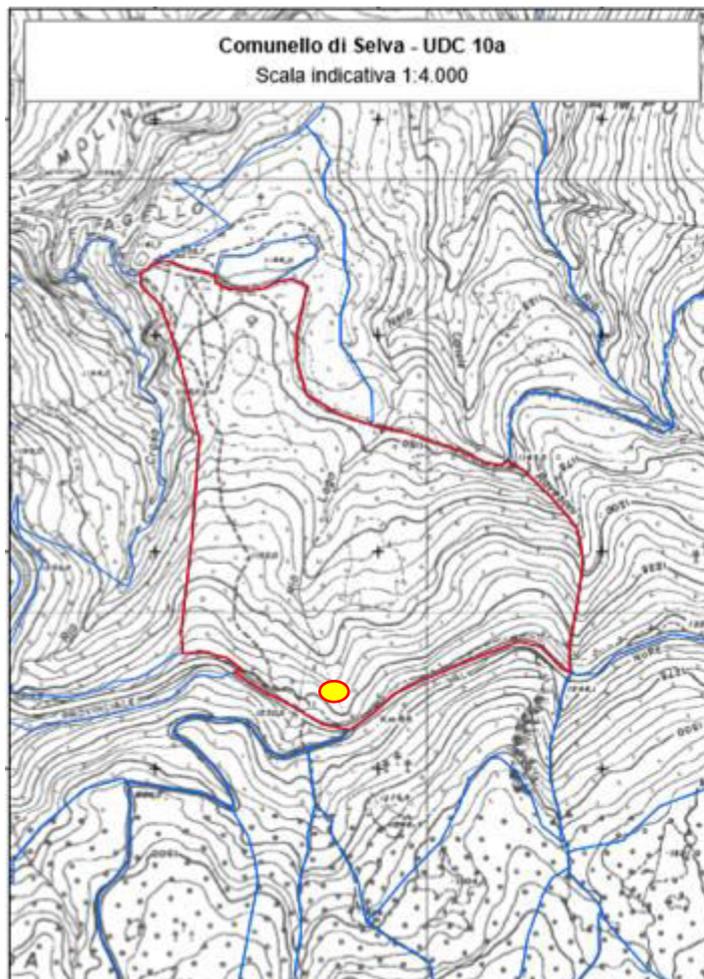
Tipo forestale: Aceri-faggeti (eutrofici), con dominanza di faggio e presenza accessoria di sorbo montano, pioppo tremolo, pino strobo.

Descrizione fisionomico-colturale: ceduo maturo di faggio, a tratti stramaturato, da molto vigoroso a mediamente vigoroso. Densità eccessiva, grado di copertura pari all'80%, con matricinatura regolare. Novellame sporadico (di faggio) sotto copertura, rinnovazione naturale nel complesso insufficiente. Strato arbustivo con maggiociondoli e rosa selvatica sporadicamente presenti.

Gestione selvicolturale: ceduazione recente effettuata su circa 4 ettari di superficie, circa 4 anni fa.

Funzione principale: produzione di legname.

Orientamento selvicolturale: mantenimento del governo a ceduo.



A₂) Ceduo matricinato di faggio regolarmente utilizzato, di età pari a metà turno (15 anni)

Comunello: Pertuso - UDC 7a

Compresa: CF - Cedui produttivi di faggio

Località: Groppo di Pertuso

Posizione: alto versante

Altitudine: 1273 m. s.l.m

Esposizione: ovest

Pendenza: 25-30%

Suolo: piuttosto superficiale con pietrame a tratti affiorante

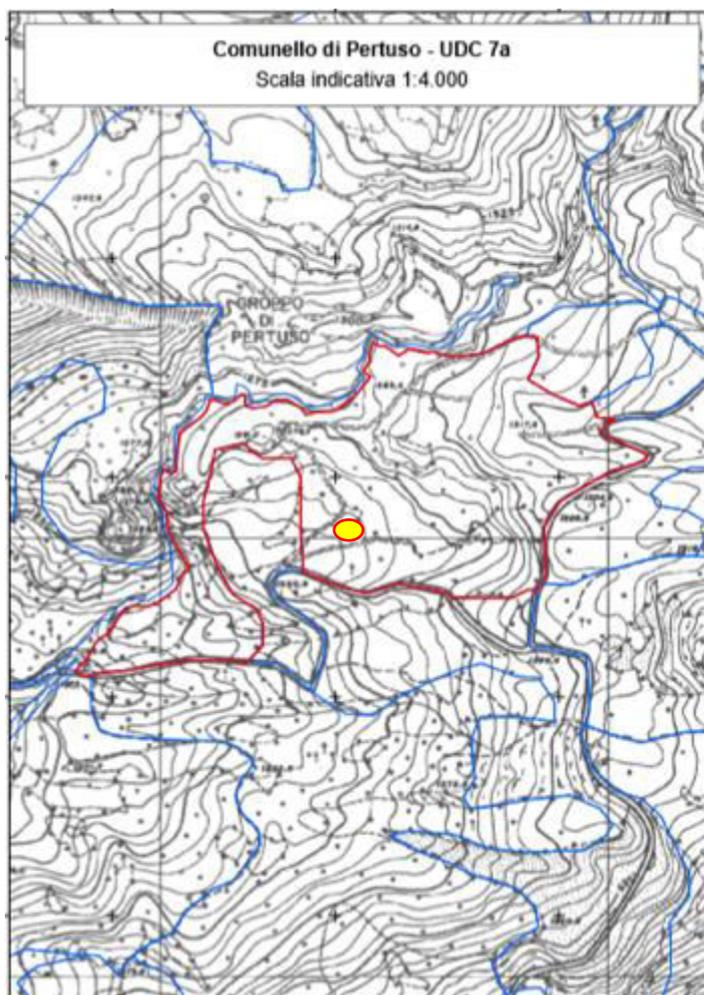
Tipo forestale: Aceri-faggeti (eutrofici), con dominanza di faggio e presenza accessoria di salicene e pioppo tremolo

Descrizione fisionomico-culturale: ceduo giovane di faggio, mediamente vigoroso. Densità adeguata, grado di copertura pari al 75%, con matricinatura non del tutto sufficiente. Novellame sporadico (di faggio) sotto copertura. Strato arbustivo con prevalenza di ginopro.

Gestione selvicolturale: ceduo in produzione con turno regolare

Funzione principale: produzione di legname

Orientamento selvicolturale: mantenimento del governo a ceduo



A₃) Ceduo matricinato di faggio regolarmente utilizzato, di età pari al turno (30 anni)

Comunello: San Gregorio - UDC 15

Compresa: CF - Cedui produttivi di faggio

Località: Costa dell'Erbone (sub-parcelle a,b,c)

Posizione: medio versante

Altitudine media: 918 m. s.l.m

Esposizione: nord, nord-est

Pendenza media: 40%

Suolo: piuttosto superficiale con pietrame a tratti affiorante

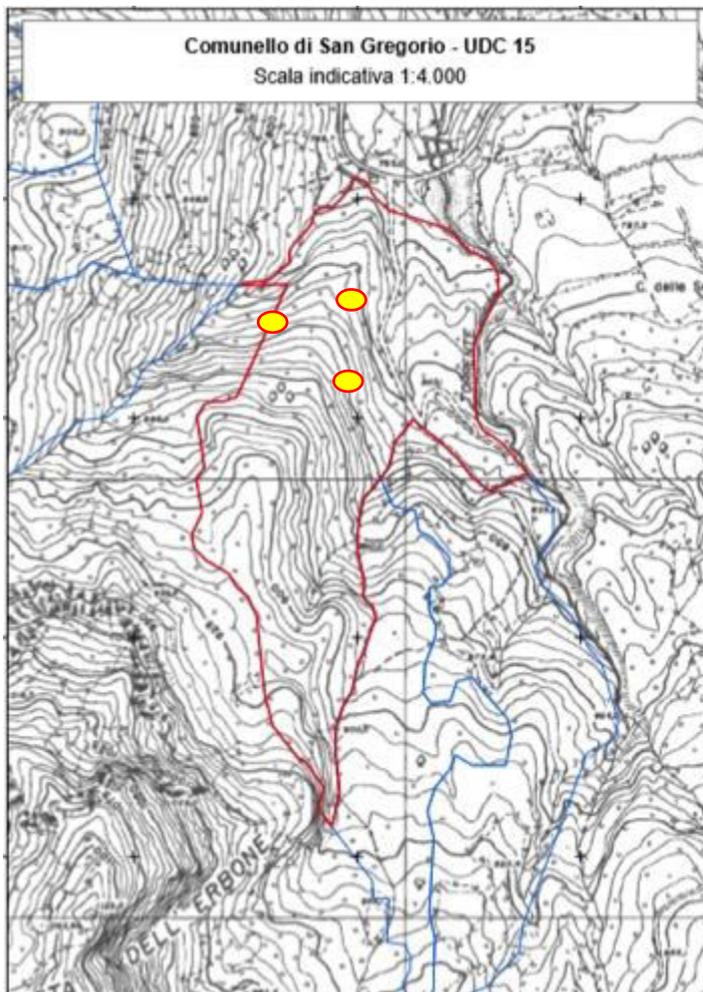
Tipo forestale: Faggeta a *Sesleria autumnalis*, con dominanza di faggio e presenza accessoria di ciavardello, sorbo montano, cerro, carpino nero, orniello, acero opalo

Descrizione fisionomico-culturale: ceduo maturo di faggio (30 anni), mediamente vigoroso. Densità adeguata, grado di copertura pari al 90%, con matricinatura regolare. Novellame diffuso (di faggio) sotto copertura, con rinnovazione naturale complessivamente sufficiente. Strato arbustivo con nocciolo.

Gestione selvicolturale: ceduo in produzione con turno regolare

Funzione principale: produzione di legname

Orientamento selvicolturale: mantenimento del governo a ceduo



B₁) Ceduo invecchiato di faggio, con età pari a oltre 1,5 volte il turno (60 anni)

Comunello: Pertuso - UDC 47a

Compresa: FC – Ceduo di faggio in conversione

Località: Costa della Rovina

Posizione: alto versante

Altitudine: 1283 m. s.l.m

Esposizione: ovest

Pendenza: 40%

Suolo: piuttosto superficiale con isolati fenomeni di erosione superficiale

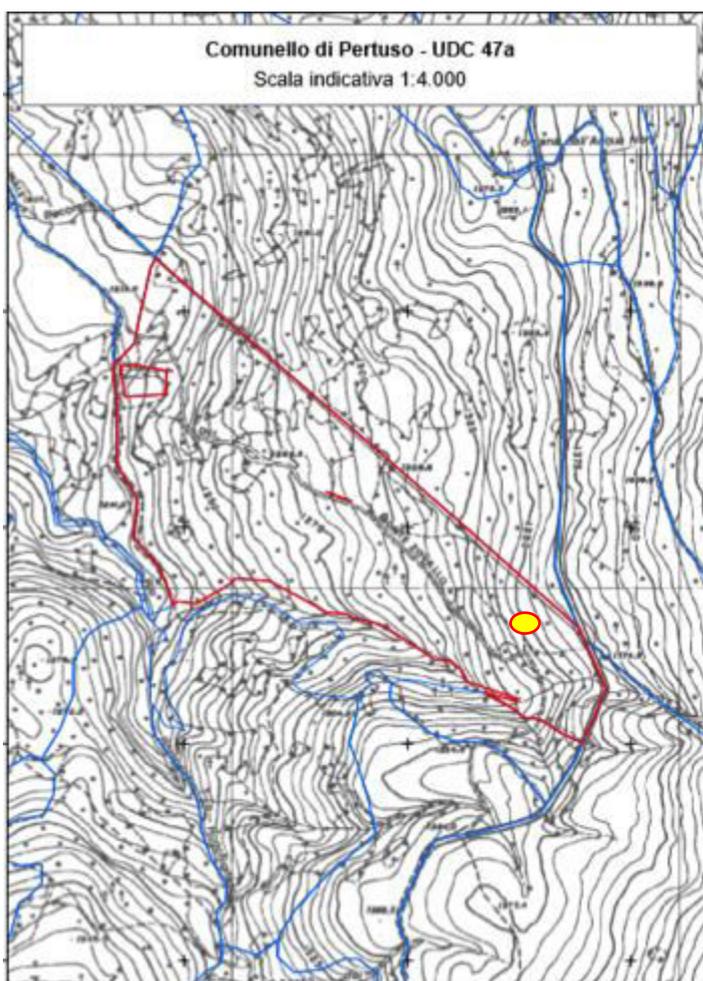
Tipo forestale: Aceri-faggeti (eutrofici), con dominanza di faggio e presenza accessoria di salicene e ontano bianco.

Descrizione fisionomico-colturale: ceduo invecchiato di faggio, mediamente vigoroso. Densità adeguata, grado di copertura pari all'80%, con matricinatura da normale a eccessiva. Novellame sporadico (di faggio) sotto copertura, con rinnovazione naturale complessivamente insufficiente. Strato arbustivo con prevalenza di ginepro.

Gestione selvicolturale: ceduo in abbandono, fuori turno massimo

Funzione principale: naturalistica o conservativa

Orientamento selvicolturale: conversione ad alto fusto



B₂) Ceduo invecchiato di faggio, con età superiore a 2 volte il turno (75 anni)

Comunello: Torrio Retorto - UDC 1d

Compresa: BN – Boschi naturalistici

Località: Costa della Crociglia

Posizione: alto versante

Altitudine: 1460 m. s.l.m

Esposizione: nord-ovest

Pendenza: 10%

Suolo: piuttosto superficiale con isolati fenomeni di erosione superficiale e danni da sovrappascolamento

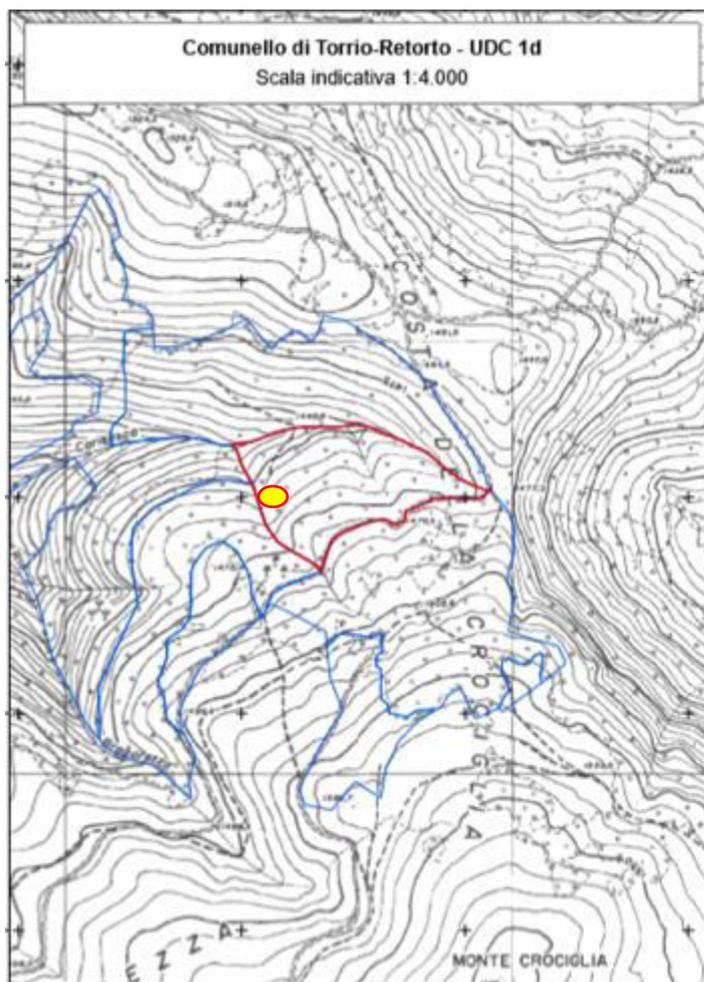
Tipo forestale: Faggeta a *Sesleria autumnalis* con dominanza di faggio e presenza accessoria di salicene e perastro.

Descrizione fisionomico-colturale: ceduo invecchiato o stramaturato di faggio, mediamente vigoroso, influenzato dalla posizione prossima al crinale e dalla presenza del pascolo. Densità elevata benché non omogenea, matricinatura disforme con portamento talora prostrato. Novellame assente e rinnovazione naturale insufficiente. Strato arbustivo con prevalenza di ginepro e rosa selvatica.

Gestione selvicolturale: nulla; il bosco è utilizzato come area di sosta o ricovero dagli animali al pascolo

Funzione principale: naturalistica o conservativa

Orientamento selvicolturale: evoluzione naturale guidata



C₁) Fustaia transitoria di faggio oggetto di primo intervento di avviamento all'alto fusto (65 anni)

Comunello: Selva - UDC 19a

Compresa: FF – Fustaie di faggio

Località: Bosco Sergamada (sub-parcelle a,b)

Posizione: medio versante

Altitudine media: 1297 m. s.l.m

Esposizione: nord-ovest, nord-est

Pendenza media: 30%

Suolo: piuttosto superficiale con isolati fenomeni di erosione superficiale

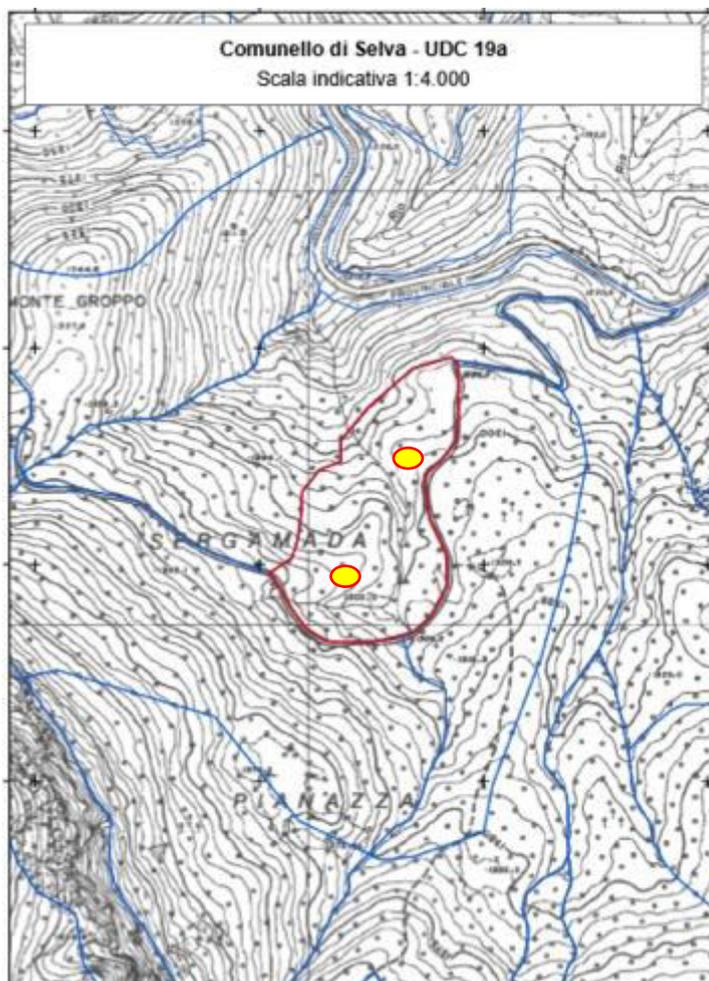
Tipo forestale: Aceri-faggeti (eutrofici), con dominanza di faggio e presenza accessoria di salicene

Descrizione fisionomico-colturale: fustaia monoplana giovane di faggio, mediamente vigorosa. Densità adeguata, in diminuzione laddove le piante mostrano diametri maggiori. Grado di copertura pari all'80% con piccoli vuoti e lacune. Novellame assente.

Gestione selvicolturale: intervento di avviamento all'alto fusto attuato circa 20 anni fa

Funzione principale: naturalistica o conservativa

Orientamento selvicolturale: governo ad alto fusto con un'unica classe di età prevalente



Rilievi sperimentali

All'interno delle parcelle sopra descritte, sono state eseguite misure dello stock di C accumulato nei 5 comparti ("C pools"), come definiti dalle disposizioni "IPCC - Good Practice Guidance for LULUCF (Land Use, Land-Use Change and Forestry) Sector":

- ✚ Biomassa epigea viva (fusto, branche e rami principali, rami, rametti, cimali e foglie)
- ✚ Biomassa ipogea viva (radici grossolane, radici fini)
- ✚ Necromassa epigea (snags, logs, detriti fini)
- ✚ Lettieria (indecomposta, parzialmente decomposta, umificata)
- ✚ Suolo

Per la sola parcella C₁, i rilievi sono stati ripetuti prima e dopo l'intervento selvicolturale dimostrativo più avanti descritto.

Biomassa epigea viva

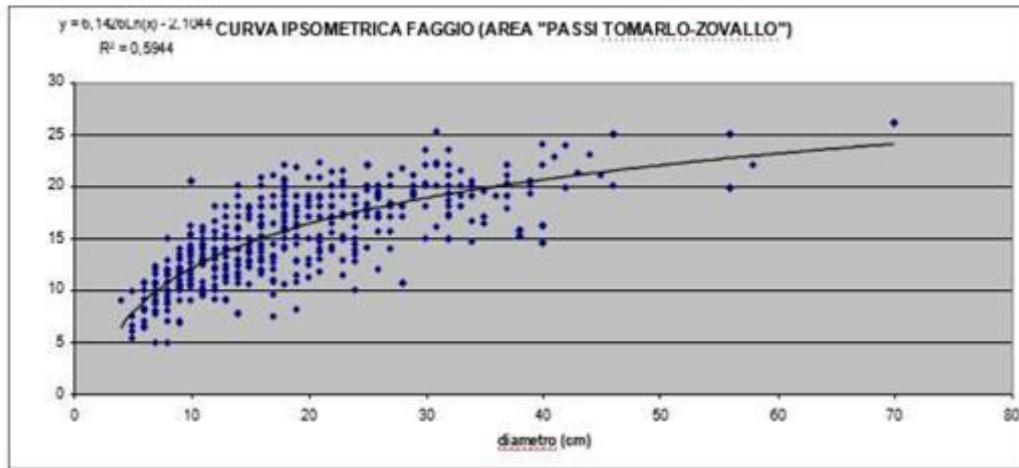
Nella primavera 2020 sono stati realizzati i rilievi dendrometrici nelle diverse parcelle sperimentali, secondo metodi di inventariazione per cavallettamento totale (ICT) su aree di saggio di 15 metri di raggio oppure relascopico di tipo diametrico (IRD), a seconda delle diverse situazioni stazionali. Il cavallettamento ha riguardato tutte le piante con diametro a petto d'uomo superiore a 4 cm ed è stato integrato dal rilievo delle altezze su più esemplari rappresentativi delle classi diametriche inferiori, medie e superiori.



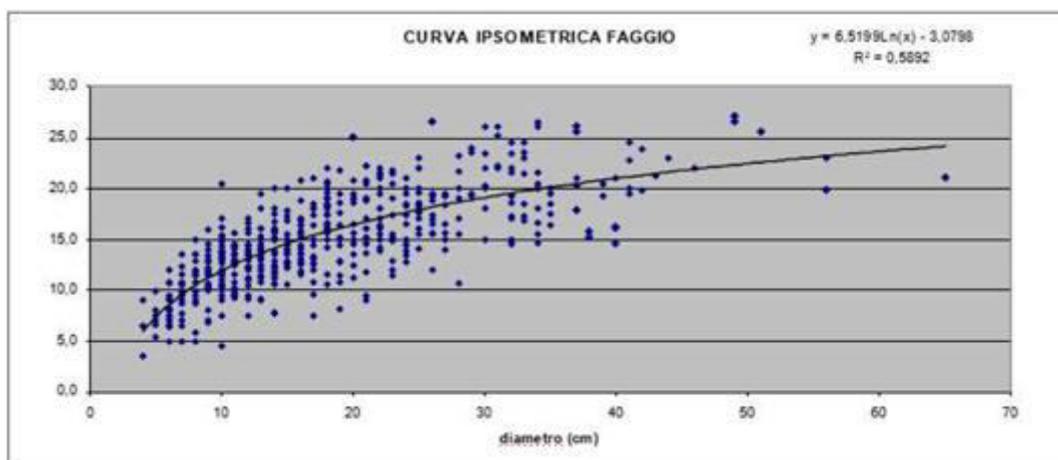
Comunello di Selva - Area di saggio nella parcella C₁

Per il calcolo delle provvigioni legnose sono state utilizzate le formule delle "Tavole di cubatura regionali" dell'Inventario Forestale della Regione Emilia-Romagna e si è fatto riferimento alle curve ipsometriche, costruite in occasione dei rilievi specialistici richiesti dal Piano di Miglioramento della Gestione Forestale Sostenibile secondo lo schema PEFC – Italia per le stesse aree, integrate e verificate con i nuovi rilievi.

In particolare, per l'area ricadente nei Comuni di Pertuso e Selva, si è utilizzata la seguente curva ipsometrica:



Per le aree di San Gregorio e Torrio-Retorto, invece, il riferimento è stato il seguente:



Una volta ottenuto il volume dei tronchi interi comprensivi di cimale (cormometrico), si è provveduto a integrare tale valore con quello di rami e ramaglia da fascina per mezzo del cosiddetto “indice di espansione laterale”. Come suggerito dall’IPCC (LUCF Sector Good Practice Guidance 2003, Annex 3A.1 - Table 3A.10), per le foreste temperate di latifoglie, esso è stato considerato pari a 1,4, in accordo con Anfodillo et al. (2006).

A questo punto, alcuni campioni di legno fresco sono stati prelevati e portati in laboratorio per il calcolo dei valori di densità basale e contenuto percentuale di carbonio. La densità basale, in particolare, è stata calcolata dopo essiccazione in stufa e misurazione del corrispondente volume del campione legnoso. Il contenuto % in C è stato invece determinato mediante impiego di un analizzatore elementare sugli stessi campioni di faggio appositamente tritati. A questo punto, applicando i valori ottenuti al volume complessivo della biomassa epigea, è stato possibile calcolare il serbatoio complessivo di C attraverso la seguente formula:

$$C \text{ (ton)} = V \text{ (m}^3\text{)} * \text{densità basale (ton/ m}^3\text{)} * C\%$$

Biomassa ipogea viva

La stima dello stock di carbonio contenuto nella biomassa ipogea, consistente in radici grossolane (> 2 cm) e fini (< 2 cm), è avvenuta mediante applicazione ai suddetti valori di biomassa epigea di uno “root:shoot ratio” pari a 0,24, quale riportato in letteratura (IPCC, 2003 – Annex 3A.1, Table 3A.8). Per i cedui giovani (parcelle A1 e A2), tale rapporto ha fatto riferimento al numero effettivo di ceppaie presenti e non al volume

corrente dei rispettivi polloni, assimilando ciascuna di esse a una vera matricina (diametro medio = 22 cm e $V = 0,40 \text{ m}^3$). Il valore di densità basale delle radici è stato quindi assimilato a quello della porzione superiore della pianta, mentre la loro composizione percentuale in C è stata dedotta mediante ricerche bibliografiche mirate.

Necromassa

La necromassa epigea, rappresentata da snags (materiale morto in piedi), logs (materiale morto caduto a terra con diam. > 10 cm) e detriti di dimensioni medio-piccole (= diam. 5-10 cm), è stata rilevata per ciascuna parcella sperimentale mediante cavallettamento e misurazione della lunghezza. Per il calcolo dei volumi legnosi non si sono quindi applicati coefficienti di rastremazione, visto lo scarso sviluppo longitudinale degli elementi, generalmente spezzati dalla caduta a terra. Per il materiale di dimensioni inferiori a 5 cm, non incorporato nello strato di lettiera, sono state invece individuate in modo casuale 3-4 aree di prelievo di forma quadrata (dimensioni 2 m x 2 m = 4 m²) all'interno di ciascuna parcella sperimentale, raccogliendo in esse tutto il materiale legnoso di tipo fine. Questo è stato pesato allo stato fresco direttamente in bosco, mentre un sub-campione è stato portato in laboratorio per la valutazione puntuale di peso secco e contenuto in C.



Raccolta della necromassa fine e preparazione per la pesatura in bosco

Lettiera

La lettiera è stata determinata raccogliendo il materiale rinvenuto all'interno di cornici di dimensione nota (25 x 25 cm), in almeno 3 punti distribuiti casualmente all'interno di ciascuna area sperimentale. Per ogni punto è stato prelevato tutto il materiale organico degli orizzonti OL (caduto di recente, leggermente scolorito, non disgregato), OF (mediamente e altamente frammentato, con la presenza di funghi e piccole radici) e OH (materiale amorfo umificato). Relativamente a quest'ultimo, si è provveduto al riconoscimento della tipologia di humus presente. Il materiale raccolto è stato quindi seccato e pesato allo stato secco; infine, macinato e setacciato a 2 mm per la determinazione analitica del contenuto in carbonio.



Scavo per il prelievo degli strati OL-OF-OH della lettiera forestale

Suolo

Il suolo forestale è un serbatoio di carbonio estremamente capiente e, quindi, molto importante ai fini progettuali. In quanto tale, il campionamento per la stima del C organico immagazzinato nel terreno è stato effettuato, in ciascuna area sperimentale, attraverso:

- 1) l'apertura di un profilo di suolo, con riconoscimento e determinazione dello spessore dei diversi orizzonti pedologici, valutazione speditiva del pH e prelievo di campioni per la determinazione della relativa densità apparente secondo il metodo del cilindro a volume noto;
- 2) un numero minimo di 3 carotaggi distribuiti casualmente all'interno della parcella forestale, in relazione all'omogeneità stazionale, con prelievo di campioni di suolo a diverse profondità (0-5 cm; 5-15 cm; 15-30 cm; 30-50 cm; 50-80 cm) al di sotto dell'orizzonte organico O.

I campioni raccolti sono stati portati in laboratorio, seccati fino a raggiungere un peso costante e, per la determinazione del carbonio, setacciati a 2 mm in modo da separare la terra fine dalla frazione grossolana. La frazione fine (< 2 mm) è stata quindi macinata, omogeneizzata e analizzata per la stima del contenuto percentuale di C mediante impiego di un analizzatore elementare. Dalla frazione grossolana sono invece state separate tutte le pietre, in modo da determinare la percentuale di pietrosità alle diverse profondità.

Lo stock di carbonio organico nel suolo è stato quindi calcolato usando la seguente equazione:

$$SOC_{stock} = \sum_{(strati\ 0-5 \rightarrow 15-30)} C\% * densità\ apparente * profondità * (1 - pietrosità/100)$$

Il risultato, espresso in ton C, viene riportato all'ettaro moltiplicando per 10^4 .

Flusso di prodotti legnosi

In considerazione delle diverse tipologie di gestione forestale messe a confronto, ai fini della presente ricerca sono stati valutati i flussi di materiale legnoso generati dai seguenti interventi selvicolturali:

1. taglio di utilizzazione in ceduo matricinato
2. primo taglio di avviamento all'alto fusto in ceduo invecchiato
3. trattamento irregolare di fustaia transitoria in avviamento all'alto fusto

Taglio di utilizzazione in ceduo matricinato

I dati relativi alla ripresa forestale per interventi di ceduzione in boschi di faggio regolarmente utilizzati sono stati ottenuti, stante l'ordinarietà dell'intervento, dalla consultazione degli archivi informativi disponibili presso gli uffici tecnici del Consorzio Comunelli di Ferriere e da interviste rivolte ad alcune imprese boschive stabilmente operanti nel territorio dell'Alta Val Nure. L'analisi ha permesso di raccogliere, in particolare, informazioni relative al rispetto dei turni minimi di ceduzione e del numero di matricine rilasciate, alle percentuali di utilizzazione della biomassa legnosa presente al momento del taglio, ai diametri minimi del materiale esboscato e alle modalità di gestione di cimali e ramaglia.

Taglio di avviamento all'alto fusto

I parametri selvicolturali relativi a un primo taglio di diradamento finalizzato alla conversione di cedui invecchiati di faggio a boschi ad alto fusto sono stati ricavati dagli archivi relativi all'intervento realizzato nei primi anni 2000 dal Consorzio dei Comunelli di Ferriere sull'area assestata, in cui ricade la parcella sperimentale C₁. Anche in questo caso, l'analisi ha permesso di raccogliere informazioni sul piedilista di martellata, su diametri minimi e quantità del materiale esboscato, così come sulla gestione di cimali e ramaglia in bosco.

Taglio di conversione irregolare in fustaia transitoria

Richiamato come i prodotti legnosi durevoli, a differenza delle biomasse destinate a impieghi energetici, possano conservare nel medio-lungo termine considerevoli quantità di C, per il contesto ambientale e sociale dell'alta Val Nure il GO del progetto aveva individuato nell'avviamento a fustaia transitoria di cedui di faggio, abbinato a un utilizzo del legno come materiale per l'arredamento (es. seggiole), una possibile opportunità per favorire l'immagazzinamento di CO₂ atmosferica nell'ecosistema forestale. Per tale ragione, in data 16-17/07/2020, è stato realizzato un intervento dimostrativo di conversione "irregolare" di una fustaia transitoria già oggetto di primo taglio di avviamento all'alto fusto. Il cantiere dimostrativo, in particolare, è stato allestito all'interno della parcella C_{1a}, su un'estensione complessiva di 695 m², e ha avuto l'obiettivo di innescare nuove dinamiche di accrescimento degli alberi in un contesto a struttura tipicamente coetaneiforme, quale quello plasmato dal precedente diradamento selettivo su ceduo invecchiato. Operativamente, si è quindi proceduto alla creazione di una radura delle dimensioni di 20 x 12,5 m (250 m²) con orientamento est-ovest e disposizione lungo la curva di livello, in corrispondenza di un'area ricca in soggetti adatti a un impiego strutturale. In questo modo, si sono determinate condizioni di luminosità e temperatura favorevoli all'insediamento di un gruppo di nuovi individui di età differente rispetto al resto del soprassuolo. Proprio la fustaia disetanea, benché pressoché assente nell'intero comprensorio appenninico dell'Emilia-Romagna, risulterebbe infatti essere, almeno per il faggio (Wolynski 2002; Wolynski et al. 2006), la tipologia strutturale più promettente in termini di: 1) resistenza e resilienza degli ecosistemi forestali, 2) quantità di servizi ecologici forniti, 3) stoccaggio a lungo termine di C biogenico.

Il taglio a buche, proponibile su larga scala con una densità di 4-5 buche per ettaro, è stato quindi associato a un più convenzionale intervento di diradamento selettivo sulle porzioni di bosco circostante. Questo intervento ha avuto l'obiettivo di ridurre il numero di piante ad ettaro, in modo da valorizzare i migliori assortimenti produttivi (es. matricine) e creare le premesse per un primo taglio di rinnovazione entro pochi decenni.



Piccola buca in fustaia transitoria di faggio per favorirne la graduale disetaneizzazione

Inventario (LCI) per le emissioni gassose della filiera di legno di faggio

L'impatto sull'emissione di gas climalteranti, determinato dalle diverse fasi di operatività nell'ambito dell'intera filiera del legno di faggio in ambiente appenninico, è stato valutato nel dettaglio distinguendo tra i seguenti comparti produttivi:

1. cantiere forestale
2. trasporto del legname
3. trasformazione aziendale/artigianale/industriale del legname
4. utilizzo e smaltimento dei prodotti finali

Per ciascuna tappa della filiera del legno di faggio, sono stati raccolti dati e informazioni su tutte le fasi del processo produttivo, comprensive di: viabilità di accesso, procedure operative, macchinari e attrezzature utilizzate, carburanti, energia elettrica, acqua e materiali di consumo richiesti, tempi di lavoro specifici, prodotti legnosi ottenuti e relative destinazioni, residui legnosi in bosco e scarti di lavorazione industriale. L'insieme delle informazioni è stato raccolto principalmente attraverso attività di rilievo diretto in bosco, in azienda (c/o Cooperativa Monte Ragola di Ferriere - PC) e in stabilimento (c/o Aschieri De Pietri s.r.l. di Fossacaprara - CR). In riferimento agli interventi di utilizzazione di soprassuoli corrispondenti alle parcelle A₃ (ceduazione ordinaria) e B₁ (primo taglio di avviamento all'alto fusto), non realizzabili nell'ambito del progetto sperimentale ma comunque di tipo ordinario, i dati relativi a provvigione iniziale, piedilista di martellata, residui lasciati in bosco e dettagli dell'operatività di cantiere sono stati ottenuti mediante interviste e accesso ai dati storici del Consorzio Agro-forestale dei Comunelli di Ferriere.

Relativamente alle trasformazioni artigianali e industriali del legname, i dati ottenuti a seguito di sopralluogo e interviste presso i siti produttivi di progetto sono stati integrati con quelli ricavati in altri siti di riferimento (es. ospedale di Borgo Taro per utilizzo di biomasse legnose a fini energetici, centrale di Olevano Lomellina per produzione di energia elettrica da cippato di legno). In alcuni casi (es. produzione dei fattori produttivi, smaltimento dei prodotti a fine ciclo, rendimento termico per legna da ardere, ecc.), è stato invece necessario integrare i dati ottenuti con quelli disponibili nei database nazionali e internazionali (es. Ecoinvent) o in letteratura.

Complessivamente, sono stati redatti 3 diversi inventari ("Life Cycle Inventories" o LCI), relativi alle tre forme di gestione forestale, e in aggiunta è stata valutata l'opzione di cippatura dei residui legnosi in alternativa al loro rilascio in bosco.



Fase di concentramento con verricello del materiale abbattuto e depezzato in bosco

Risultati

Biomassa vegetale viva

Dalle elaborazioni dei rilievi eseguiti in bosco, sono risultati i seguenti volumi di biomassa epigea totale e, per i soprassuoli non oggetto di tagli intercalari, d'incremento medio:

Area	Comunello	Età del bosco	N° piante/ha	Volume epigeo (m ³ *ha ⁻¹)	Incremento medio epigeo (m ³ *ha ⁻¹ *a ⁻¹)
A1	Selva	33 (matricine) 3 (polloni)	114 matricine + 296 ceppaie	46,62	n.s.
A2	Pertuso	45 (matricine) 15 (polloni)	120 matricine + 371 ceppaie	163,69	5,90 (polloni)
A3	San Gregorio	60 (matricine) 30 (polloni)	108 matricine + 437 ceppaie	294,91	6,25 (polloni)
B1	Pertuso	60	1863	387,63	6,46
B2	Torrio-Retorto	75	1021	461,38	6,15
C1	Selva	65	944	363,41	n.s.

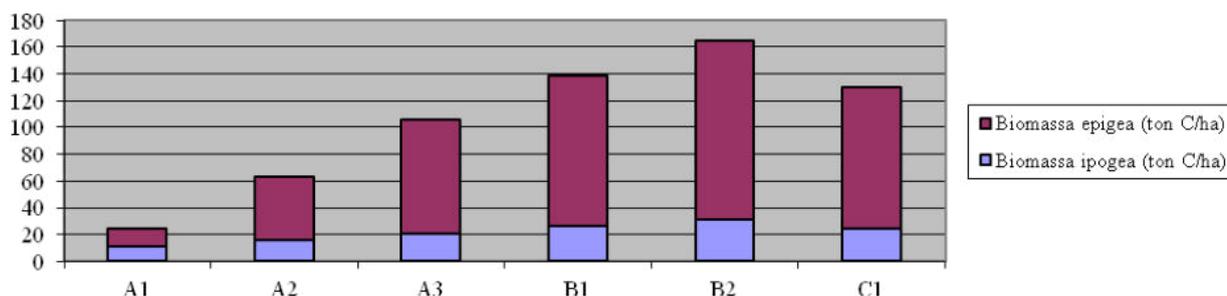
Le analisi di laboratorio sulla porzione epigea hanno quindi determinato una densità basale per il faggio pari a 0,58 ton/m³ e un contenuto medio di C pari al 49,8%, confermando per quest'ultimo sia dati di letteratura, oscillanti fra il 48,9% e il 50,7% (Joosten et al. 2004), sia il valore di default suggerito dall'IPCC (Good Practice Guidance for LULUCF) per la frazione carbonica del legno anidro (0,5 ton C * ton LA⁻¹). Per le radici di grandi dimensioni, invece, si è considerato un contenuto di C pari al 97,85% rispetto a quello della porzione epigea (Bauer et al., 2000), ovvero pari al 48,7%.

Di conseguenza, trasformati i volumi di biomassa epigea e ipogea in quantità di carbonio e sommati i due valori fra di loro, il serbatoio di carbonio rappresentato dalla biomassa vegetale viva è riportato nella

seguinte tabella. La Fig.2 rappresenta invece graficamente lo stock di C contenuto nella biomassa vegetale vivente.

Area	Località	Biomassa epigea		Biomassa ipogea		Totale
		(m ³ *ha ⁻¹)	(ton C*ha ⁻¹)	(m ³ *ha ⁻¹)	(ton C*ha ⁻¹)	
A1	Selva	46,62	13,47	37,04	10,46	23,93
A2	Pertuso	163,69	47,28	54,08	15,28	62,55
A3	San Gregorio	294,91	85,18	70,78	19,99	105,17
B1	Pertuso	387,63	111,96	93,03	26,28	138,24
B2	Torrio-Retorto	461,38	133,27	110,73	31,28	164,54
C1	Selva	363,41	104,97	87,22	24,64	129,60

Fig.2 – Serbatoio di C nella biomassa vivente all'interno dei differenti sistemi selvicolturali



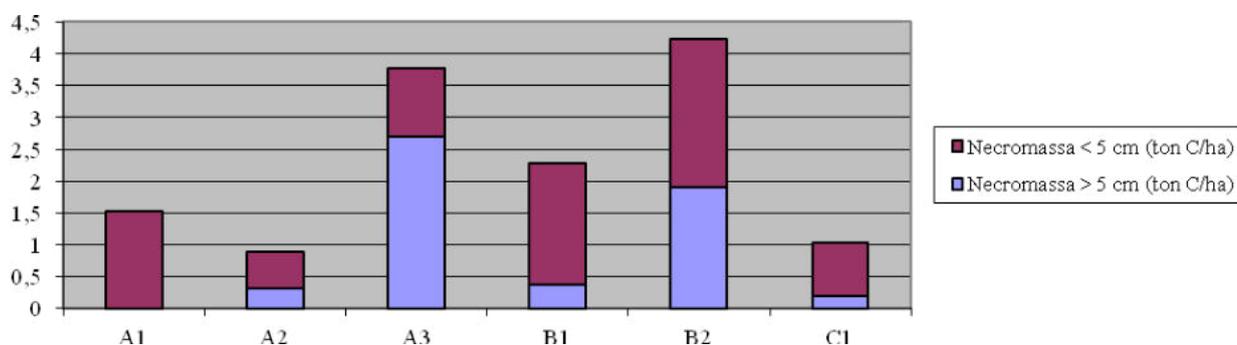
Necromassa

I processi di cubatura, essiccazione, pesatura e analisi del materiale raccolto hanno portato alla definizione delle seguenti ripartizioni per la componente necromassa, come riassunti graficamente nella Fig.3:

Area	Comunello	Necromassa <5 cm			Necromassa >5 cm			Totale
		ton LA/ha	C%	ton C/ha	ton LA/ha	C%	ton C/ha	
A1	Selva	3,35	46,0	1,54	-	-	-	1,54
A2	Pertuso	1,28	45,4	0,58	0,65	47,7	0,31	0,89
A3	San Gregorio	2,37	45,3	1,07	5,64	47,7	2,69	3,76
B1	Pertuso	4,23	45,3	1,91	0,76	47,7	0,36	2,28
B2	Torrio-Retorto	5,07	46,0	2,33	4,00	47,7	1,91	4,24
C1	Selva	1,82	45,8	0,83	0,39	47,7	0,19	1,01

Legenda: LA = legno anidro

Fig.3 – Evoluzione della necromassa all'interno dei differenti sistemi selvicolturali



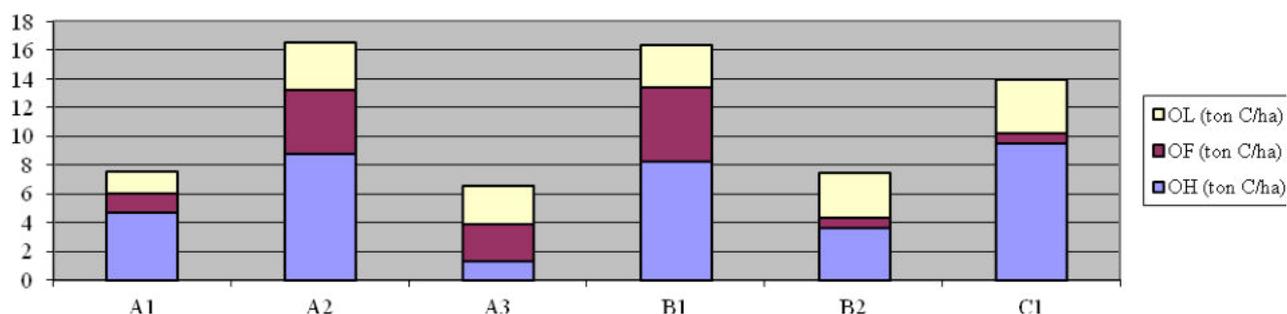
Le analisi di laboratorio, infatti, hanno determinato un valor medio di 45,63% per il contenuto in C nei campioni di necromassa fine (< 5 cm), mentre per la necromassa di dimensioni maggiori (> 5 cm) si è utilizzato un valore intermedio fra il precedente e quello del legno fresco (49,8%), approssimato quindi al 47,7%, in linea con dati analoghi reperibili in letteratura (0.4778 g*g⁻¹ di C in D'Andrea, 2012).

Lettieria

L'analisi dei dati di laboratorio ha permesso di determinare i seguenti valori di C accumulato nei tre distinti strati di lettiera, come rappresentato graficamente nella successiva Fig.4:

Area	Comunello	OL - Lettieria indecomposta (ton C*ha ⁻¹)	OF - Lettieria decomposta (ton C*ha ⁻¹)	OH - Lettieria unificata (ton C*ha ⁻¹)	Totale lettiera (ton C*ha ⁻¹)	Tipologia di humus
A1	Selva	1,45	1,40	4,63	7,48	dysmoder
A2	Pertuso	3,33	4,39	8,77	16,49	dysmoder
A3	San Gregorio	2,74	2,53	1,29	6,57	mull
B1	Pertuso	2,93	5,16	8,24	16,33	dysmoder
B2	Torrio-Retorto	3,10	0,70	3,59	7,38	dysmoder
C1	Selva	3,68	0,77	9,44	13,89	dysmoder

Fig.4 – Serbatoio di carbonio immagazzinato nei tre strati di lettiera forestale



Suolo

Le analisi di laboratorio hanno permesso, innanzitutto, di determinare il contenuto % di C nel suolo alle diverse profondità. In funzione della quantità di scheletro e della densità apparente degli orizzonti pedologici A e B, gli unici direttamente o indirettamente interessati dall'accumulo di materia organica, è stata calcolata la quantità di C biogenico immagazzinato nei diversi tipi di suolo. Per confrontare fra loro i siti in maniera standardizzata, si è tuttavia deciso di presentare solo i dati dei primi 30 cm, valor medio della profondità dell'orizzonte C nonché misura richiesta anche per le stime del protocollo di Kyoto. I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella di seguito illustrata:

Area	Ordine di suolo (orizzonti pedologici)	Profondità orizzonte C (cm)	Scheletro (%)	C (%)			C (ton/ha)
				0-5 cm	5-15 cm	15-30 cm	
A1	Entisuolo (A+C)	12,5	32,1	3,89	2,27	1,36	34,05
A2	Inceptisuolo (A+B+C)	30	42,8	4,00	1,71	1,23	21,11
A3	Entisuolo (A+C)	22,5	57,8	4,53	2,54	2,02	11,75
B1	Inceptisuolo (A+B+C)	25	53,0	3,94	2,29	1,08	12,89
B2	Inceptisuolo (A+B+C)	50	38,6	3,91	2,82	1,63	32,23
C1	Inceptisuolo (A+B+C)	37,5	47,2	3,18	2,31	1,23	13,33
Media	-	29,6	45,3	3,91	2,32	1,43	20,89

Flusso di prodotti legnosi

Gli interventi di utilizzazione ordinaria del ceduo matricinato e di primo avviamento all'alto fusto di un ceduo invecchiato hanno generato prodotti legnosi che, per le loro caratteristiche dimensionali, non permettono un impiego diverso rispetto a quello energetico. In effetti, il potenziale utilizzo di una porzione di questo materiale come paleria per interventi di ingegneria naturalistica o per l'allestimento di vigneti è stato ritenuto un'opzione trascurabile, visti i quantitativi molto modesti richiesti a questi fini nell'area di intervento. Le seguenti tabelle illustrano i quantitativi di legname ritraibili con intervalli diversi dalle due tipologie di intervento e le rispettive destinazioni commerciali:

Taglio di utilizzazione in ceduo matricinato (turno = 30 anni)

<i>Parametri dendrometrici</i>		<i>Destinazioni commerciali</i>		
Provvigione media ceduo invecchiato	290 m ³ /ha	Segheria	-	-
Percentuale di utilizzazione	86%	Legna da ardere	90%	2135 q.li/ha
Legname complessivo ritratto dal taglio	250 m ³ /ha (2375 q.li/ha)	Residui in bosco	5%	240 q.li/ha

1° taglio di avviamento all'alto fusto: diradamento "dal basso" (età = 50 anni)

<i>Parametri dendrometrici</i>		<i>Destinazioni commerciali</i>		
Provvigione media ceduo invecchiato	385 m ³ /ha	Segheria	-	-
Percentuale di utilizzazione	28,5%	Legna da ardere	95%	990 q.li/ha
Legname complessivo ritratto dal taglio	110 m ³ /ha (1045 q.li/ha)	Residui in bosco	5%	55 q.li/ha

Al contrario, l'intervento dimostrativo effettuato nella parcella C1_a ha avuto l'effetto di produrre assortimenti legnosi di maggiore dimensione che risultano adatti a impieghi diversi rispetto a quello strettamente energetico. Già a partire dal secondo intervento di diradamento su fustaia transitoria, i polloni affrancati dimostrano quindi di poter raggiungere diametri superiori ai 18-20 cm tali da consentire una diversa allocazione dei prodotti legnosi ritratti dal bosco. Gli allestimenti richiesti dalle segherie per la realizzazione di bancali consistono infatti in topi da 210 cm di lunghezza con diametro in punta non inferiore ai 15 cm.

Di seguito, si riportano i piedilista di martellata delle due tipologie di intervento realizzati all'interno dei 695 m² dell'area sperimentale:

Taglio a piccole buche (S = 250 m²)

<i>diametro</i>	<i>N° piante</i>	<i>V unitario (m³)</i>	<i>V totale (m³)</i>
16	3	0,190	0,571
17	1	0,220	0,220
18	3	0,252	0,756
19	3	0,286	0,857
20	4	0,322	1,288
22	1	0,403	0,403
24	1	0,494	0,494
26	1	0,595	0,595
28	1	0,707	0,707
29	1	0,767	0,767
35	1	1,186	1,186

<i>Totale/buca</i>	20		7,844
Totale/ha	90		35,30

Diradamento selettivo (S = 445 m²)

<i>diametro</i>	<i>N° piante</i>	<i>V unitario (m³)</i>	<i>V totale (m³)</i>
8	1	0,038	0,038
10	1	0,063	0,063
11	1	0,078	0,079
12	3	0,097	0,290
13	1	0,116	0,116
14	2	0,139	0,277
15	4	0,164	0,655
<i>Totale/a.d.s.</i>	13		1,518
Totale/ha	259		30,27

Le percentuali di allocazione dei prodotti legnosi, ottenuti dall'intervento sperimentale sopra descritto, sono quindi riportate nella seguente tabella:

2° taglio "irregolare" di avviamento all'alto fusto (età = 65 anni)

<i>Parametri dendrometrici</i>		<i>Destinazioni commerciali</i>			<i>Prodotti finali</i>	
Provvigione media fustaia transitoria	350 m ³ /ha	Segheria	52%	320 q.li/ha	Bancali	160 q.li/ha
Percentuale di utilizzazione	18,7%	Legna da ardere	43%	270 q.li/ha	Legna da ardere	270 q.li/ha
Legname complessivo ritratto dal taglio	65 m ³ /ha (620 q.li/ha)	Residui in bosco	5%	30 q.li/ha	Biomassa per elettricità	110 q.li/ha

Calcolo della sottrazione totale di C all'anno 2020

I dati ponderali dei diversi pools di carbonio presenti in foresta hanno permesso di determinare il contenuto complessivo in C dei differenti siti sperimentali, come riassunto nella seguente tabella:

	<i>Serbatoi di carbonio in foresta (ton C/ha)</i>	<i>Totale</i>
--	---	---------------

<i>Area</i>	<i>Biomassa epigea</i>	<i>Biomassa ipogea</i>	<i>Necromassa</i>	<i>Lettiera</i>	<i>Suolo</i>	<i>(ton C/ha)</i>
A1	13,47	10,46	1,54	7,48	34,05	67,00
A2	47,28	15,28	0,89	16,49	21,11	101,05
A3	85,18	19,99	3,76	6,57	11,75	127,25
B1	111,96	26,28	2,28	16,33	12,89	169,74
B2	133,27	31,28	4,24	7,38	32,23	208,40
C1	104,97	24,64	1,01	13,89	13,33	157,84

L'integrazione dei dati sopra ottenuti con il flusso di prodotti legnosi ritraibili in un intervallo di 75 anni dalle differenti gestioni forestali e con gli accrescimenti legnosi correnti per il ceduo in conversione (area C1), di fatto più giovane, permette di definire l'ammontare complessivo di C atmosferica sottratta dall'ecosistema forestale nel periodo di riferimento.

A questo scopo, il calcolo degli accrescimenti legnosi del ceduo in conversione è stato effettuato determinando l'incremento medio di biomassa vivente accumulata dall'ultima ceduazione e ipotizzando il mantenimento dello stesso incremento medio per gli anni successivi al secondo intervento di diradamento. La tabella sotto riportata sintetizza tutte le informazioni utilizzate a tale scopo.

<i>Area</i>	<i>Età (anni)</i>	<i>Biomassa epigea (mc/ha)</i>	<i>Biomassa ipogea (mc/ha)</i>	<i>1° taglio di avviamento (mc/ha)</i>	<i>Totale (mc/ha)</i>	<i>Incremento medio (mc/ha*anno)</i>	<i>Incremento medio (ton C/ha*anno)</i>
C1 _a	65	363,41	87,22	110,00	560,63	8,63	2,49

Di conseguenza, è stato possibile realizzare un confronto quantitativo relativamente all'ammontare di carbonio sottratto all'atmosfera dalle tre differenti modalità di gestione forestale.

<i>Gestione forestale</i>	<i>Serbatoio carbonico</i>			<i>Prodotti legnosi</i>			<i>Totale sottrazione</i>
	<i>età (anni)</i>	<i>attuale (ton C/ha)</i>	<i>incremento (a 75 anni)</i>	<i>n° tagli</i>	<i>m³/ha</i>	<i>ton C/ha</i>	<i>ton C/ha</i>
Ceduo matricinato	75 (15+30+30)	101,05	-	2	500	144,42	245,47
Ceduo abbandonato	75	208,40	-	0	0	0	208,40
Ceduo in conversione (post 2° intervento)	65	139,07	+24,90	2	175	50,55	214,52

Emissioni gassose ed consumi delle filiere produttive

Il calcolo delle emissioni di gas climalteranti derivanti dall'impiego di combustibili e lubrificanti di origine fossile, o di elettricità, durante le operazioni di abbattimento e trasformazione del legname permette invece di valutare l'impatto delle filiere produttive legate alle diverse gestioni del bosco. A questi fattori si

aggiunge inoltre il consumo di materiali non rinnovabili (es. metalli, gomma, plastiche, ecc.), legato all'usura di macchinari, attrezzature forestali, impianti produttivi e mezzi di trasporto impegnati nelle varie fasi della filiera di trasformazione del legno. Nella tabella che segue, sono illustrati tutti gli impatti rilevabili durante 75 anni di differente gestione forestali nelle parcelle oggetto di sperimentazione.

<i>Gestione forestale</i>	<i>Utilizzo di energia da fonti fossili</i>				<i>Utilizzo di materiali non rinnovabili</i>
	<i>Gasolio (kg/ha)</i>	<i>Olio motore (kg/ha)</i>	<i>Trasporti (km/ha)</i>	<i>Elettricità (MWh/ha)</i>	<i>Metalli, plastiche, ecc. (kg/ha)</i>
Ceduo matricinato	5290	112	5000	0	331,6
Ceduo abbandonato	0	0	0	0	0
Ceduo in conversione (post 2° intervento)	1829	34,7	2336	1,025	179,0

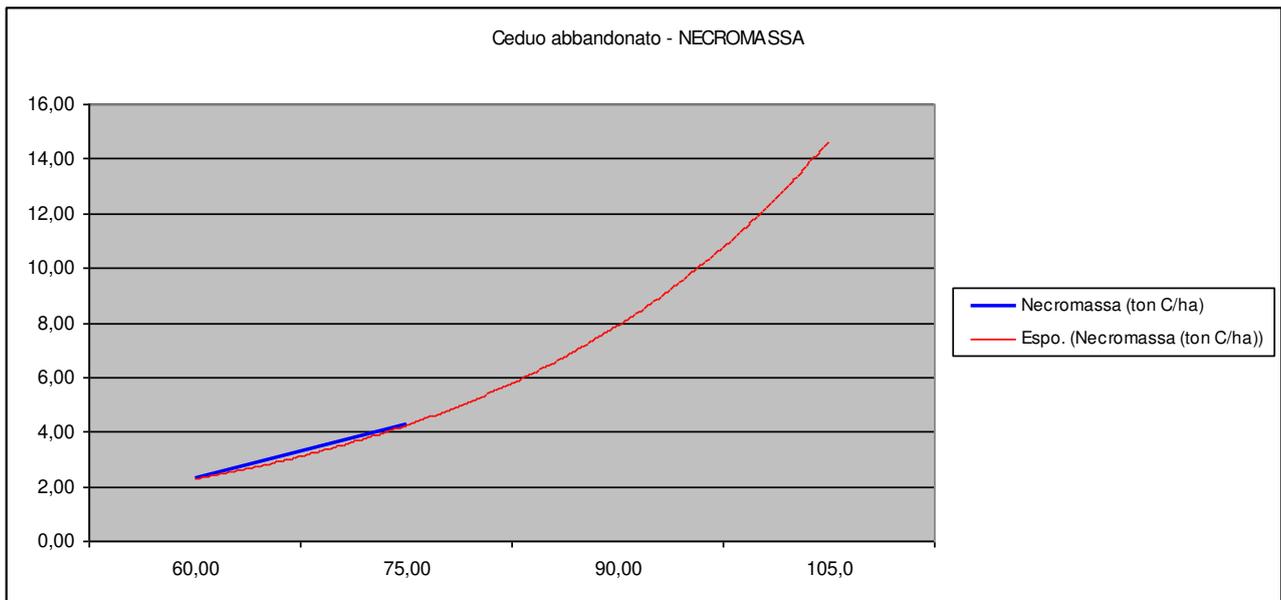
I valori sopra esposti rappresentano il “costo ambientale” necessario per garantire la cura del bosco e la possibilità di prelievo di prodotti legnosi: operazioni indispensabili, sia per mantenere un elevato ritmo di assorbimento della CO₂ e un adeguato stato di salute dell’ecosistema antropogenico (il ceduo è, a tutti gli effetti, una forma di governo di origine artificiale), sia per utilizzare parte della biomassa per fini economici. A quest’ultimo riguardo, va rimarcato come le due differenti gestioni di tipo attivo – ceduzione e conversione all’alto fusto – generino materiale con caratteristiche tecniche e finalità commerciali sempre più differenti. Dal taglio ordinario del bosco ceduo, di fatto, deriva esclusivamente legna da ardere, utilizzabile come combustibile di tipo rinnovabile dal discreto potere calorifico (18,75 MJ/kg) e il basso contenuto in umidità (42%) e ceneri alla combustione (1%). Il suo impiego in stufe di tipo domestico regolarmente mantenute con efficienza energetica del 70% è, di fatto, in grado di produrre calore per circa 450 MWh/ha ogni 30 anni. Dalla progressiva conversione del ceduo invecchiato, invece, si originano assortimenti più variegati, destinabili in misura crescente a prodotti finali dalla vita utile sempre maggiore, in grado perciò di immagazzinare carbonio biogenico al di fuori della foresta per un tempo anche molto lungo. Dalle rispettive filiere di trasformazione, si generano inoltre sottoprodotti, riutilizzabili in parte con finalità energetica. La trasformazione degli sfridi legnosi rilasciati dalla segheria in cippato destinato a centrali elettriche a biomasse, per esempio, permettere di produrre circa 8 MWh_{el} utilizzando il materiale proveniente da ogni ettaro oggetto di conversione “irregolare”.

Definizione dei parametri selvicolturali e gestionali all’età di 100 anni

L’utilizzo dei dati raccolti per la realizzazione di proiezioni dell’evoluzione dei differenti sistemi selvicolturali al loro 100° anno di età ha permesso di ipotizzare le variazioni dei differenti serbatoi di carbonio nei prossimi 25-35 anni. Questo, in effetti, è ritenuto un intervallo temporale congruo per analizzare in modo realistico l’evoluzione strutturale dei tre ecosistemi messi a confronto.

A tale scopo, l’accrescimento provvigionale del ceduo abbandonato è stato stimato mediante una curva di tipo logaritmico, ottenuta interpolando i dati rilevati agli anni 3, 15, 30, 60 e 75. L’evoluzione della fustaia transitoria oggetto nel 2020 del secondo intervento di conversione, da parte sua, ha ipotizzato un nuovo intervento di tipo “irregolare” nel 2040 e incrementi volumetrici di tipo lineare a seguito di ciascun taglio di “alleggerimento” del soprassuolo. Nel ceduo ordinario, invece, il successivo intervento di utilizzazione è stato previsto per il 90° anno di età, con un’intensità dell’asporto legnoso identica ai due interventi precedenti.

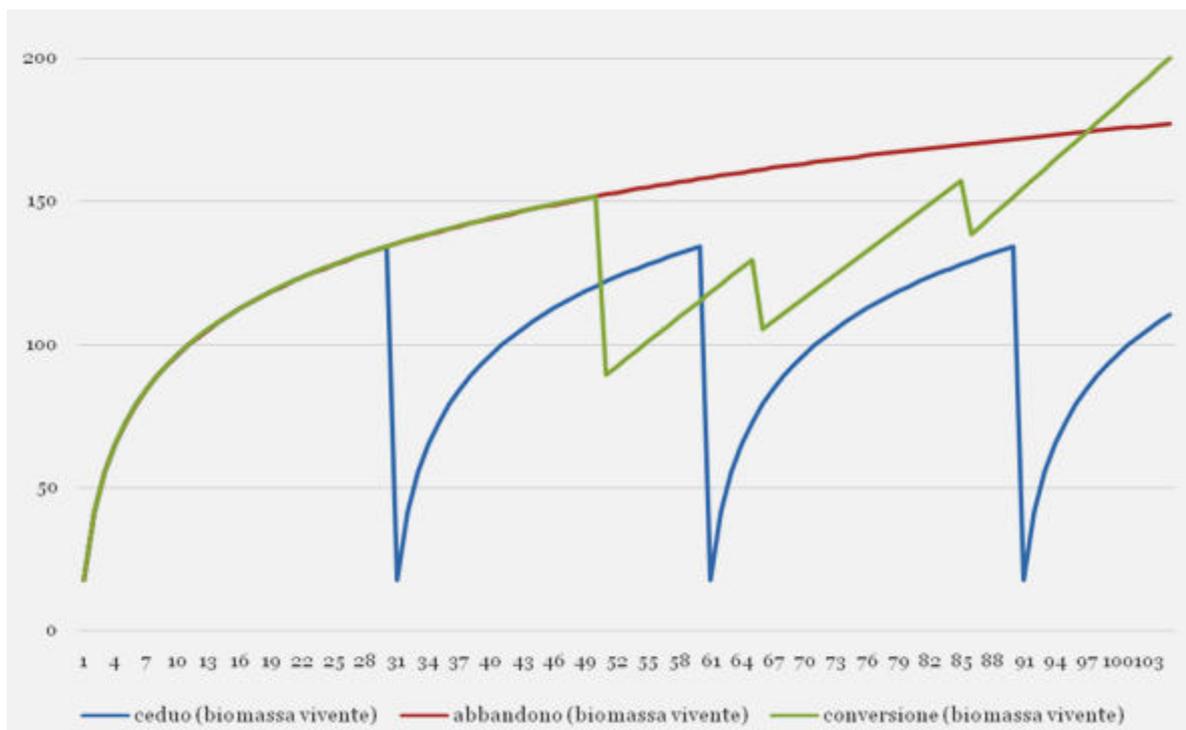
Per quanto riguarda la necromassa, essa è stata considerata in crescita esponenziale nella faggeta abbandonata, come evidenziato dalla rapida evoluzione rilevata fra gli anni 60 e 75, mentre la stessa risulta sostanzialmente stabile nelle due realtà regolarmente gestite.



La lettiera è stata considerata costante nel tempo, mentre per la quantità di carbonio immagazzinato nei primi 30 cm di suolo si è ritenuto opportuno applicare in tutti i casi un valore medio fra quelli rilevati sperimentalmente nelle diverse località, dal momento che è stata verificata la maggiore incidenza dei fattori stazionali – pietrosità e densità apparente, in particolare – rispetto alla gestione forestale.

Di conseguenza, la proiezione del carbonio complessivamente sottratto all’atmosfera può essere riassunta nelle seguenti tabella ed elaborato grafico:

Gestione forestale	Serbatoio carbonico (ton C ha ⁻¹)					Prodotti legnosi (ton C ha ⁻¹)		Totale sottrazione (ton C ha ⁻¹)	
	Biomassa vivente		Necromassa	Lettiera	Suolo	Totale	n° tagli		Totale legname
	epigea	ipogea							
Ceduo matricinato	33,2	13,3	1	12,7	20,9	81,1	3	216,6	297,7
Ceduo abbandonato	144,4	33,9	14,0	7,4	20,9	220,6	0	0	220,6
Ceduo in conversione	150,3	35,3	1,5	13,9	20,9	221,9	3	66,5	288,4



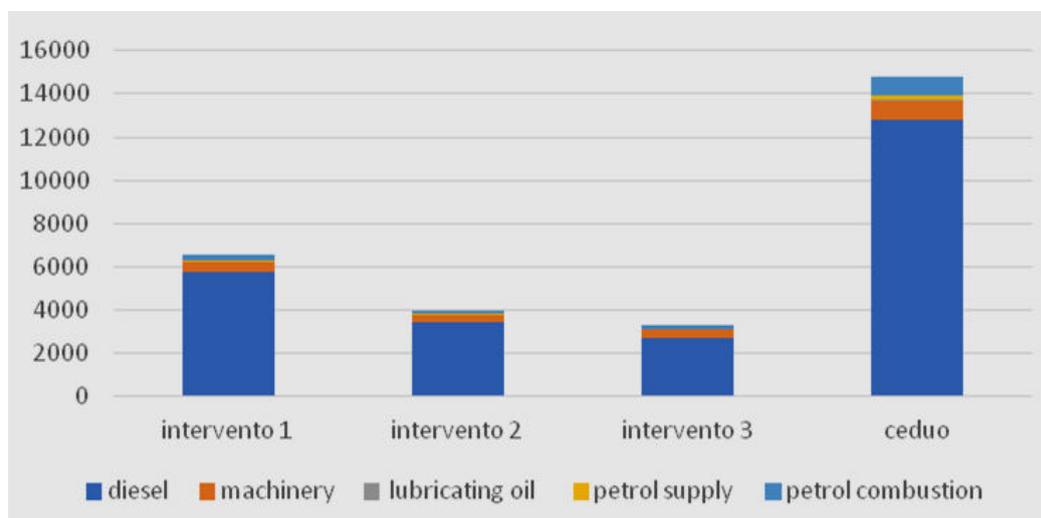
Relativamente alle emissioni legate ai cantieri di utilizzazione forestale e alle successive fasi della filiera produttiva, si sono quindi aggiornati i dati raccolti sperimentalmente, integrandoli con le future attività di ceduzione e il completamento del percorso di conversione all'alto fusto del ceduo invecchiato. In particolare, per quanto riguarda il nuovo intervento di conversione irregolare, operando in linea con quanto già evidenziato per l'intervento dimostrativo descritto in precedenza, i parametri selvicolturali, l'allocazione del legname fra le potenziali destinazioni produttive e i conseguenti impatti ambientali sono stati effettivamente calcolati come segue:

3° taglio "irregolare" di avviamento all'alto fusto (età = 85 anni)

<i>Parametri dendrometrici</i>		<i>Destinazioni commerciali</i>			<i>Prodotti finali</i>	
Provvigione media fustaia transitoria	440 m ³ /ha	Segheria	70%	365 q.li/ha	Mobili e arredi	180 q.li/ha
Percentuale di utilizzazione	12,5%	Legna da ardere	25%	130 q.li/ha	Legna da ardere	130 q.li/ha
Legname complessivo ritratto dal taglio	55 m ³ /ha (520 q.li/ha)	Residui in bosco	5%	25 q.li/ha	Biomassa per elettricità	110 q.li/ha

<i>Utilizzo di energia da fonti fossili</i>				<i>Utilizzo di materiali non rinnovabili</i>	<i>Produzione di energia</i>
<i>Gasolio (kg/ha)</i>	<i>Olio motore (kg/ha)</i>	<i>Trasporti (km/ha)</i>	<i>Elettricità (MWh/ha)</i>	<i>Metalli, plastiche, ecc. (kg/ha)</i>	<i>Elettricità (MWh/ha)</i>
553	11,3	434	1,169	90,2	9,10

Il grafico sottostante evidenzia quindi l'impatto ambientale dei tre interventi, di cui si compone il processo di conversione all'alto fusto del ceduo e delle tre ceduazioni occorse all'interno del ceduo matricinato, comprese le rispettive filiere.



Discussione

Serbatoi di carbonio in foresta

Dall'analisi dei volumi di biomassa vivente calcolati per le diverse realtà forestali è emerso, innanzitutto, che in assenza di interventi selvicolturali (aree B₁ e B₂) la provvigione legnosa aumenta in maniera progressiva (387,63 e 461,38 m³/ha rispettivamente), a fronte di un costante decremento dei ritmi di crescita del bosco (6,46 e 6,15 m³/ha*anno). Il prelievo di materiale legnoso, di fatto, riduce l'entità dello stock di C immagazzinato sull'unità di superficie forestale (aree A1-A₃ e C₁), dal momento che ne delocalizza una parte più o meno consistente per avviarla alla filiera produttiva. Per contro, ogni intervento selvicolturale può aumentare in modo significativo il potenziale di accrescimento dei soggetti risparmiati dal taglio, grazie all'improvvisa messa in luce e alla selezione dei soggetti migliori. Processi ancor più evoluti di quelli in atto nel comprensorio sperimentale dell'Alta Val Nure (area C₁), quali rinvenibili per esempio all'interno della limitrofa Comunalità di Boschetto (Albareto - PR), dimostrano come una fustaia matura, derivante dalla conversione di bosco ceduo avviata negli anni '40 e proseguita con diradamenti selettivi a cadenza ventennale, possa arrivare non a caso a esprimere parametri dendrometrici decisamente superiori rispetto a quelli rilevati nell'area di progetto. Al riguardo, la seguente tabella riporta i volumi di biomassa vivente e incremento medio epigeo del bosco allo stadio di piena maturità:

Località	Comunalità	Età del bosco	N°/ha	Volume epigeo (m ³ ha ⁻¹)	Volume ipogeo (m ³ ha ⁻¹)	Volume totale (m ³ ha ⁻¹)	Incremento medio epigeo (m ³ ha ⁻¹ anno ⁻¹)
Castello Tondo	Boschetto - PR	105	736	628,17	150,76	779,93	5,98

Accanto al notevole serbatoio di C rappresentato dalla fustaia matura, le possibilità di un utilizzo di tipo strutturale per il legname aumentano notevolmente con l'incremento di volume della singola pianta. Da ciò, deriva l'aumento della vita utile dei prodotti legnosi ritraibili con il taglio del bosco.

Dall'analisi dei dati relativi all'accumulo di necromassa nei differenti sistemi forestali, emergono invece valutazioni sul valore strutturale ed ecologico dei boschi nel medio-lungo termine e, di conseguenza, sui servizi ecosistemici che essi possono fornire. Più nel dettaglio, si evidenzia innanzitutto un processo di forte selezione fra i polloni conseguente ad ogni intervento di ceduazione, che pare raggiungere il proprio culmine in concomitanza con la scadenza del turno colturale per il ceduo (area A₃ - 3,76 ton C/ha). In

assenza di interventi di utilizzazione, fa seguito un periodo di maggiore stabilità del bosco, durante il quale si manifestano una progressiva decomposizione del materiale legnoso caduto a terra, specie quello di maggiori dimensioni, e una riduzione di nuovi fenomeni di mortalità o schianto (area B₁ – 2,28 ton C/ha). Successivamente, a partire da una età all'incirca doppia rispetto al turno del ceduo, l'artificialità della struttura mette a nudo i propri limiti di stabilità fisica e biologica, mostrando una brusca impennata della necromassa totale (area B₂ – 4,24 ton C/ha). Questa situazione di crescente degrado strutturale non si può risolvere naturalmente, se non in tempi lunghi molto lunghi e a costo di gravi rischi ecosistemici. All'avvicinarsi della naturale longevità della specie in contesti coetanei di origine agamica, stimata sperimentalmente in 100 anni, l'incremento di necromassa risulterebbe ancor più marcato (≈ 14 ton C/ha), specie per il contributo della sua componente di maggiori dimensioni, con conseguente decremento della stabilità del bosco, della salvaguardia idrogeologica e fitosanitaria del territorio. Di conseguenza, solamente con un intervento selvicolturale finalizzato alla conversione del bosco ceduo all'alto fusto, la faggeta potrà riprendere a svolgere correttamente le proprie funzioni ecologiche (area C₁ – 1,01 ton C/ha nel 2020). I dati relativi alla lettiera dimostrano invece, come ovvio, la forte incidenza della ceduzione sulla velocità di degradazione del materiale vegetale accumulato sul terreno forestale (area A₁). Nelle altre situazioni a copertura pressoché colma, invece, differenze significative sullo stoccaggio di C si legano esclusivamente alle diverse condizionali stazionali rilevate, quali litologia, pH e condizioni termiche, ovvero i principali fattori in grado di influenzare in modo diretto l'attività degli organismi decompositori, favorendola (area A₃) o meno (aree A₂, B₁ e C₁). In generale, tuttavia, emergono dati relativamente elevati, a testimonianza di come l'interazione fra latitudine, altitudine ed esposizione tenda a ostacolare una rapida mineralizzazione del materiale organico caduto a terra. Questo fenomeno non potrà che riflettersi negativamente, in tutte le aree, sullo stock di carbonio effettivamente presente nel suolo.

A tal riguardo, in realtà, vanno rimarcate innanzitutto le notevoli superficialità (valore medio < 30 cm) e pietrosità (> 45%) degli orizzonti pedologici più superficiali di questa porzione di Appennino. Questi fattori, ben più che la gestione selvicolturale adottata, paiono quindi condizionare le capacità di sequestro carbonico nei suoli forestali, peraltro generalmente poco evoluti e ascrivibili alle categorie degli entisuoli (suoli poco sviluppati) o degli inceptisuoli (suoli all'inizio dell'evoluzione pedogenetica). L'analisi della concentrazione di carbonio nei diversi strati di suolo, a fronte di valori mediamente modesti, mette in evidenza una discreta omogeneità fra le tre tipologie di gestione, con percentuali medie di C significativamente decrescenti al crescere della profondità (3,91% nello strato 0-5 cm vs. 1,43% nello strato 15-30 cm). Proprio la loro scarsa evoluzione e il limitato spessore degli orizzonti organico-minerali, tuttavia, limitano fortemente il potenziale stoccaggio di carbonio rispetto ad altre realtà decisamente più favorevoli (D'Andrea 2012).

Prodotti legnosi e sottrazione netta di C

Le tre gestioni forestali determinano tipologie di prodotti legnosi profondamente diverse fra loro. Se l'abbandono del ceduo è espressione di una totale rinuncia alla raccolta di legname, il suo utilizzo regolare permette invece un flusso di combustibile di tipo rinnovabile con cadenza trentennale. La vita utile della legna da ardere, tuttavia, sarà verosimilmente inferiore all'anno e, di conseguenza, non potrebbe contribuire a una riduzione delle emissioni di gas climalteranti se non in termini di evitato utilizzo di altri combustibili di origine fossile. Al riguardo, è però importante evidenziare come l'efficienza delle stufe utilizzate in ambito domestico non sia sempre tale da permettere rendimenti termici elevati, oscillando di fatto tra valori compresi fra meno del 50% e l'80%. Al contrario, un processo di conversione del ceduo a fustaia favorisce, a fronte di un impatto dei cantieri forestali inferiore rispetto al ceduo, una percentuale crescente di legname destinabile a impieghi strutturali a partire dal secondo intervento di diradamento. All'aumentare delle dimensioni degli alberi utilizzati, anche la vita utile dei prodotti finali risulterà sempre maggiore (complementi d'arredo, pavimenti, ecc.), innescando un processo virtuoso che, a prescindere da altri servizi ecosistemici svolti dal bosco (es. difesa del suolo, conservazione della biodiversità, ecc.), favorisce:

1) un livello elevato di carbonio immagazzinato in foresta;

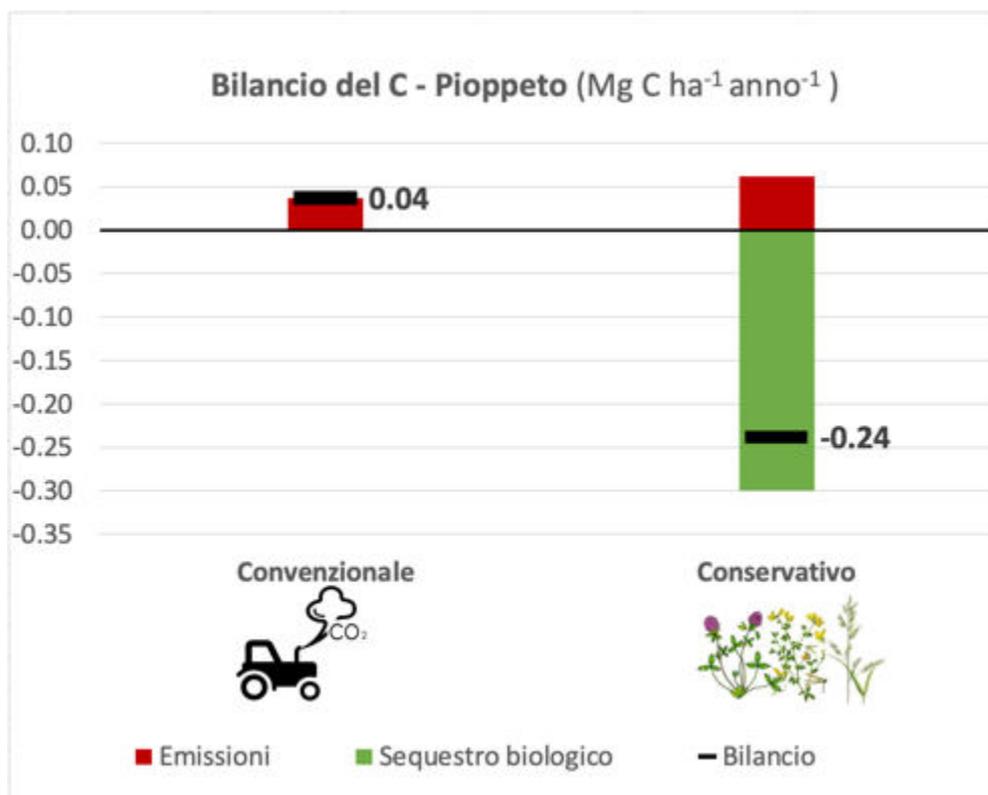
- 2) un significativo incremento della vita utile dei prodotti legnosi;
- 3) il mantenimento di ritmi di crescita del bosco più elevati rispetto alle altre forme di gestione.

Tanto premesso, l'opzione di disetaneizzazione della fustaia transitoria pare rafforzare ancor più i benefici della trasformazione della forma di governo per il faggio. Rispetto alla fustaia coetanea, infatti, la provvigione totale della foresta disetanea rimane costante nel lungo periodo e vengono evitati cantieri di utilizzazione molto impattanti, quali richiesti dai tagli di sementazione e sgombero, tipici del percorso di rinnovazione per "tagli successivi" dei boschi coetaneiformi. A tal riguardo, da un punto di vista strettamente tecnico, pare importante descrivere come l'intervento di conversione "irregolare" implementato nell'area sperimentale C₁ abbia giustappunto determinato una riduzione di 349 piante ad ettaro (da 1035 a 686: -33,7%), un volume finale di 284,4 m³ (vs 350 m³ iniziali: -18,7%) e, quindi, le premesse corrette per un'evoluzione della fustaia transitoria verso una faggeta disetaneiforme, irregolare per struttura e fasi silvogenetiche rappresentate all'interno del bosco. Proprio per queste caratteristiche, questo appare il tipo di soprassuolo in grado di offrire il migliore contributo in termini di efficienza ecosistemica in un contesto socio-economico sempre meno popoloso e poco interessato a un utilizzo frequente del bosco. Dal secondo intervento di diradamento della giovane fustaia transitoria, in realtà, non è stato possibile ottenere legname da destinare a falegnamerie o alla filiera dell'arredamento. Viste le dimensioni ancora modeste del materiale ritratto, esso è stato infatti utilizzato esclusivamente per la produzione di pallets di alta qualità (bancali "EPAL", da 15 kg cad.), richiesti dalla filiera della ceramica. Per questo tipo di prodotto, certamente meno durevole rispetto a mobili, pavimenti o infissi, è comunque verosimile prevedere almeno 3-4 cicli di riutilizzo, con una vita utile dei prodotti non inferiore ai 4-5 anni. L'incremento di valore economico dei boschi di faggio determinato dalla conversione del ceduo a fustaia, unitamente alla possibilità di interventi più frequenti richiesti da un programma di conversione irregolare dei cedui invecchiati, potrà giustificare nel breve-medio periodo l'organizzazione di cantieri forestali con livelli di meccanizzazione gradualmente maggiori. Da ciò, deriverebbe inoltre la possibilità di un utilizzo completo di ogni albero abbattuto e, attraverso moderni cantieri di cippatura, di una valorizzazione energetica di tutti i sottoprodotti del taglio.

4. Impronta carbonica di differenti gestioni colturali nei 4 sistemi agro-forestali

Pioppicoltura in zone golenali

La coltivazione di cover crops nell'interfilare del pioppeto ha dimostrato di poter controllare e ridurre lo sviluppo del cotico infestante che normalmente viene interrato con lavorazioni del suolo. La coltivazione di cover crops, nei due anni di coltivazione all'interno del progetto non ha incrementato significativamente il C sequestrato nel suolo e in generale le cover crops non hanno avuto alcun effetto significativo sulle caratteristiche. La capacità di sequestro del C da parte delle cover crops è legata allo sviluppo delle stesse, che è stato ridotto parzialmente da due eventi di piena del fiume Po che hanno depositato uno strato di limo e argilla che ha contribuito a favorire lo sviluppo di specie spontanee rispetto alle cover.



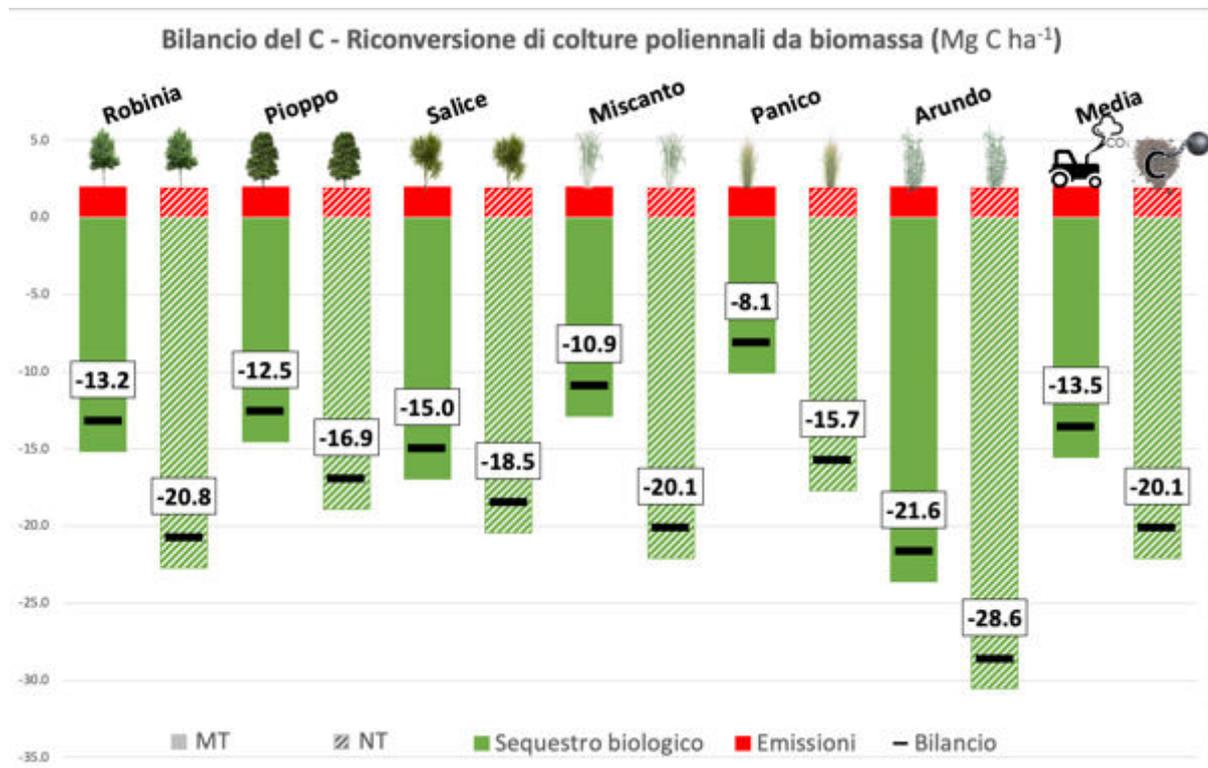
Bilancio finale del C per la gestione convenzionale e conservativa degli interfilari del pioppeto

Per calcolare il bilancio del C, è stato preso in considerazione un ciclo colturale decennale del pioppeto. Le cover crops poliennali hanno una capacità di sequestro del C pari a 0.5 Mg C ha⁻¹, assumendo che la loro capacità di sequestro si estenda fino al 6° anno di vita del pioppeto. Considerando tutte le emissioni di C dovute alle operazioni colturali, sia nella gestione conservativa che nella gestione convenzionale e il sequestro nel suolo, la prima è risultata quella migliore dal punto di vista ambientale. Il bilancio del C per la pratica convenzionale risulta positivo, con un'emissione netta di 0.04 Mg C ha⁻¹ anno⁻¹. Al contrario la pratica di gestione conservativa dell'interfilare con cover crops poliennali può sequestrare -0.240 Mg C ha⁻¹ anno⁻¹.

Riconversione di colture poliennali da biomassa

La riconversione di colture poliennali da biomassa ha mostrato nel breve periodo (2 anni) una notevole capacità di sequestro del C nel suolo. Questo è dovuto principalmente all'ingente quantità di biomassa ipogea che è stata incorporata nel suolo al momento della riconversione. In media, la riconversione conservativa ha sequestrato più carbonio rispetto alla convenzionale. La differenza maggiore è stata trovata tra la riconversione del panico rispetto alla riconversione dell'arundo ed è principalmente legata al

differente quantitativo di biomassa ipogea incorporata nel suolo al momento della riconversione. Il calcolo del bilancio del carbonio per i due tipi di riconversione ha mostrato come anche in questo caso le differenze tra i due tipi di riconversione non siano legati alle emissioni delle operazioni colturali alla quantità di C incorporata nel suolo.



Bilancio finale del C per la riconversione convenzionale (verde scuro) e conservativa (verde chiaro) di colture poliennali da biomassa

Coltivazione di miscanto a strisce in zone collinari

Basandosi sui dati del bilancio del C legato alla coltivazione, al potenziale antierosivo e quelli degli specifici inventari, sono stati sviluppati i bilanci di carbonio per le seguenti filiere agricole di montagna:

- ✚ coltivazione a strisce a miscanto destinato a combustione
- ✚ coltivazione a strisce a miscanto destinato a bioedilizia (casa di balle di paglia)
- ✚ coltivazione a strisce a miscanto destinato a vivaistica, giardinaggio o stabilimenti balneari
- ✚ coltivazione di medicaio

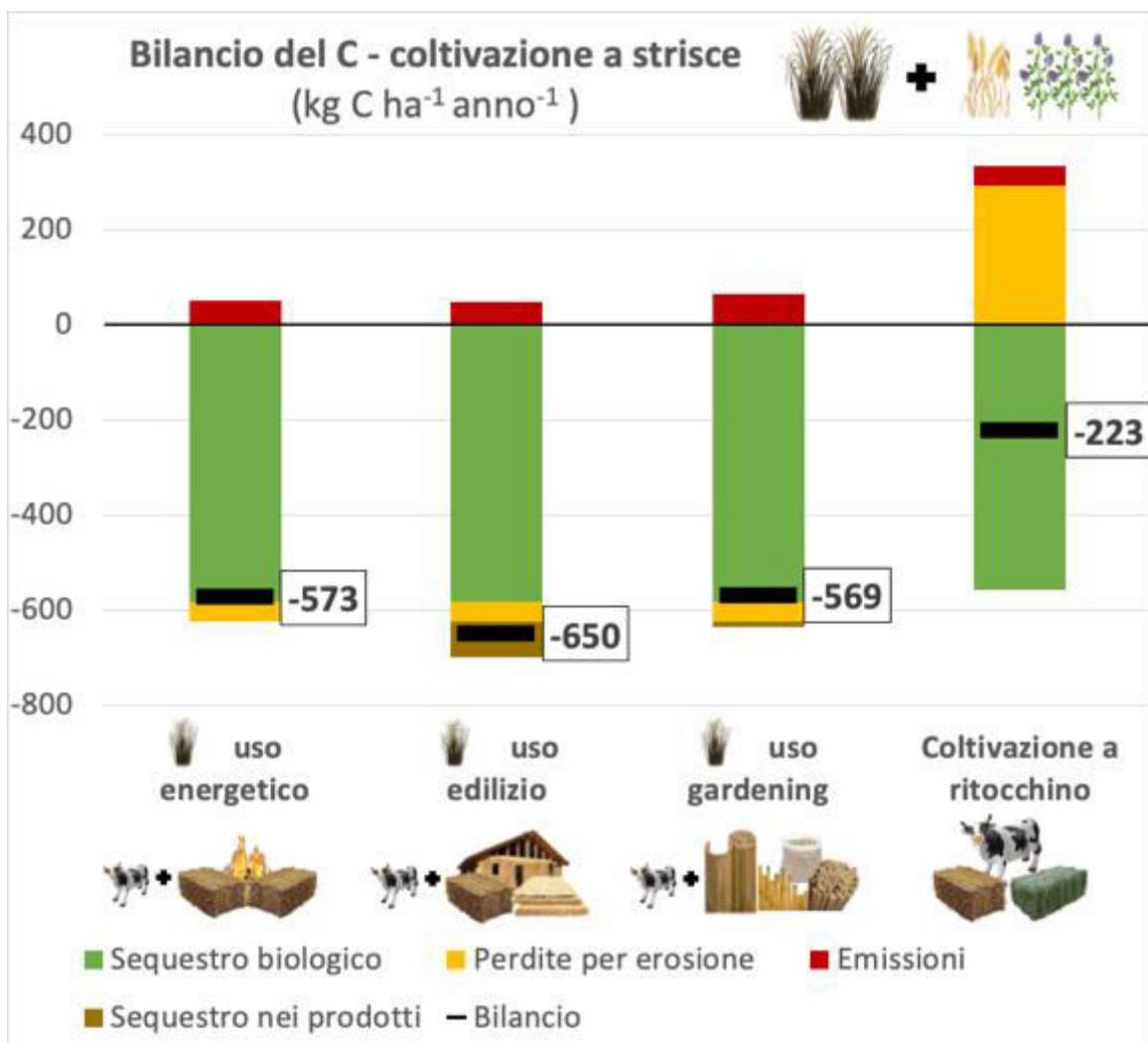
L'approccio ha seguito una metodologia di "Life Cycle Thinking" seguendo raccomandazioni e linee guida redatte da organismi internazionali (ISO 14040 e 14044). Il Life Cycle Assessment (LCA) è stato eseguito con il software Gabi Thinkstep. L'unità funzionale analizzata è stata l'ettaro di superficie gestita. In tutti i casi analizzati, i confini del sistema sono stati allargati per comprendere anche l'utilizzo dei prodotti finali (biomassa per riscaldamento di edifici, biomassa per bioedilizia, prodotti durevoli per vivaistica, giardinaggio o stabilimenti balneari, foraggi per zootecnia). L'indicatore utilizzato è definito come tonnellate di carbonio per superficie per anno ($\text{Mg C ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$). L'analisi di dettaglio di tutte le fasi operative delle attività legate alla coltivazione e trasformazione della biomassa ha portato inoltre a individuare i processi e le scelte gestionali, che contribuiscono maggiormente alla sottrazione di carbonio dall'agroecosistema e alle conseguenti emissioni di gas climalteranti, permettendo di identificare le strategie

necessarie per ridurre il GWP e incrementare l'assorbimento di C atmosferico in ambito forestale. A questo riguardo, l'analisi degli scenari relativi alla perdita di C per erosione superficiale a livello di bacino idrografico del torrente Nure può aiutare a individuare, caso per caso, il miglior compromesso fra esigenze di coltivazione e opportunità di nuove pratiche di tipo climatico-ambientale, in relazione alla densità e dimensione delle strisce di colture erbacee perenni da alternare a quelle con destinazione alimentare.

Il miscanto coltivato a strisce su terreni declivi ha dimostrato di poter ridurre significativamente le perdite di C dovute all'erosione del suolo. Questo è stato effettuato servendosi di raster DEM, shapefiles di European Soil Data Centre (ESDAC) e Geoportale della Regione Emilia-Romagna, applicando la formula di R.U.S.L.E. all'intero territorio comunale ed è stata effettuata una simulazione relativa al controllo dell'erosione superficiale ottenibile con un'applicazione su larga scala delle strisce di miscanto, secondo densità variabili con la pendenza del terreno. Tale processo ha portato alla determinazione della ipotetica quantità di carbonio sottratto all'erosione a seguito di un'estensione della coltura a strisce di miscanto sui terreni marginali dei comuni di Ferriere e, per confronto, di Farini.

Perdite di suolo e C evitate grazie alla coltivazione di miscanto a strisce (strip cropping - SC)

Comuni	Perdita suolo (Mg suolo ha ⁻¹ anno ⁻¹)			Perdita SOC (Mg C ha ⁻¹ anno ⁻¹)		
	Senza SC	Con SC	Perdita evitata con SC	Senza SC	Con SC	Perdita evitata con SC
Ferriere	19,53	8,41	11,09	0,695	0,299	0,395
Farini	17,91	7,58	10,32	0,763	0,324	0,439



Bilancio finale del C per coltivazioni con e senza strisce di miscanto in territori montani

Successivamente sono state analizzate e messe a confronto la valorizzazione energetica (combustione) con due tipi di utilizzo alternativo della biomassa: a) come materiale da costruzione (case di balle di paglia) e b) come alternativa all'uso di bamboo e canna palustre nel confezionamento di prodotti per giardinaggio (bastoncini per vivaistica), riforestazione (cannette segnaletiche, supporti per shelter) o bio-edilizia (stuoie, arelle, pannelli isolanti). I tre casi sopra esposti sono stati successivamente confrontati con una coltivazione tradizionale di erba medica e cereali senza introduzione delle strisce di miscanto.

Il calcolo dei rispettivi bilanci di carbonio ha messo in evidenza come la consociazione colturale fra strisce a miscanto e coltivazioni tradizionali su terreni declivi di montagna si proponga in ogni caso come soluzione molto positiva per la conservazione a lungo termine del carbonio biogenico. La sua presenza consente di evitare significative perdite carboniche legate all'erosione superficiale sui terreni declivi. Confrontata con l'innovativa tecnica dello strip cropping con miscanto, a prescindere dal tipo di utilizzo di quest'ultimo, l'agricoltura convenzionale in montagna si connota invece come la peggiore scelta dal punto di vista ambientale, in considerazione delle maggiori emissioni della filiera agricola e, soprattutto, delle gravi perdite di C per erosione da ruscellamento superficiale su pendii a monocoltura ($0,291 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$).

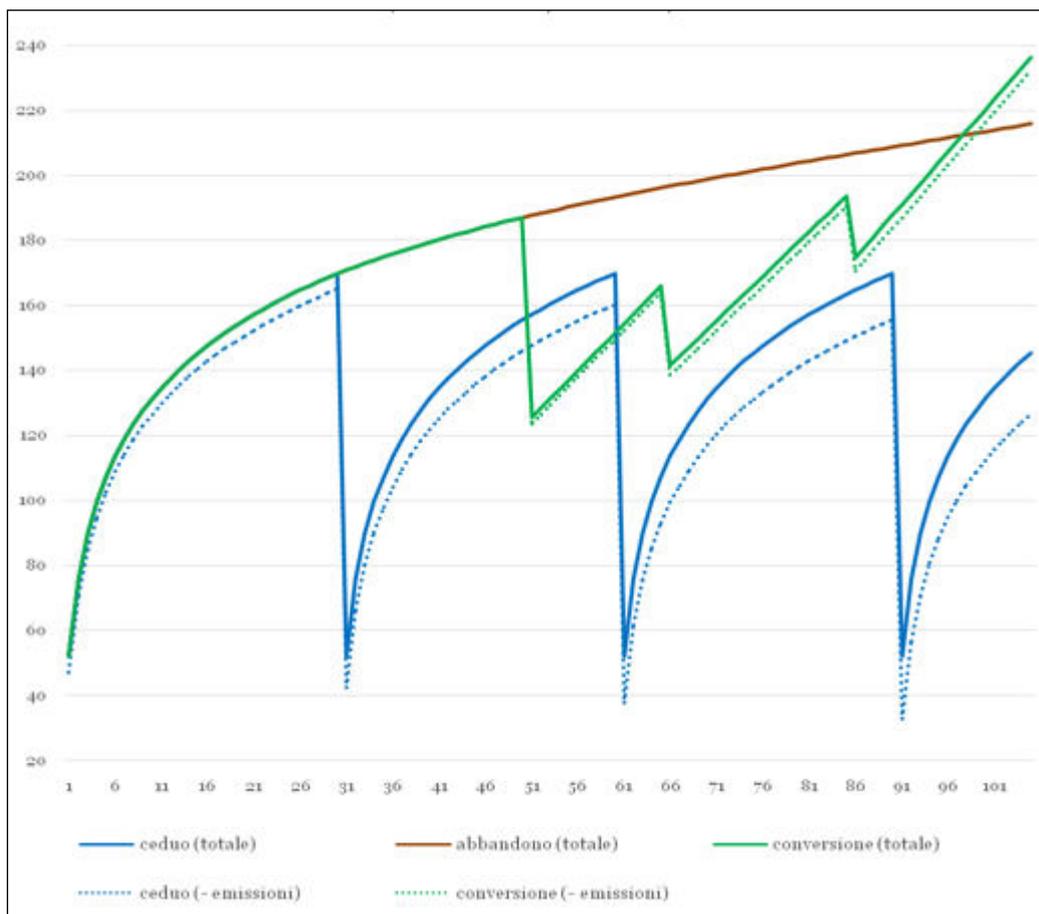
Gestioni alternative di boschi di Faggio

Basandosi sui dati degli inventari elaborati utilizzando dati primari e da inventario, sono stati sviluppati i bilanci di carbonio (LCA) dei tre diversi modelli selvicolturali individuati per i boschi di faggio, permettendo quindi un confronto fra:

-  governo a ceduo
-  abbandono colturale
-  conversione alla fustaia disetanea/coetanea

L'approccio ha seguito una metodologia di "Life Cycle Thinking" seguendo raccomandazioni e linee guida redatte da organismi internazionali (ISO 14040 e 14044). Il Life Cycle Assessment (LCA) è stato eseguito con il software Gabi Thinkstep. L'unità funzionale analizzata è stata l'ettaro di superficie gestita. In tutti i tre casi analizzati, i confini del sistema sono stati allargati per comprendere l'utilizzo di tutti i prodotti legnosi finali (legna da ardere, legname per pallets, biomasse legnose per centrali termoelettriche). L'indicatore utilizzato è definito come tonnellate di carbonio per superficie (ton C ha^{-1}). Tale indice è espressione diretta della cosiddetta impronta carbonica ("Carbon Footprint" o CF) dei sistemi forestali indagati e delle rispettive tecniche di utilizzazione. L'analisi di dettaglio delle varie fasi operative legate alla utilizzazione e trasformazione della biomassa permette, inoltre, di individuare i processi e le scelte gestionali, che contribuiscono maggiormente alle emissioni di gas climalteranti, permettendo di identificare le strategie migliori per ridurre il surriscaldamento globale e incrementare l'assorbimento di C atmosferico nell'ecosistema forestale.

Il calcolo della quantità complessiva di C stabilmente immagazzinato per ettaro di foresta su un periodo di 100 anni ha utilizzato gli scenari di assorbimento del carbonio atmosferico per le tre opzioni gestionali a confronto, considerando gli ecosistemi come un mosaico cronologico composto da tante parcelle annuali quanti sono gli anni dei rispettivi turni: 30 parcelle e 30 anni per il ceduo matricinato, 100 parcelle per il ceduo abbandonato e la conversione ad alto fusto, i cui "turni" superano di fatto la durata della modellazione. Ai quantitativi di carbonio immagazzinato in foresta nei tre sistemi forestali (linee continue nel grafico sottostante), si sono sottratte quindi le quantità di CO_2 emesse dalle rispettive filiere forestali, definendo l'andamento dell'assorbimento del carbonio al netto delle emissioni per la raccolta e la lavorazione del materiale legnoso (linee punteggiate).

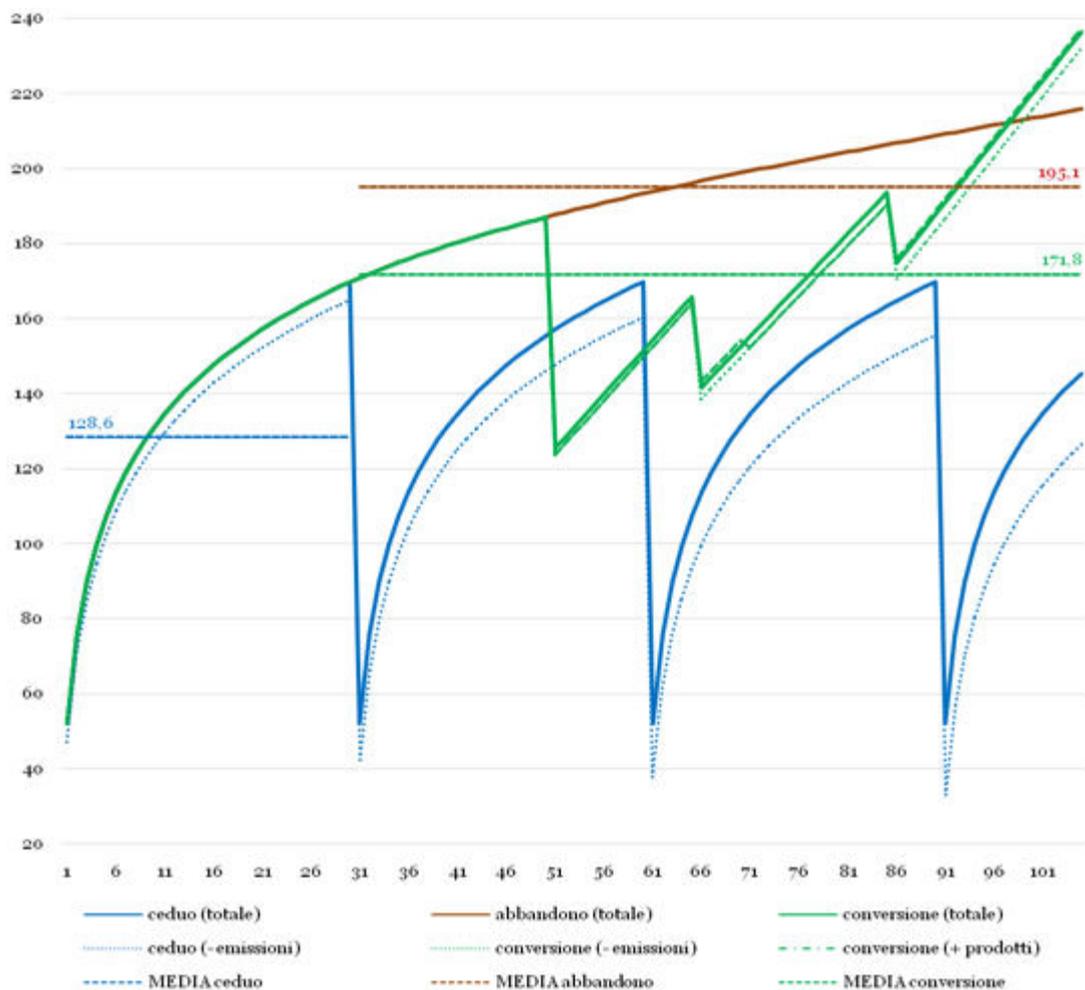


Successivamente, è stato considerato e valutato come il carbonio presente nei prodotti asportati dal bosco venga effettivamente conservato per periodi variabili con il tipo di utilizzo, secondo la tabella sotto riportata.

<i>Tipologia forestale</i>	<i>Località</i>	<i>Destinazione del legname</i>	<i>Vita utile dei prodotti finali</i>
Ceduo maturo	A ₃ - S.Gregorio	Filiera legno-energia	< 1 anno
Ceduo invecchiato	B ₁ - Pertuso	Filiera legno-energia	< 1 anno
Ceduo abbandonato	B ₂ - Torrio	Filiera legno-energia	< 1 anno
Fustaia transitoria	C ₁ - Selva	Filiera imballaggio	4-5 anni
Fustaia matura	Castello Tondo	Filiera legno-arredo	50-100 anni

Se il ceduo e il primo intervento di conversione del ceduo invecchiato producono di fatto solo legna da ardere, con il primo taglio di conversione irregolare si ottiene già materiale adatto alla fabbricazione di bancali, mentre con il secondo addirittura complementi di arredo.

Nella figura sottostante, le linee tratto-punto mostrano l'andamento della quantità di carbonio immagazzinato per ettaro di foresta e nei relativi prodotti durevoli, in funzione del tipo di gestione forestale. Da queste elaborazioni, è stato quindi possibile calcolare le medie della quantità di carbonio immagazzinata dai tre tipi di gestione nei 100 anni di riferimento (linee tratteggiate orizzontali).



L'insieme delle informazioni relative alle emissioni delle filiere artigianali legate alla foresta è stato rielaborato allo scopo di fornire un supporto decisionale circa la migliore gestione selvicolturale da mettere in atto in comprensori montani, oggetto di progressivo spopolamento e disinteresse verso uno sfruttamento frequente della risorsa legno. Di fronte a un processo di invecchiamento dei cedui sempre più evidente, con il rischio di una perdita definitiva della capacità pollonifera delle ceppaie, le potenziali opzioni che possono essere considerate sono risultate essere:

- 1) recupero immediato del ceduo e ripresa della ceduzione con turno trentennale
- 2) abbandono definitivo del ceduo invecchiato
- 3) conversione del ceduo all'alto fusto e disetaneizzazione della futura fustaia.

Le analisi dei rispettivi bilanci di C hanno quindi evidenziato, per la prima opzione (n°1), che la quantità stoccata di carbonio, calcolata come media di trenta parcelle di età crescente a cui sottrarre il carbonio emesso per il taglio, è risultata esser di 128,6 ton C/ha. In questo caso, non sono stati valutati i benefici ambientali derivanti dall'utilizzo di combustibile di tipo rinnovabile in sostituzione di altri combustibili di origine fossile, risultando difficile valutare in modo corretto questo vantaggio in un periodo storico lungo 100 anni, caratterizzato da evidenti progressi tecnologici e un rapido passaggio da un passato, in cui la legna era il principale combustibile, a un futuro in cui le fonti energetiche fossili saranno sempre meno utilizzate rispetto a oggi.

La seconda opzione (n°2) determina invece un quantitativo di carbonio immagazzinato in foresta molto superiore, pari a circa 195,1 ton C/ha, calcolati come media nei 70 anni seguenti alla definitiva rinuncia alla ceduzione. Il vantaggio in termini di aumentato immagazzinamento di carbonio in foresta appare molto evidente, rafforzato dalla totale assenza di una filiera produttiva. Uno studio più approfondito degli andamenti della curva di accumulo mostra, tuttavia, una progressiva saturazione delle capacità di

stoccaggio di C da parte dell'ecosistema, con l'impossibilità di prevedere l'effettiva sostenibilità nel lungo termine della scelta gestionale. Il forte incremento delle percentuali di necromassa rispetto alla biomassa vivente (7,85% stimato all'anno 100) porta peraltro a temere scenari di crescente degrado dell'ecosistema con evidenti rischi di natura idrogeologica e fitosanitaria, oltre alla parziale decomposizione del C immagazzinato. La terza opzione (n°3), infine, porterebbe a una quantità di carbonio media presente nelle foreste e nei prodotti, al netto delle emissioni, di 171,8 ton C/ha. Un risultato sicuramente elevato, benché inferiore al precedente, rafforzato tuttavia dai valori massimi superiori raggiunti verso il termine del periodo di analisi (dal 98° anno). Peraltro, lo stesso processo di conversione tuttora in corso non potrà ritenersi concluso al termine del periodo oggetto della presente analisi e, pertanto, è verosimile prevedere una prosecuzione del trend di crescita rilevato all'anno 100. A differenza del ceduo abbandonato, inoltre, la futura fustaia disetaneiforme risulterà essere un ecosistema decisamente più stabile e resiliente, in grado di proporre scenari molto più rassicuranti rispetto a quelli ipotizzabili per l'opzione n°2.

5. Conclusioni

Il progetto FarmCO₂Sink, in accordo con la tematica della focus area 5E “Promuovere la conservazione e il sequestro del carbonio nel settore agricolo e forestale” ha permesso di quantificare in maniera esaustiva e dettagliata, in differenti sistemi produttivi agro-forestali della Provincia di Piacenza, le pratiche agricole “conservative” più efficienti, a livello di azienda agricola, in termini di sequestro biologico del C e la riduzione delle emissioni di gas serra clima alteranti (GHG). I risultati emersi dal progetto confermano, nel loro complesso, l'opportunità ambientale ed economica di promuovere forme innovative nella gestione dei territori agro-forestali. Nuove tecniche agronomiche per colture tradizionali (il caso delle cover crop interfilari nella pioppicoltura golenale), una diversa organizzazione delle rotazioni agrarie in ambienti produttivi (il caso di rotazione pluriennali con colture da biomassa), forme di coltivazione consociata in territori marginali e fragili (il caso della coltivazione a strisce di miscanto in terreni declivi), così come una selvicoltura moderna a spiccata vocazione naturalistica (il caso dell'avviamento all'alto fusto e disetanziazione di faggete appenniniche), appaiono tutte soluzioni in grado di affrontare con efficacia le sfide agro-ecologiche più urgenti e indifferibili.

Di particolare interesse, ad esempio, è l'impronta carbonica di alcuni prodotti ottenuti dalla biomassa coltivata con tecniche conservative: prodotti durevoli a base di miscanto. La possibilità di utilizzare la biomassa di miscanto come materiale per opere di bioedilizia (es. case in balle di paglia di miscanto, arelle, pannelli isolanti) o di giardinaggio/vivaistica (es. cannette segnaletiche, tutori leggeri, stuoie) si propone, a questo riguardo, come un'ottima per sviluppare nuove filiere agricole dall'elevato valore climatico-ambientale in aree marginali svantaggiate come i territori delle alte valli appenniniche. I primi risultati sul sequestro del C nel suolo di tale coltura erbacea poliennale sono stati pubblicati recentemente sulla prestigiosa rivista internazionale *Global Change Biology and Bioenergy*¹. La coltivazione in terreni marginali e/o degradati da pratiche agricole convenzionali di colture poliennali come il miscanto o il panico o colture arboree da SRC come pioppo o robinia ha infatti mostrato un suggestivo potenziale di sequestro del C a lungo termine (> 1 Mg C ha⁻¹ anno⁻¹) insieme ad un notevole capacità rivitalizzante della salute del suolo, elemento quest'ultimo fondamentale per un'agricoltura che vuole essere produttiva e allo stesso tempo resiliente agli effetti dei cambiamenti climatici. Il progetto ha mostrato come una gestione “conservativa” della riconversione di tali sistemi poliennali a terreno arativo per la produzione di cibo può essere e deve avvalersi di tutte quelle tecniche di lavorazione del suolo proprie dell'agricoltura conservativa (minima lavorazione, rotazione colturale e cover crop) che non solo mantengono il C accumulato durante il periodo di coltivazione ma favoriscono un'ulteriore formazione di sostanza organica

¹ <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcbb.12785>
Bando DGR 2268/15

del suolo la quale si è dimostrato essere l'elemento chiave per supportare un produzione agraria ad alta efficienza d'uso delle risorse, a basso input e con valori produttivi soddisfacenti nei primi anni dopo la riconversione. Concludendo l'escursus di pratiche conservative, il progetto ha voluto concentrare parte degli sforzi di ricerca sulla gestione sostenibile del territorio forestale appenninico. Il confronto fra le analisi dendrometriche e i bilanci di carbonio relativamente alle tre tipologie di gestione di cedui di faggio in ambito appenninico (alta val Nure) dimostra come, nel breve-medio periodo, l'abbandono del bosco ceduo appaia la soluzione capace di garantire il maggior assorbimento di carbonio atmosferico da parte dell'ecosistema forestale. Nel lungo periodo, tuttavia, è la fustaia disetanea di faggio a presentare i migliori requisiti in termini di resilienza, efficienza ecologica e sostenibilità dello stoccaggio di grandi quantità di carbonio biogenico. Il recupero alla ceduzione regolare dei cedui invecchiati di faggio, invece, risulta l'opzione meno favorevole a un immagazzinamento di gas climalteranti nell'ecosistema forestale o in prodotti legnosi di tipo durevole. La presente ricerca dimostra, in sostanza, come in contesti socio-economici caratterizzati dal progressivo abbandono delle superfici boschive, quali tipici dell'Appennino emiliano, una gestione forestale sostenibile e certificata, basata sull'avviamento all'alto fusto dei cedui invecchiati di faggio e sulla progressiva disetaneizzazione delle fustaie, possa contribuire in modo significativo a un immagazzinamento consistente e stabile di CO₂ atmosferica all'interno degli ecosistemi forestali o sottoforma di prodotti legnosi dal lungo ciclo di vita.

La capacità di immagazzinare carbonio atmosferico negli ecosistemi agrari e forestali può, in questo contesto, diventare uno strumento per stimolare e rendere sempre più efficiente, attuale e sostenibile l'uso del territorio regionale, nei vari distretti di cui si compone. I dati ottenuti in questo progetto forniscono alle autorità regionali un database aggiornato riguardanti le pratiche di *carbon farming* più promettenti. Tramite la creazione di certificati di assorbimento trasparenti, il sistema di certificazione del *carbon farming* permetterà all'azienda agricola di percepire una premialità per l'impegno messo in atto nell'attività di decarbonizzazione ambientale dell'agricoltura.

Data 12 Aprile 2021