



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

TIPO DI OPERAZIONE

16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per la produttività e la sostenibilità dell'agricoltura

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 2144 DEL 10/12/2018

FOCUS AREA 3A X 5E

RELAZIONE TECNICA INTERMEDIA X FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO 5112640

DOMANDA DI PAGAMENTO 5706188

Titolo Piano	Selvicoltura e preservazione dei Suoli Boschivi: strategie per il sequestro del carbonio
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Università di Ferrara

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	30
Data inizio attività	25/06/2020
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	24/12/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	25/06/2020	al 24/12/2023
Data rilascio relazione		14/02/2024

Autore della relazione	Prof. Gianluca Bianchini		
telefono		email	bncglc@unife.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

Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del piano.

Il Piano d'Innovazione SuoBo "Selvicoltura e preservazione dei Suoli Boschivi: strategie per il sequestro del carbonio" si prefigge di studiare, in aziende montane selvicolturali della Regione Emilia-Romagna, l'importanza della preservazione della sostanza organica nel sequestro di carbonio per i) mitigare l'emissione dei gas a effetto serra e ii) favorire l'efficacia della sostenibilità nel tempo della gestione selvicolturale.

Durante il progetto i ricercatori delle Università di Ferrara, di Bologna e Consorzio Futuro Ricerca (CFR) di Ferrara hanno campionato i suoli di aree boschive e parti lignee e fogliari delle piante gestiti da tre aziende dell'Appennino Emiliano-Romagnolo (Azienda Agricola Branchicciolo, Azienda Agricola Beghelli Fabio e Società Cooperativa Valle del Senio) per misurare la quantità e la qualità della sostanza organica attraverso i) analisi dei parametri chimico-fisici dei suoli (pH, conducibilità elettrica; CaCO₃, tessitura); ii) analisi quantitativa dei contenuti di carbonio e azoto presenti nei terreni e nelle piante e le relative firme isotopiche; iii) analisi dei parametri ecofisiologici legati alla parte vivente delle comunità microbiche del suolo (C e N della biomassa microbica e respirazione basale potenziale); iv) calcolo di indici e indicatori della salute del suolo (quoziente microbico e metabolico, efficienza di utilizzo del C, Indice di Fertilità biologica); v) analisi della respirazione eterotrofa del suolo mediante camere in situ e determinazione con analizzatore portatile della CO₂ all'infrarosso. Il campionamento e le misure sono state eseguite nel 2020 e sono state ripetute a più di un anno di distanza nei medesimi siti, dopo che sono state eseguite le pratiche selvicolturali di

pulitura dell'area, al fine di valutare eventuali cambiamenti quantitativi e qualitativi nella sostanza organica e comprenderne le cause. Dato l'evidente calo di sostanza organica e del relativo carbonio organico registrato in un anno in un'azienda aderente al progetto, si sono eseguite delle analisi mineralogiche di dettaglio per definire il tipo di minerali presenti nei suoli di due aziende aventi mostrato trend di sequestro di carbonio contrastati durante il periodo di monitoraggio. Per il progetto, il CFR e Dinamica a r.l. hanno avuto in carico attività organizzative, di divulgazione e formazione. Per la divulgazione, il GO SuoBo ha partecipato a diverse conferenze nazionali e internazionali illustrando i risultati raggiunti durante le diverse fasi del progetto e ha divulgato gli obiettivi del progetto in riviste divulgative, in articoli on-line (newsletter) e presso suole del territorio emiliano-romagnolo. Il sito del progetto è stato attivato a Febbraio 2023 ed è stato continuamente aggiornato con l'annuncio di partecipazione a eventi, conferenze, tesi triennali, articoli scientifici e divulgativi inerenti al progetto, oltre che con materiale divulgativo scaricabile gratuitamente. Per la formazione si è organizzato da Dinamica Soc. Cons a r.l. e tenuto un corso da 80 ore "Tecniche di gestione del cantiere forestale conservative della sostanza organica nel terreno". La sintesi dell'attività complessiva è stata infine esposta in una riunione finale di progetto presso la sede di Confagricoltura a Bologna il giorno 19/12/2023 alla presenza dei vari partner coinvolti.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Azione 1	Università di Ferrara Università di Bologna Consorzio Futuro Ricerca Confagricoltura	Esercizio della cooperazione	1	1	30	42

Azione 2	Università di Ferrara Università di Bologna Confagricoltura Az. Agr. Branchiccolo, Az. Agr. Beghelli Fabio, Az. Agr. Montana Valle del Senio	Studi necessari alla realizzazione del piano	2	5	17	21
Azione 3	Università di Ferrara Università di Bologna Consorzio Futuro in Ricerca Confagricoltura Az. Agr. Branchiccolo, Az. Agr. Beghelli Fabio, Az. Agr. Montana Valle del Senio	Realizzazione del piano	3	6	28	40

Azione 4	Consorzio Futuro Ricerca	Divulgazione	3	3	30	42
Azione 5	DINAMICA a r.l	Formazione	21	21	23	23

2 - Descrizione per singola azione

Compilare una scheda per ciascuna azione

2.1 Attività e risultati

Azione 1	Esercizio della cooperazione
Unità aziendale responsabile	Università di Ferrara
Descrizione delle attività	<i>Il personale delle Università di Ferrara e Bologna hanno incontrato Confagricoltura e le aziende coinvolte nel GO cercando di comprendere le principali problematiche connesse alle relative produzioni agricole. Sono state scelte collegialmente le aree delle diverse aziende da investigare, in funzione dei rischi legati alla conservazione della sostanza organica nel suolo. In data 16/09/2020 a Bologna, tutti i partners si sono riuniti presso i locali di Confagricoltura Bologna Srl per il Kick Off Meeting di progetto e discutere l'avvio e la pianificazione delle attività; in data 24/11/2022, presso il dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari dell'Università di Bologna, si è svolto il Mid-term meeting, in occasione del quale è stato fatto il punto sullo stato di avanzamento progettuale e discusso degli scenari futuri legati alla realizzazione del piano durante l'ultima annualità e delle opportunità di divulgazione. Infine, in data 19/12/2023 presso i locali di Confagricoltura Bologna Srl si è tenuto il final meeting dei progetti PSR SuoBo e ForestDrone dal titolo "Monitoraggio del sequestro del carbonio nei suoli delle aree forestali nell'Appennino Emiliano-Romagnolo: i progetti PSR SuoBo e Forest Drone". In quest'occasione i ricercatori hanno mostrato ai partner coinvolti nel progetto SuoBo e agli altri partecipanti della giornata i risultati ottenuti, oltre ai dati delle ultime analisi mineralogiche che hanno evidenziato la presenza o assenza di minerali più proni al sequestro della materia organica nei suoli delle diverse aziende. Le aziende agro-forestali partner hanno colto l'occasione per confrontarsi con i ricercatori per capire quali siano le tecniche agricole migliori per il sequestro del carbonio e quali invece sono da evitare.</i>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<i>Gli obiettivi previsti nel piano originario sono stati completamente perseguiti. Lo scambio di informazioni fra ricercatori e operatori del settore è risultato essere efficiente grazie a reiterate visite, scambi telefonici e telematici, che hanno consentito un costante aggiornamento sull'iter del progetto. Nei confronti dell'Azienda Branchicciolo è stato notificato la cospicua perdita di sostanza organica avvenuta in un anno, dovuta a diverse cause: a) erosione; b) temperature superiori alle medie stagionali a causa del surriscaldamento climatico in atto; c) scarsità di minerali fillosilicati (argille e zeoliti) più favorevoli alla preservazione della sostanza organica. Ciò è servito da monito anche alle altre aziende: con il perdurare del cambiamento climatico, anche i suoli nelle loro aree in futuro potrebbero soffrire di perdita di sostanza organica. Infatti, nonostante l'utilizzo di corrette pratiche selvicolturali l'Azienda Agricola di Beghelli Fabio e la Società Cooperativa Montana Valle del Senio non hanno incrementato il quantitativo di carbonio organico nei loro terreni durante il periodo del progetto. L'esperienza di cooperazione è stata pertanto positiva in quanto ha arricchito i partner aziendali di conoscenze tecnico-scientifiche.</i>
Attività ancora da realizzare	

Azione 2	Studi necessari alla realizzazione del piano
Unità aziendale responsabile	Confagricoltura e partner aziendali (Az. agr. Branchicciolo, Az. Agr. Beghelli, Soc. coop. Montana Valle del Senio)
Descrizione delle attività	<i>Una volta definiti i criteri di campionamento dei suoli e delle piante nelle realtà aziendali, i partners forestali hanno guidato il campionamento dei suoli in aree preferibilmente boschive. Sono state fissate le date del primo campionamento in ogni azienda, concordando approssimativamente anche le date del secondo rilevamento, a distanza di un anno, dopo la pulizia effettuata da operatori tramite le consuete pratiche selvicolturali.</i>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<i>Gli obiettivi previsti nel piano originario sono stati completamente perseguiti. Si è verificato un ritardo nell'esecuzione della seconda campionatura a causa del perdurare dell'emergenza sanitaria che ha limitato gli spostamenti verso le aziende. L'attività condotta consentirà di valutare l'effetto delle pratiche selvicolturali e dei diversi contesti pedoclimatici (diversa altitudine delle aree boschive) sulla conservazione della sostanza organica, della struttura e tessitura del suolo e dunque sulla fertilità dello stesso. I partners avranno dunque strumenti ulteriori per riconsiderare la gestione agronomica specifica dei loro terreni.</i>
Attività ancora da realizzare	

Azione 3	Realizzazione del piano
Unità aziendale responsabile	Università di Ferrara e Università di Bologna
Descrizione delle attività	<i>I suoli delle aziende coinvolte sono stati campionati nel 2020 e a più di un anno di distanza dai ricercatori delle Università e del CFR, avvalendosi anche di studenti che hanno presentato i casi di studio in elaborati di tesi, presso le diverse sedi aziendali. In queste visite, in ogni azienda si sono aperti 4 profili di circa 70 cm e si campionati i vari orizzonti pedogenetici. Attorno ad ogni profilo si sono scavati 4 minipit a un metro di distanza l'uno dall'altro e si sono campionati i suoli alla profondità di 0-15 cm (topsoil) e 15-30 cm (subsoil). I campioni raccolti alla stessa profondità e attorno allo stesso profilo sono stati mescolati fra loro per omogenizzare il più possibile il campione di suolo creando così un campione composito di ogni sito alle profondità 0-15 cm e 15-30 cm che corrispondono alle profondità maggiormente influenzate dalle attività agricole. I campioni dei profili e dei minipit opportunamente etichettati sono stati portati nei laboratori delle Università di Ferrara e di Bologna per le determinazioni analitiche. I campioni di suolo sono stati preparati e macinati dal CFR per le successive analisi. L'Università di Ferrara ha analizzato tutti i suoli opportunamente campionati attraverso EA-IRMS (Elementar Analyzer Isotopic Ratio Mass Spectrometry), tecnica che consente di misurare le quantità di carbonio e il relativo rapporto isotopico ($\delta^{13}C$). È stato messo a punto un preciso protocollo analitico che consente di analizzare le diverse forme di carbonio (organico e inorganico) variando le temperature di esercizio dello strumento. I risultati sono stati validati anche dall'utilizzo di un nuovo strumento (SolITOC) che analizza i campioni di terreno in rampa di temperatura, fornendo un termogramma. Si riesce pertanto a differenziare distinte componenti nella matrice organica: TOC400 (carbonio organico labile, rilasciato prima dei 400°C), ROC (carbonio organico recalcitrante, rilasciato dai 400 ai 600°C) e il TIC (carbonio inorganico rilasciato a temperature superiori a 600°C). Tali dati sono stati di fondamentale importanza per la</i>

	<p>determinazione degli stocks di carbonio organico, da cui è desumibile la quantità di gas a effetto serra che potrebbero essere rilasciati in atmosfera in caso di depauperamento della sostanza organica. Parallelamente l'Università di Bologna ha analizzato tutti i terreni campionati per determinare le caratteristiche fisico-chimiche dei suoli (tessitura, pH, conducibilità elettrica, contenuto di CaCO₃) e per valutare lo stato qualitativo della sostanza organica. All'interno della matrice organica sono state estratte e determinate le distinte frazioni di C organico che presentano diversa stabilità: quali la POM (Particulate Organic Matter), HA (Acidi Umici), FA (Acidi Fulvici) e Umina. Sono stati inoltre misurati alcuni parametri relativi alle condizioni ecofisiologiche del suolo quali carbonio e azoto della biomassa microbica, respirazione basale potenziale e respirazione potenziale cumulata che hanno permesso di calcolare molti indicatori biochimici del suolo quali quoziente metabolico, quoziente di mineralizzazione, quoziente microbico; inoltre questi indicatori sono serviti per calcolare l'indice di fertilità biologica dei suoli indagati. Tali dati risultano fondamentali per comprendere le dinamiche evolutive della sostanza organica e il turnover delle sue componenti. Sono state messe le trappole per la determinazione della CO₂ eterotrofa del suolo e sono state effettuate le campagne di monitoraggio nel periodo primaverile estivo. Osservando una significativa diminuzione di carbonio in una sola delle Aziende coinvolte (l'Azienda Branchicciolo), si sono eseguite delle analisi mineralogiche diffrattometriche per caratterizzare con dettaglio il tipo di minerali presenti nei suoli delle due Aziende boschive aderenti al progetto e che hanno mostrato trend di preservazione della materia organica contrastanti durante il periodo del progetto. Come previste dal piano si sono eseguite anche delle analisi di contenuto di carbonio e azoto in parti vegetative (rami e foglie) dei boschi nelle due aziende agricole Branchicciolo e Beghelli per eseguire una stima della perdita di carbonio dovuto alla rimozione di materiale vegetativo in seguito alle attività selvicolturali eseguite nei siti. Durante il progetto le singole aziende partner hanno svolto le seguenti pratiche selvicolturali:</p> <ul style="list-style-type: none"> - l' Azienda Branchicciolo ha eseguito interventi forestali e in tartufaia controllata naturale autorizzata dalla regione emilia romagna. In particolare si sono eseguiti diradamenti e ripulitura di infestanti e piante secche e deperienti con utilizzo della viabilità esistente ed esbosco del legname; - Azienda Beghelli Fabio ha eseguito interventi forestali in bosco ceduo in turno specie prevalente Castagno (Castanea sativa) con adeguato rilascio di matricine con utilizzo di viabilità forestale presente ed esbosco del legname; - il "Giardino delle erbe" (Società Cooperativa Montana Valle del Senio) ha eseguito lavori di potatura del secco e trinciatura dello stesso, lasciando il materiale sul posto, anche lo sfalcio dell'erba, eseguito successivamente negli stessi giorni è rimasto a terra.
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Gli obiettivi previsti nel piano originario sono stati completamente perseguiti. I dati ottenuti sono stati elaborati e trasmessi anche alle aziende partner durante il mid-term meeting e il final-term meeting, per evidenziare soprattutto la perdita di sostanza organica (e quindi di C organico) nei suoli dell'area dell'Azienda Agricola Branchicciolo e l'emissione di gas a effetto serra nei suoli dell'area dell'Azienda Agricola Beghelli, in seguito alle pratiche agricole selvicolturali invasive. Alle Aziende sono state forniti dei suggerimenti per limitare la perdita di C (es. interrimento di materiale organica presso l'Azienda Branchicciolo; diminuire la quantità di materiale vegetativo asportato presso l'Azienda Beghelli).</p> <p>Rispetto al progetto iniziale si sono eseguite delle analisi mineralogiche diffrattometriche non previste dal piano, al fine di risalire a tutte le possibili cause che potrebbero aver favorito la rapida perdita di carbonio organico nell'Azienda Branchicciolo. L'attività condotta consentirà di valutare in modo empirico il diverso effetto delle pratiche agronomiche sulla conservazione della sostanza organica, della struttura e tessitura del suolo e dunque sulla fertilità dello stesso. I partners avranno dunque strumenti e conoscenze ulteriori per riconsiderare la gestione agronomica specifica dei loro terreni. A causa del perdurare dell'emergenza covid si è verificato un ritardo nell'esecuzione della seconda campionatura e, di conseguenza anche nell'esecuzione delle analisi. Inoltre, l'accesso contingentato ai laboratori ha rallentato in modo significativo l'esecuzione delle attività in laboratorio.</p>

Attività ancora da realizzare	
-------------------------------	--

Azione 4	Divulgazione
Unità aziendale responsabile	Consorzio Futuro Ricerca
Descrizione delle attività	<p><i>L'Azione 4 è stata coordinata dal Consorzio Futuro in Ricerca che insieme agli altri partner del progetto ha contribuito alla realizzazione delle attività di divulgazione dei risultati e delle conoscenze ottenute, finalizzate a garantire un impatto positivo a livello regionale e non. Nello specifico, tra le attività realizzate, in collaborazione con gli altri partners, si annoverano:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>la realizzazione e l'aggiornamento in divenire dei contenuti del sito web di progetto (www.progettosuobo.com);</i> - <i>partecipazione alla Tavola rotonda sull'Agricoltura Conservativa organizzato da Fratelli Navarra a e AIPAC (tenuto il 11/11/2021 presso Gualdo, Ferrara);</i> - <i>presentazione del progetto in siti di informazione locale (Estense.com), nella newsletter dell'Università di Ferrara e nella rubrica on-line della rivista "Sapere"</i> - <i>presentazione dei risultati di progetto alla comunità scientifica in corrispondenza di manifestazioni/nazionali (RemTech, ICOS, RURINNOVA, Congresso congiunto SIMP-SGI-SOGEI-AIV) e internazionali (EGU);</i> - <i>partecipazione alla fiera agricola AgriAlp 2023 a Bolzano;</i> - <i>presentazione dei risultati di progetto e sensibilizzazione alla tematica del sequestro di carbonio nella attività silvo-colturali in scuole emiliano-romagnole</i> - <i>individuazione di una special issue della rivista Environments (MDPI) come target editoriale utile per divulgazione dei risultati raggiunti all'interno della comunità scientifica;</i> - <i>preparazione e stampa di materiale divulgativo (presentazioni power-point; roll-up e brochure);</i> - <i>organizzazione della giornata conclusiva "Monitoraggio del sequestro del carbonio nei suoli delle aree forestali nell'Appennino Emiliano-Romagnolo: i progetti PSR SuoBo e Forest Drone" dove sono stati presentati i risultati del progetto SuoBo alle aziende partner del progetto agli altri partecipanti all'incontro.</i>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti. Sebbene, inizialmente, il perdurare della pandemia nel corso del 2020/21 abbia fortemente ostacolato sia la partecipazione che l'organizzazione di eventi di divulgazione in presenza, attività che verranno maggiormente concentrate nella seconda parte del progetto SuoBo.</i></p> <p><i>Tutto il materiale divulgativo preparato durante il progetto (presentazioni power-point; roll-up e brochure) è scaricabile anche gratuitamente dal sito del progetto di SuoBo. I risultati ottenuti sono stati pubblicati anche nella Special Issue "Past, Current and Future Processes in the Earth Critical Zone" della Rivista open access "Environments" (MDPI). Data la rilevanza dell'articolo, la rivista ha selezionato la pubblicazione come copertina del volume di Settembre.</i></p>
Attività ancora da realizzare	

Azione 9	Formazione
Unità aziendale responsabile	DINAMICA soc cons a r.l.

<p>Descrizione delle attività</p>	<p><i>L'attività formativa realizzata, inerente l'intervento formativo "Tecniche di gestione del cantiere forestale conservative della sostanza organica nel terreno" è stato organizzato da Dinamica.</i></p> <p><i>Sono stati organizzati due corsi della durata di 80 ore, articolati in tre moduli di 20, 24 e 36 ore, rispettivamente, con l'obiettivo di fornire indicazioni tecniche inerenti alle pratiche da mettere in atto per bloccare la continua riduzione della frazione organica nel terreno attraverso l'uso di tecniche agronomiche e tecnologiche per un'agricoltura sempre più integrata con l'ambiente.</i></p> <p><i>I percorsi formativi si sono svolti alternando le diverse metodologie didattiche prevedendo:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <i>1) Lezioni in aula basate sulla trasmissione di concetti, informazioni e schemi interpretativi per acquisire conoscenze teoriche e/o pratiche anche in contesto laboratoriale.</i> <i>2) Analisi casi pratici che consentono di contestualizzare e approfondire le capacità e le conoscenze acquisite durante il percorso formativo attraverso la partecipazione attiva dell'utente con analisi di casi e questioni inerenti alla propria realtà aziendale.</i> <i>3) Lezioni in campo che consentono di integrare e approfondire le capacità e le conoscenze acquisite durante il percorso formativo attraverso l'osservazione diretta di esperienze aziendali/operative.</i> <p>MATERIALI DIDATTICI</p> <p><i>E' stato messo disposizione il materiale didattico, che ha supportato le principali tematiche trattate nell'intero percorso formativo predisposto dai docenti previsti.</i></p> <p><i>A ciascun partecipante, alla fine del corso è stato somministrato un questionario di gradimento per la valutazione della qualità complessiva del corso, l'interesse ed eventuali suggerimenti e/o osservazioni.</i></p> <p><i>Al termine dei percorsi sono state somministrate inoltre le seguenti tipologie di verifica finale di apprendimento atte a verificare l'acquisizione da parte dei singoli utenti di conoscenze/capacità in relazione all'oggetto della formazione:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>- un test di valutazione teorico</i> <i>- tre verifiche pratiche relative a:</i> <i>- Modulo 1 - Valutazione dell'area boschiva da trattare</i> <i>- Modulo 2 - Delimitazione dell'area di cantiere e delle parti che lo compongono</i> <i>- Modulo 3 - Movimentazione dei tronchi dal letto di caduta all'area di concentramento</i>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>Le attività sono state completamente realizzate. Al piano originariamente presentato erano state abbinate le seguenti proposte:</i></p> <p><i>Proposta 5116471 - La gestione forestale solidale e sostenibile nelle zone colpite dalla tempesta Vaia - approvata</i></p> <p><i>Proposta 5115858 - Esperienze di gestione forestale sostenibile in Val Chisone - non approvata</i></p> <p><i>I viaggi originariamente previsti sono stati sostituiti dal percorso formativo sopraccitato in considerazione delle difficoltà legate al periodo di pandemia.</i></p> <p><i>Il percorso formativo ha fornito indicazioni tecniche su quale ruolo abbia il sequestro del carbonio sulle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del terreno. Sono stati illustrate le pratiche silvicolture e le attrezzature da utilizzare in cantiere che consentono la maggior conservazione della sostanza organica in bosco</i></p>
<p>Attività ancora da realizzare</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.

AZIONE 1- ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. UniFE	Coordinazione delle attività del progetto	104	4.992 euro
	Prof. UniBO	Supporto al coordinamento di progetto	32	1.536 euro
	Prof. UniBO	Supporto al coordinamento di progetto	14	672 euro
	Dip. Tempo ind. CFR	Supporto al coordinamento di progetto	231	6.237 euro
	Confagricoltura Tecnico Agro- Forestale	Coordinamento tecnico e gestione – pianificazione delle attività delle imprese	172	4.644 euro
	Az. Agr. Branchicciolo	Coordinamento delle attività del progetto con gli altri partner	8	156 euro
	Az. Agr. Beghelli Fabio	Coordinamento delle attività del progetto con gli altri partner	8	156 euro
	Socio di Montana Valle del Senio Società Cooperativa	Coordinamento delle attività del progetto con gli altri partner	8	156 euro
			Totale:	18.549 euro

AZIONE 2-STUDI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. UniFE	Definizione delle attività di campionamento dei suoli	33	1.584 euro
	Prof. UniBO	Definizione delle attività di campionamento dei suoli	22	1.056 euro
	Prof. UniBO	Definizione delle attività di campionamento dei suoli	20	960 euro
	Confagricoltura Tecnico Agro- Forestale	Coordinamento tecnico e gestione – pianificazione delle attività delle imprese	39	1.053 euro
	Az. Agr. Branchicciolo	Sopralluogo per l'esecuzione di campionamenti interventi forestali.	308	6.006 euro
	Az. Agr. Beghelli Fabio	Sopralluogo per l'esecuzione di campionamenti ed interventi forestali .	308	6.006 euro
	Socio di Montana Valle del Senio	Sopralluogo per l'esecuzione di campionamenti. Trinciatura e	98	1.911 euro

	Società Cooperativa	sfalcio con asporto del materiale grossolano		
			Totale:	18.576 euro

AZIONE 3-REALIZZAZIONE DEL PIANO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
	Prof. UniFE	Campionamento dei terreni Esecuzione di analisi di laboratorio Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche.	303	14.544 euro
	Assegnista di Ricerca UniFE	Esecuzione di analisi di laboratorio. Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche.	1659,96	24.052,82 euro
	Prof. UniBO	Campionamento dei terreni Esecuzione di analisi di laboratorio Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche.	48	2.304 euro
	Prof. UniBO	Campionamento dei terreni Esecuzione di analisi di laboratorio Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche.	50	2.400 euro
	Assegnista di Ricerca UniBO	Esecuzione di analisi di laboratorio. Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche.	1630	22.608,10 euro
	Dip. Tempo ind. CFR	Campionamento dei terreni Preparazione dei campioni di suolo per le analisi di laboratorio	24	648 euro
	Confagricoltura Tecnico Agro- Forestale	Coordinamento tecnico e gestione – pianificazione delle attività delle imprese	405	10.935 euro
	Az. Agr. Branchicciolo	Interventi forestali	344	6.708 euro
	Az. Agr. Beggelli Fabio	Interventi forestali	344	6.708 euro
	Socio di Montana Valle del Senio Società Cooperativa	Potatura, trinciatura e sfalcio con asporto del materiale grossolano	196	3.822 euro
			Totale:	94.729,92 euro

AZIONE 4-DIVULGAZIONE

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo
----------------	---------------------	-----------------------------	-----	-------

	Prof. UniFE	Disseminazione degli obiettivi di SuoBo e dei risultati ottenuti dal progetto	14	672 euro
	Assegnista di Ricerca UniFE	Disseminazione degli obiettivi di SuoBo e dei risultati ottenuti dal progetto	60	869,40 euro
	Prof. UniBO	Disseminazione degli obiettivi di SuoBo e dei risultati ottenuti dal progetto	7	336 euro
	Prof. UniBO	Disseminazione degli obiettivi di SuoBo e dei risultati ottenuti dal progetto	34	1632 euro
	Dip. Tempo ind. CFR	Realizzazione di eventi divulgativi, predisposizione e aggiornamento sito web, elaborazione materiale divulgativo	581	15.687 euro
			Totale:	19.196,40 euro

AZIONE 5-FORMAZIONE

Il costo totale delle attività di formazione corrisponde a 29484,8 euro e è stata finanziata al 90%.

2.3 Trasferte

AZIONE 1

Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Partecipazione al Kick off meeting progetto SuoBo , Bologna 16/09/2020	46,42 euro
	Partecipazione al Mid Term meeting progetto SuoBo, Bologna 24/11/2022	41,28 euro
	Partecipazione al Final meeting progetto SuoBo, Bologna 19/12/2023	54,88 euro
	Partecipazione al Kick off meeting progetto SuoBo, Bologna 16/09/2020	48,20 euro
Totale:		190,78 euro

AZIONE 3-REALIZZAZIONE DEL PIANO

Cognome e nome	Descrizione	Costo
----------------	-------------	-------

	Campionamento presso Az. Agr. Branchicciolo a Sasso Marconi (BO) il 27/10/2020	45,80 euro
	Campionamento presso Az. Agr. Beggelli Fabio a Monte San Pietro (BO) il 28/10/2020	76,48 euro
	Campionamento presso Soc. Coop. Montana Valle del Senio a Casola Val Senio (RA) il 10/11/2020	89,28 euro
	Campionamento presso Az. Agr. Branchicciolo a Sasso Marconi (BO) il 08/07/2021	14,00 euro
	Campionamento presso Az. Agr. Beggelli Fabio a Monte San Pietro (BO) il 29/09/2021	86,80 euro
	Totale:	312,36 euro

AZIONE 4-DIVULGAZIONE

Cognome e nome	Descrizione	Costo
	Partecipazione al congresso ICOS presso Roma (dal 27/09/2022 al 28/09/2022)	150,08 euro
	Partecipazione al congresso ICOS presso Roma (dal 27/09/2022 al 28/09/2022)	150,08 euro
	Partecipazione al convegno di presentazione dei GO PSR 2014- 2022 "Innovazione e sostenibilità ambientale: obiettivi e strumenti della PAC 2023-27" organizzato dalla Rete Rurale Nazionale presso il Talent Garden a Roma (dal 01/03/2023 al 02/03/2023)	189,30 euro
	Totale:	489,46 euro

2.4 Materiale consumabile

Fornitore	Descrizione materiale	Costo
	Totale:	

2.5 Spese per materiale durevole e attrezzature

Fornitore	Descrizione dell'attrezzatura	Costo
		Totale:

2.6 Materiali e lavorazioni direttamente imputabili alla realizzazione dei prototipi

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

4

--	--	--

Fornitore	Descrizione	Costo
		Totale:

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

Per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione sono state completamente realizzate le seguenti (nr 2) attività formative:

1) Titolo: **Tecniche di gestione del cantiere forestale conservative della sostanza organica nel terreno**

Proposta: Nr domanda Agrea 5366893

Domanda di avvio Goi: nr domanda Agrea 5383608

Rendiconto formazione Goi: nr domanda Agrea nr 5514221

Periodo di svolgimento: 15/02/2022-4/04/2022

Durata: 80 ore

Il corso ha analizzato le diverse fasi delle pratiche silvicolture che un operatore forestale normalmente effettua valutandone l'impatto che esse producono sulla conservazione della sostanza organica e il sequestro del carbonio.

L'attività formativa ha contribuito ad uno degli obiettivi fondanti del GO SuoBo e cioè la formulazione di linee guida atte a minimizzare il rilascio di GHG che dovrebbero ispirare protocolli legislativi per una migliore governance delle aree forestali.

Nello specifico sono state analizzate durante il corso le pratiche silvicolture (es taglio raso su terreni in pendio) e le attrezzature da utilizzare in cantiere (es gru a cavo) che danneggiano in maniera minima il suolo e che ne asportano nella maniera minima possibile la componente organica.

In dettaglio gli obiettivi formativi che la proposta formativa ha perseguito sono stati i seguenti:

- diffondere buone prassi relative alla strutturazione, alla predisposizione del cantiere forestale, al concentramento e movimentazione del legname accrescendo le competenze professionali degli operatori forestali, incentivando comportamenti regolari e sostenibilità ambientale degli interventi forestali
- incentivare il ricorso a pratiche ecosistemiche conservative della sostanza organica nei suoli e nel sistema suolo-foresta

L'attività si è svolta nel periodo dal 15/02/2022 al 4/04/2022, sono state realizzate tutte le 80 ore previste in fase di proposta progettuale approvata dalla Regione Emilia Romagna

Al corso hanno partecipato nr 19 utenti, tre dei quali non hanno raggiunto la percentuale necessaria al riconoscimento del finanziamento (frequenza $\geq 70\%$ ore di formazione) e non hanno sostenuto i test finali (teorico/pratico).

Costo Totale 27,750.40 €

Contributo Richiesto 24.975,36

Nr partecipanti rendicontabili: 16

2) Titolo: **Tecniche di gestione del cantiere forestale conservative della sostanza organica nel terreno**

Proposta: Nr domanda Agrea 5366893

Domanda di avvio Goi: nr domanda Agrea 5396444

Rendiconto formazione Goi: nr domanda Agrea nr 5514257

Periodo di svolgimento: 25/02/2022-4/04/2022

Durata: 80 ore

Il corso ha analizzato le diverse fasi delle pratiche selvicolturali che un operatore forestale normalmente effettua valutandone l'impatto che esse producono sulla conservazione della sostanza organica e il sequestro del carbonio.

L'attività formativa ha contribuito ad uno degli obiettivi fondanti del GO SuoBo e cioè la formulazione di linee guida atte a minimizzare il rilascio di GHG che dovrebbero ispirare protocolli legislativi per una migliore governance delle aree forestali.

Nello specifico sono state analizzate durante il corso le pratiche selvicolturali (es taglio raso su terreni in pendio) e le attrezzature da utilizzare in cantiere (es gru a cavo) che danneggiano in maniera minima il suolo e che ne asportano nella maniera minima possibile la componente organica.

In dettaglio gli obiettivi formativi che la proposta formativa ha perseguito sono stati i seguenti:

- diffondere buone prassi relative alla strutturazione, alla predisposizione del cantiere forestale, al concentramento e movimentazione del legname accrescendo le competenze professionali degli operatori forestali, incentivando comportamenti regolari e sostenibilità ambientale degli interventi forestali
- incentivare il ricorso a pratiche ecosistemiche conservative della sostanza organica nei suoli e nel sistema suolo-foresta

L'attività si è svolta nel periodo dal 25/02/2022 al 4/04/2022, sono state realizzate tutte le 80 ore previste in fase di proposta progettuale approvata dalla Regione Emilia Romagna

Al corso ha partecipato nr 1 utente che ha raggiunto la percentuale necessaria al riconoscimento del finanziamento (frequenza >= 70% ore di formazione) e ha sostenuto con esito positivo i test finali previsti dal percorso formativo (teorico/pratico).

Costo Totale 1,734.40 €

Contributo Richiesto 1.560,96 €

Nr partecipanti rendicontabili: 1

2.8 Collaborazioni, consulenze, altri servizi

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo

5

			Totale:

CONSULENZE - SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo

				Totale:

3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Lunghezza max 1 pagina

<p>Criticità tecnicospicifiche</p>	<p>La principale criticità è dovuta al fatto che dinamiche evolutive e tempi di turnover della sostanza organica in risposta a variazioni delle lavorazioni agronomiche sono difficilmente valutabili in tre anni. Questo è motivo per cui i partecipanti al GO hanno deciso di continuare il monitoraggio (con risorse proprie) anche nei prossimi anni.</p> <p>Un'altra criticità è riconducibile al limitato numero di aziende coinvolte che rende il database ottenuto ristretto in relazione ai molteplici contesti pedo-climatici della regione. Per tale motivo è intenzione dei membri del GO di estendere l'indagine anche ad altre realtà aziendali della nostra regione.</p>
<p>Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)</p>	<p>Il periodo iniziale del progetto è stato difficile a causa dell'emergenza sanitaria COVID-19 che ha ritardato alcuni campionamenti e analisi presso i laboratori universitari. Pertanto, si è richiesta una proroga totale di 12 mesi per concludere il progetto.</p>
<p>Criticità finanziarie</p>	<p>A causa dell'emergenza sanitaria COVID-19 molte trasferte che erano state preventivate non sono state effettuate e sono sostituite con meeting online e chiamate, aumentando quindi le ore-uomo rispetto a quelle indicate nel piano di alcuni partecipanti.</p>

4 - Altre informazioni

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

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

6 - Relazione tecnica

DA COMPILARE SOLO IN CASO DI RELAZIONE FINALE

Descrivere le attività complessivamente effettuate, nonché i risultati innovativi e i prodotti che caratterizzano il Piano e le potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

Dettagliata relazione tecnica viene allegata con files indipendenti corredate da opportune tabelle e figure

Data come da firma digitale

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

La Rettrice Laura Ramaciotti
(firmato digitalmente)

Progetto SuoBo: Selvicoltura e preservazione dei Suoli Boschivi: strategie per il sequestro del carbonio

1) Il contesto

Il progetto SuoBo (Fig. 1) è finanziato dalla Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Programma di Sviluppo Rurale (P.S.R.) 2014-2020. Il GO SuoBo introduce un Piano di Innovazione perfettamente rispondente alla Focus area 5E "Conservazione e sequestro del carbonio" in quanto si prefigge di studiare, in diversi contesti geologici, geomorfologici e pedoclimatici della parte montana della Regione, l'importanza della preservazione della sostanza organica nel sequestro di carbonio per i) mitigare l'emissione dei gas a effetto serra (*greenhouse gases*-GHGs; es.: CO₂, CH₄, NO_x) e ii) favorire l'efficacia e la sostenibilità nel tempo della gestione selvicolturale.



Figura 1. Logo del progetto SuoBo.

Dopo gli oceani, infatti, la sostanza organica contenuta nel suolo rappresenta, la più importante riserva di carbonio (C), sequestrandone circa 2400 miliardi di tonnellate (Minasny et al., 2017). È stato stimato che se si riuscisse ad aumentare ogni anno del 4 per mille (4‰) la quantità di carbonio dei suoli sarebbe possibile compensare le emissioni prodotte dall'attività antropica (Fig. 2). Pertanto, un suolo indisturbato e in buona salute è in grado di contribuire a mitigare il cambiamento climatico, stabilizzando il C che può rimanere intrappolato nel suolo anche per migliaia di anni (LIFE HELPSOIL). In tale contesto, gli ecosistemi boschivi e forestali giocano un ruolo importante nella mitigazione dei cambiamenti climatici, in quanto questi forniscono un elevato potenziale di cattura del carbonio.

Tuttavia, i cambiamenti climatici in atto e pratiche agroforestali poco sostenibili destabilizzano la sostanza organica (*Soil Organic Matter*-SOM), che quindi rilascia GHGs in atmosfera incrementando il fenomeno del surriscaldamento globale. In particolare, si è stimato che il degrado forestale è responsabile del 20% delle emissioni mondiali di gas serra. È pertanto fondamentale che i suoli boschivi e forestali vengano conservati, se non potenziati, aumentando la loro superficie areale e incentivando la loro capacità di adattamento e resilienza ai cambiamenti climatici attraverso un'adeguata gestione selvicolturale. I recenti dati definiti dall' "Intergovernmental Panel on Climate Change" (IPCC) e dal "Land Use, Land Use Change and Forestry" (LULUCF) delle Nazioni Unite sull'aumento delle emissioni e la maggiore intensità e frequenza dei fenomeni atmosferici estremi confermano il ruolo prioritario della lotta ai cambiamenti climatici nel quadro delle politiche sulla sostenibilità e della necessità di adozione di politiche di preservazione di boschi e foreste nonché dell'adattamento delle pratiche selvicolturali alle problematiche emergenti. La Convenzione quadro

delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC) ha indicato l'importanza di un approccio innovativo e sostenibile alle attività forestali (*climate-smart forestry*), basandosi sui seguenti obiettivi: aumento sostenibile della produttività, creazione di linee guida per controllare i sistemi forestali e riduzione delle relative emissioni di GHG. In quest'ottica è di fondamentale importanza comprendere il ciclo biogeochimico del carbonio (C) nei sistemi forestali quantificandone i flussi specifici di trasferimento tra pedosfera, idrosfera, atmosfera e biosfera. Gli obiettivi del GO SuoBo è di verificare lo stato qualitativo e quantitativo della SOM in suoli di tre aziende (Az. Branchicciolo, Az. Beghelli, Società cooperativa Montana Valle del Senio) che praticano selvicoltura nell'Appennino Emiliano-Romagnolo in seguito ai cambiamenti climatici avvenuti negli anni dal 2020 al 2023.

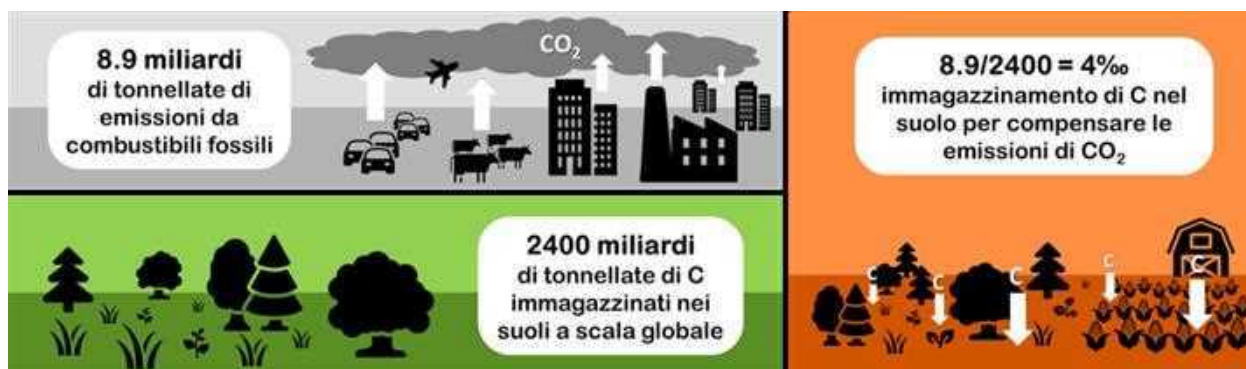


Figura 2. Le attività antropiche ogni anno producono 8.9 miliardi di tonnellate di emissioni da combustibili fossili; allo stesso tempo si stima che 2400 miliardi di tonnellate di carbonio siano stoccate nei primi due metri di suolo. Il rapporto fra le emissioni di CO₂ prodotte dall'uomo e lo stoccaggio di carbonio nella materia organica del suolo (8.9/2400) risulta essere 0.4% o 4‰ (schema adattato da Minasny et al., 2017).

2) Il partenariato di SuoBo

Il partenariato di SuoBo comprende:

- esperti del mondo dell'Università e della Ricerca con competenze tecnico-scientifiche sulle problematiche della conservazione e preservazione della SOM appartenenti a:
 - o Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra e Laboratorio Terra&Acqua Tech Tecnopolo dell'Università di Ferrara;
 - o Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari dell'Università di Bologna;
- esperti di Confagricoltura Bologna s.r.l. con precise competenze nel campo selvicolturale che monitorano le problematiche relative ai boschi regionali e le attività che vi sottendono;
- un ente esperto nel coordinamento delle funzioni del GO e nel campo della disseminazione (Consorzio Futuro in Ricerca - CFR), in grado di calcolare indicatori economico-ambientali (es. perdita di C in atmosfera) e valorizzare al meglio i risultati ottenuti attraverso una divulgazione opportunamente calibrata per diversi ambiti della società;
- un ente (DINAMICA Soc. Cons. a r.l.) esperto nel trasferimento di conoscenze tecniche e l'introduzione di processi innovativi in ambito agricolo-forestale, cioè percorsi formativi personalizzati che prevedono l'affiancamento di personale tecnico (tutors) atto a promuovere l'acquisizione e il consolidamento di conoscenze e capacità idonee a soddisfare specifiche esigenze, con l'obiettivo di favorire in una logica di sviluppo competitivo e sostenibile l'integrazione di nuovi saperi e competenze nel management aziendale;
- tre aziende, considerate come i casi-studi del progetto:
 - o l'Azienda Branchicciolo localizzata a Sasso Marconi (BO) dedita a attività forestale e tartuficoltura;
 - o l'Azienda Beghelli Fabio localizzata a Monte San Pietro (BO) dedita ad attività forestale ma anche a coltivazione alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio;

- la società cooperativa Montana Valle del Senio localizzata a Casola Valsenio competente in interventi di manutenzione forestale che conduce il Giardino delle Erbe “Augusto Rinaldi Ceroni” di Casola Valsenio su incarico dell’ente Parco Regionale della Vena del Gesso Romagnola per la conservazione e di coltivazione di varie specie officinali.

3) Campionamento

In ogni azienda si è eseguito un campionamento nel 2020 e un secondo campionamento a circa un anno di distanza e in seguito a delle operazioni forestali di ripulitura, per eliminare le piante secondarie e invadenti, e di diradamento selettivo al fine di eliminare nel bosco piante deperienti, difettose, malate, e in soprannumero. Il materiale tagliato non utilizzato (frascame, ramaglia) viene lasciato nel bosco per favorire l’accumulo di sostanza organica.

Nelle tre aziende partner del progetto, il primo e il secondo campionamento e le lavorazioni forestali sono stati eseguiti con le tempistiche riportate in Tabella 1.

Tabella 1. Tempistiche di campionamento e delle lavorazioni eseguite.

Azienda	1° campionamento	2° campionamento	Lavorazioni forestali
Az. agr. Branchicciolo	27/10/2020	29/09/2021	
Az. agr. Beghelli	28/10/2020	08/07/2021	
Soc. coop. Montana Valle del Senio	10/11/2020	04/02/2022	A Febbraio e una volta ogni mese da aprile a ottobre

3.1 Tipi di campionamento

Durante tutti i campionamenti per ogni area selezionata delle aziende partner del progetto si sono eseguiti fino a 4 profili e attorno ad ognuno di essi si è eseguito un ulteriore campionamento composito per raccogliere suoli alla profondità di 0-15 cm (i.e., topsoil) e 15-30 cm (i.e., subsoil), che corrispondono ai livelli più influenzati dalle attività agricole.

3.1.1 Campionamento pedologico

Per questa tipologia di campionamento si scava una sezione verticale con vanghe a mano fino a raggiungere il substrato pedogenetico. Per questo tipo di campionamento si descrivono e si raccolgono campioni di suolo tramite una spatola tutti gli orizzonti genetici identificati e li si conservano in dei sacchetti indicati il nome del profilo, il tipo di orizzonte e la profondità dell’orizzonte.

3.1.2 Campionamento per profondità

Per questa tipologia di campionamento si è eseguito un campionamento composito scavando 4 minipit a distanza di un metro l’uno dall’altro e attorno ad ogni profilo (Fig. 3). Tramite una trivella, per ogni minipit sono stati raccolti campioni di suolo a 0-15 cm e 15-30 cm di profondità. I campioni raccolti alla stessa profondità e attorno allo stesso profilo sono stati mescolati fra loro per omogenizzare il più possibile il campione di suolo.

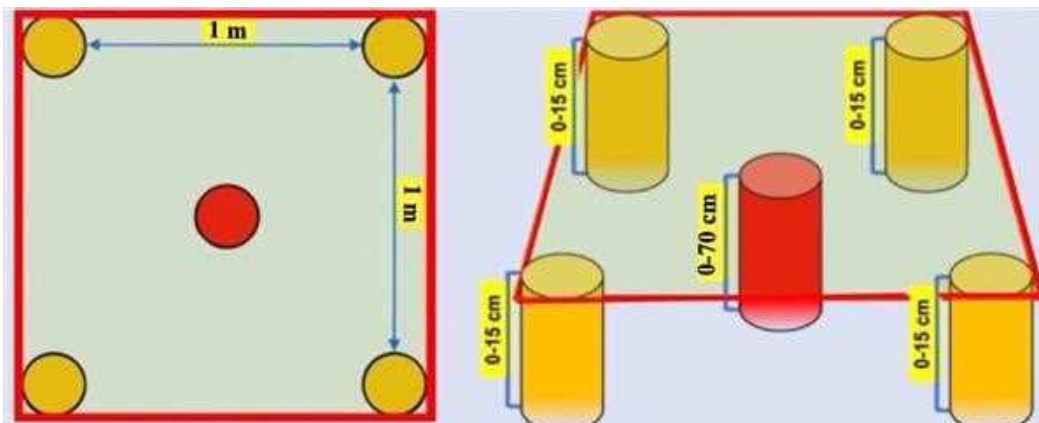


Figura 3. Visione in pianta e trasversale della posizione dei 4 minipit (in giallo) a distanza di un metro l'uno dall'altro e alla distanza di un metro dal profilo centrale (in rosso).

4) Le metodologie analitiche

4.1 Analisi suolo e vegetazione

Suolo- Le analisi eseguite dal Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari dell'Università di Bologna su tutti i campioni di suolo sia provenienti dai profili che dai minipit a 30 cm sono state: pH, tessitura, carbonati totali, capacità di scambio cationico e basi di scambio, come di seguito riportato (Tabella 2).

Tabella 2. Metodi analitici utilizzati per la caratterizzazione dei parametri chimico-fisici dei suoli.

Parametro	Metodo	Riferimenti
pH attuale	Estrazione in H ₂ O Conduttimetro in estratto saturo	ISO 10390
conduttività elettrica		ISO 11265:1994
Tessitura	Metodo della pipetta	Gee and Bauder,1986
Azoto labile	Estrazione in K ₂ SO ₄	Chantigny et al.,2007
Carbonio labile	Estrazione in K ₂ SO ₄	Chantigny et al.,2007
Carbonio microbico	Fumigazione/estrazione	ISO 14240-2:1997
Azoto microbico	Fumigazione/estrazione	ISO 14240-2:1997
Elementi totali	Estrazione in acqua regia	Vittori Antisari et al.,2014
Capacità di scambio cationico	Cobalto esammina cloruro	Orsini,Remy,1976
Carbonio organico totale	Incenerimento	Shulte et al.,1996
Densità apparente	Metodo del carotaggio	Metodi di analisi fisica del suolo,1996

La classificazione dei suoli è stata effettuata attraverso le chiavi di classificazione della Soil Taxonomy e della "Word Reference Base" (WRB) prendendo in considerazione i regimi termici (Mesico) e regimi di umidità (Udico) del suolo dell'area studio ottenuti mediante l'elaborazione della serie di dati meteorologici.

Sostanze umiche. Nei campioni di suolo delle tre aziende, le caratteristiche delle diverse frazioni più o meno recalcitranti della sostanza organica (Fig. 3) e hanno determinato, all'interno dei pool labili

di sostanza organica, il C della biomassa microbica (C_{mic} , espressa in mg/kg), ovvero un importante parametro di qualità e di funzionalità ecologica dei suoli. Infatti, i microrganismi del suolo sono coinvolti nel ciclo biogeochimico dei nutrienti (C, N, P e S) e quindi direttamente collegati ai processi di funzionalità ecologica e di fertilità naturale del suolo. I microrganismi rivestono un ruolo chiave nel processo di decomposizione dei residui vegetali/animali in quanto liberano sostanze direttamente assimilabili dalle piante e producono, attraverso il processo di umificazione, un tipo di materia organica più complessa e resistente alla degradazione (humus, Fig. 3), che funge da riserva di nutrienti e conservazione dell'energia ed è indispensabile per il buon funzionamento del suolo.

Infatti, sono state estratte chimicamente le sostanze umiche per ottenere le frazioni labili del Particulate organic matter (POM) e quelle stabili di acidi fulvici (FA), acidi umici (UA) e umina (UM). Le frazioni sono state analizzate per il contenuto di C e N organico e per l'isotopo stabile del C ($\delta^{13}C$). Inoltre sono stati eseguiti alcuni spettri Fourier Infrared Spectrometry (FTIR) per valutare la loro stabilità. In particolare si è tenuto conto della regione dello spettro $1700-1500\text{ cm}^{-1}$, caratterizzati da sostanze aromatiche con forti legami.

Analisi biochimiche. Gli altri parametri misurati sui campioni di suolo hanno riguardato le frazioni labile del C e N (frazioni labili: DOC e DN, e frazioni della biomassa microbica: C_{mic} e N_{mic}). L'attività della biomassa microbica è stata analizzata come respirazione basale-SBR (mg C-CO₂ sviluppata per unità di suolo/h) e come respirazione cumulata-R cum (mg C-CO₂ sviluppata per unità di suolo in 28 giorni).

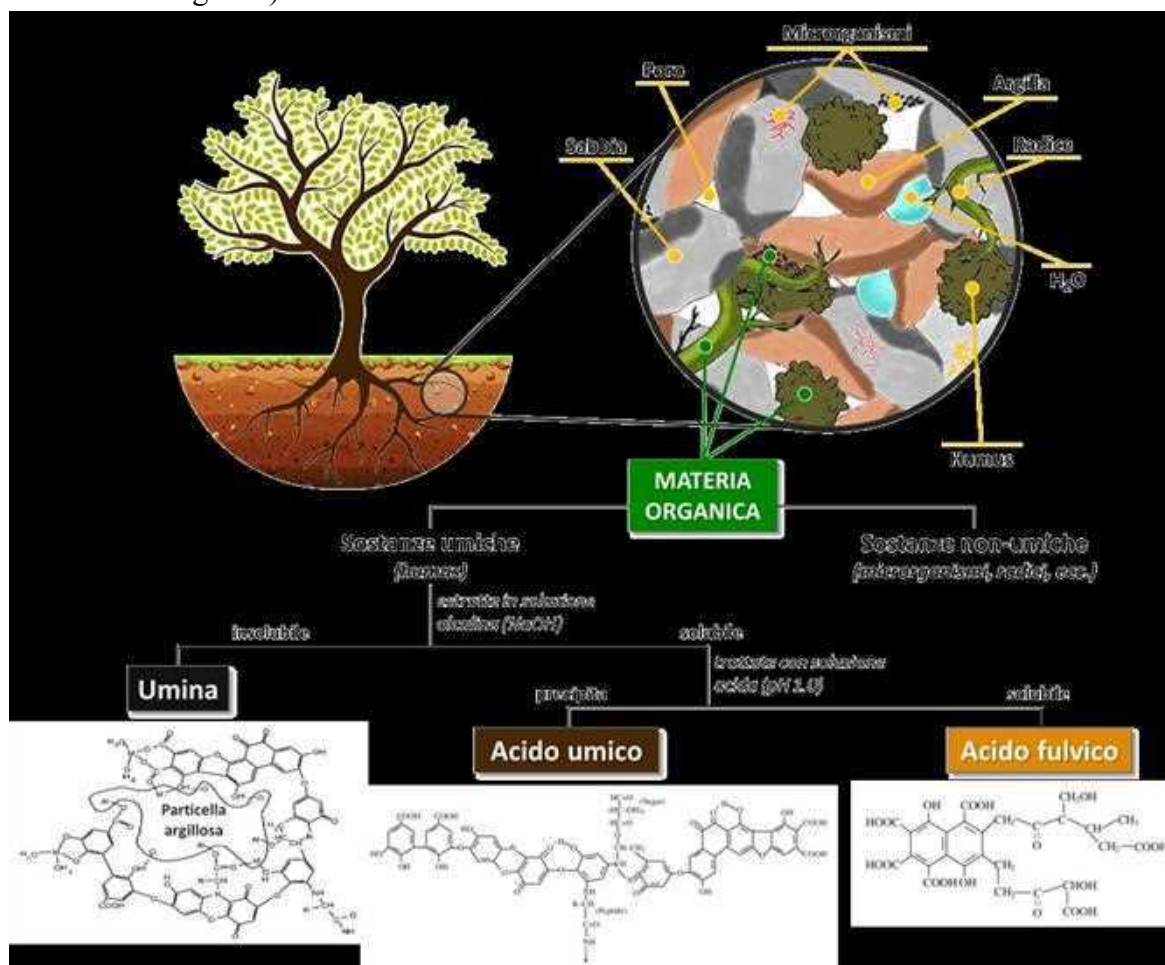


Figura 3. Sopra: rappresentazione della composizione del suolo e della materia organica; sotto: schema per l'estrazione e il frazionamento delle componenti della sostanza organica.

Con questi parametri misurati al fine di valutare la qualità chimica e biochimica dei suoli investigati, i seguenti indicatori sono stati calcolati:

- **Quoziente metabolico** (Anderson e Domsch, 1985): è la respirazione microbica per unità di biomassa microbica. Tale indicatore stima il livello di stress della comunità edafica. Valori alti di quoziente metabolico indicano più alti livelli di stress e cioè un maggiore consumo del carbonio organico del suolo per i processi catabolici piuttosto che per quelli anabolici.

$$qCO_2 = \text{mg C-CO}_2 \text{ g}^{-1}\text{h}^{-1} / \text{mg/kg C micr}$$

- **Quoziente di mineralizzazione:** indice ecofisiologico che da un'informazione sul tasso di mineralizzazione del carbonio organico del suolo; tanto più questo valore è alto e tanto più la mineralizzazione è spinta. Suoli con valori più elevati di quoziente di mineralizzazione sono suoli che tendenzialmente accumulano meno carbonio organico

$$qM = \text{C-CO}_2 \text{ cum mg g}^{-1} / \text{TOC mg g}^{-1}$$

- **Quoziente microbico** (Anderson e Domsch, 1990): indice che rapporta il carbonio microbico con il carbonio organico. Questo rapporto ci indica quanto in un sistema vi è carbonio microbico rispetto a carbonio organico. Più il valore del quoziente microbico è alto e tanto più vi sarà una più alta stabilizzazione del carbonio organico in forma di biomassa microbica

$$qMIC = C_{mic} \text{ mg g}^{-1} / C_{org} \text{ mg g}^{-1}$$

- **Indice di fertilità biologica (IBF):** L'IBF è stato calcolato in accordo con Vittori Antisari et al. (2021), e tiene conto quindi di SOM, Cmic, qCO₂ e qM. Ad ognuno di questi parametri sono stati impostati 5 intervalli di valori, ad ognuno dei quali è stato assegnato un punteggio da 1 a 5 e la somma algebrica dei punteggi per ciascun parametro fornisce le classi proposte di fertilità biologica del suolo (Tabelle 3 e 4).

Tabella 3. Punteggi dei parametri che compongono l'Indice di Fertilità Biologica (IBF).

Parametro	Punteggi				
	1	2	3	4	5
SOM	<1	≥1	>1.5	>2	>3
Cmic	<100	≥100	>250	>400	>600
qCO ₂	≥0.4	<0.4 ≥0.3	<0.3 ≥0.2	0.2 ≥0.1	<0.1
qM	<1.0	≥1 ≤2	>2 ≤3	>3 ≤4	>4

SOM=materia organica del suolo (%); Cmic=carbonio microbico (mg/kg); qCO₂= quoziente metabolico (mgCO₂_C 10⁻² h⁻¹ mcCmic⁻¹); qM= quoziente di mineralizzazione (%)

Tabella 4. Classe di fertilità in funzione dell'Indice di Fertilità Biologica (IBF).

1°	2°	3°	4°	5°
4	5 - 8	9 - 12	13 - 16	17 - 20
STRESS	PRE-STRESS	MEDIO	BUONA	ALTA

- **Indice di Dilly** (2001) L'efficienza dei microrganismi del suolo nella trasformazione delle fonti energetiche controlla la crescita microbica per la quale il quoziente metabolico (qCO_2), definito come frequenza respiratoria per unità di biomassa, viene utilizzato come indicatore indiretto facilmente determinabile.

- **Misurazione della CO_2 eterotrofa in campo.** Si è svolta per gli anni 2020 e 2021 la lettura in campo della C- CO_2 eterotrofa, dopo posizionamento dei collari, in cui viene misurata con sonde sia la temperatura che l'umidità del suolo, durante la misura della C- CO_2 nello spazio di testa del sistema chiuso collari-strumento.

Vegetali. Foglie e rami raccolti durante i campionamenti sono stati essiccati in stufa a $50^\circ C$ fino a peso costante, quindi macinati finemente. Il carbonio organico, l'azoto totale e i relativi rapporti isotopici sono stati determinati utilizzando un analizzatore elementare CHN (EA 1110 Thermo Fisher, Waltham, MA, USA) accoppiato con uno spettrometro di massa del rapporto isotopico (IRMS Delta C o DELTA+XL, Thermo Finnigan MAT, Brema, Germania). Per quanto riguarda invece gli elementi nutritivi totali, macroelementi, è stata eseguita una mineralizzazione con acido nitrico HNO_3 al 65% grado suprapur, Carlo Erba, MI, Italia utilizzando un forno a microonde (Milestone 2100, Sorisone, BG, Italia). Dopo la digestione, la soluzione del campione di terreno è stata portata a 20 ml con acqua distillata ultrapura Milli-Q e filtrata con carta da filtro Whatman 42. La concentrazione totale degli elementi (P, S, Ca, Mg, Fe; Al, K) è stata determinata mediante spettrometria di emissione ottica al plasma accoppiato induttivamente (ICP-OES, Arcos II, Kleve, Germania, Ametek Spectro). Ogni campione di terreno è stato analizzato tre volte e i dati sono stati calibrati utilizzando materiali di riferimento internazionali (BCR) e standard di laboratorio interni.

4.2 Analisi del contenuto elementare e isotopico del carbonio totale e organico

Per un'analisi qualitativa e quantitativa del carbonio nei tre casi-studio, i ricercatori del Dipartimento di Fisica e di Scienze della Terra e del tecnopolo Terra&Acqua Tech dell'Università di Ferrara hanno utilizzato un analizzatore elementare (Vario Micro Cube; Elementar ©) accoppiato a uno spettrometro di massa a rapporti isotopici (Isoprime 100; Elementar ©) per la quantificazione del contenuto elementare e della composizione isotopica del carbonio totale e poi specificatamente del carbonio organico secondo la procedura proposta da Natali et al. (2018) (Fig. 4). La metodica prevede la determinazione del C totale (data dal C organico e C inorganico), del C organico (che contribuisce per il 58% alla sostanza organica) e del C inorganico attraverso la combustione del campione (accuratamente pesato) e la successiva determinazione della CO_2 rilasciata attraverso un rilevatore a infrarossi. Variando le temperature della combustione si possono discriminare le frazioni di carbonio organico (SOC - *Soil Organic Carbon*), legate alla materia organica che si destabilizza a temperature inferiori a $600^\circ C$, dalle frazioni di carbonio inorganico (SIC - *Soil Inorganic Carbon*), legate ai minerali carbonatici che rilasciano CO_2 a temperature superiori a $600^\circ C$ (Fig. 3a). Per comprendere meglio la natura dei composti presenti nel suolo è stata anche determinata la composizione isotopica del carbonio contenuto nei suoli oggetto di studio. Gli isotopi sono atomi di uno stesso elemento aventi massa differente a causa del diverso numero di neutroni nel loro nucleo; in natura esistono due isotopi stabili del carbonio: ^{12}C e ^{13}C , aventi rispettivamente 12 e 13 neutroni nel nucleo. L'isotopo ^{12}C , più leggero, si accumula nelle piante (e poi nella materia organica) rispetto all'isotopo ^{13}C che, essendo più pesante, tende a rimanere nella struttura dei minerali. Infine, sulla base di queste analisi

è stata stimata l'entità del *carbon stock*, ovvero un parametro che esprime la quantità di carbonio organico immagazzinato fino ad una certa profondità di suolo per unità di superficie, a partire dalle quantità di carbonio organico (esprese in g/kg) e dalla densità apparente del terreno, cioè il rapporto fra il peso secco del suolo e il relativo volume (g/cm^3).

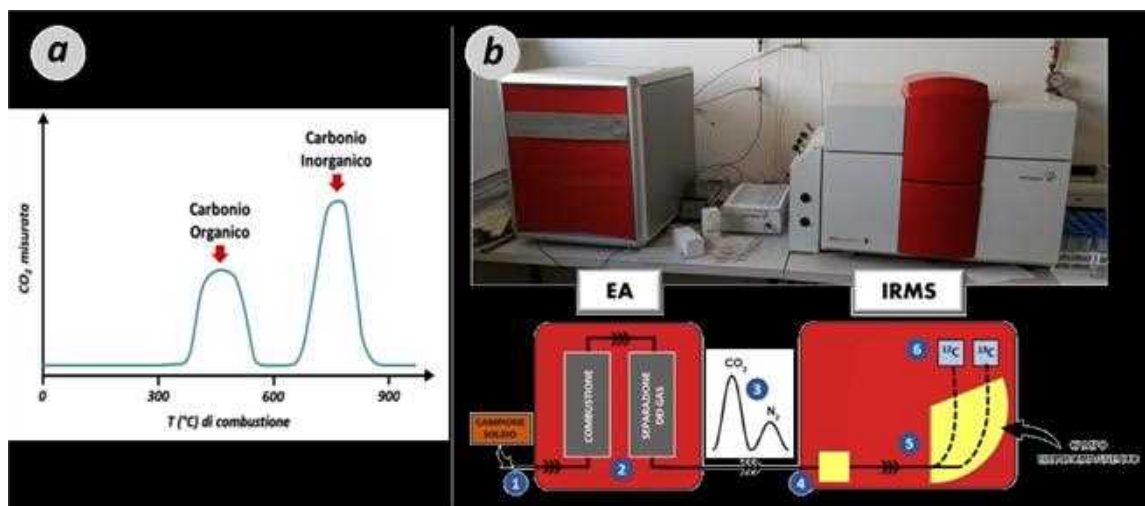


Figura 4. a) Diagramma di restituzione dello strumento che investiga la stabilità termica dei composti, discriminando in rampa di temperatura il carbonio organico (che destabilizza a $T < 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) da quello inorganico (che destabilizza a $T > 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) presente nei suoli. **b)** In alto, a partire da sinistra, Analizzatore Elementare (EA) Vario microcube e Spettrometro IRMS Isoprime 100 (Elementar). In basso, schema semplificato del funzionamento del sistema EA-IRMS: (1) il campione di suolo è inserito nell' analizzatore elementare; (2) il campione viene bruciato e vengono rilasciati il carbonio e l'azoto ivi inclusi sotto forma di CO_2 e N_2 ; (3) a questo punto lo strumento procede con l'individuare la loro percentuale peso rispetto al totale del campione; (4) i gas vengono poi convogliati all'interno dello spettrometro di massa (IRMS); (5) in questa fase, CO_2 e N_2 vengono caricati elettricamente e successivamente fatti passare attraverso un campo magnetico che, per la forza di Lorentz, curva la loro traiettoria in funzione della massa; (6) in tale modo gli isotopi dello stesso elemento (es. per il carbonio: ^{12}C e ^{13}C) vengono discriminati e quantificati dal rilevatore dello strumento.

Successivamente, sono stati eseguite analisi del C in rampa di temperatura tramite l'analizzatore elementare SoliTOC (Elementar©; Fig. 5) per quantificare il C organico labile (TOC_{400}), stabile fino a una T di 400°C e legato ad apporti di materia organica "fresca", il C organico recalcitrante (ROC), stabile fino a T di 600°C e legato ad apporti meno labili, e il C inorganico, stabile fino a T di 900°C (TIC).

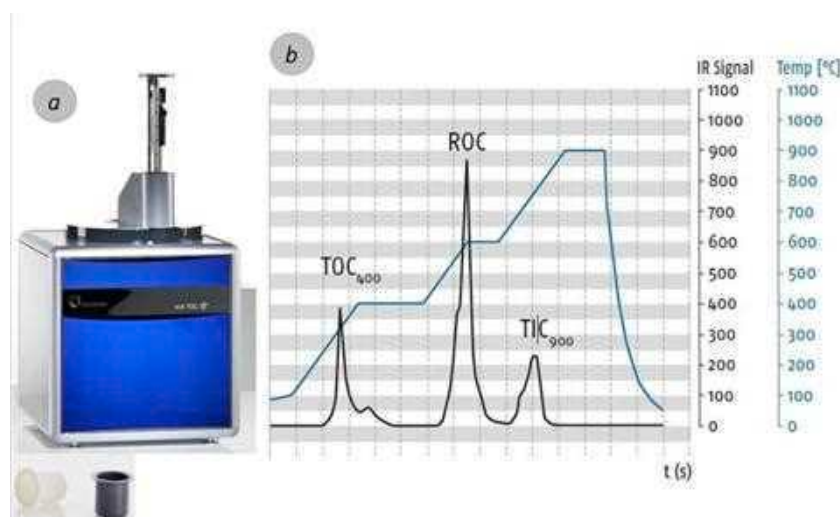


Figura 5. a) SoliTOC (Elementar ©). b) esempio di analisi di un campione con in evidenza i picchi di TOC400, ROC e TIC.

4.3 Analisi chimiche degli elementi maggiori ed in traccia tramite fluorescenza a raggi X (XRF)

Si sono eseguite analisi goechemiche per determinare il contenuto di elementi maggiori e in traccia tramite la tecnica della spettrofotometria a fluorescenza a raggi X dai ricercatori del Dipartimento di Fisica e di Scienze della Terra dell'Università di Ferrara.

La spettrofotometria a fluorescenza a raggi X è una tecnica analitica, non distruttiva, che si basa sull'emissione di una radiazione fluorescente da un campione irradiato dai raggi-X (Fig. 6).

Questo tipo di analisi si basa essenzialmente sul confronto e per questo utilizza una serie di campioni standard a composizione nota per tracciare le curve di taratura, riportando l'intensità dei raggi-X di fluorescenza in funzione della concentrazione dell'elemento da determinare.

I raggi X vengono prodotti da un tubo nel quale è presente un filamento di Tungsteno. Questo filamento viene attraversato da una corrente elettrica che lo scalda generando l'emissione di elettroni. Una parte di essi viene poi accelerata sotto alto vuoto grazie ad una differenza di potenziale. Gli elettroni accelerati urtano contro un opportuno bersaglio generando raggi X che passano attraverso una finestra in Berillio e fuoriescono dal tubo. I raggi X emessi impattano il campione allontanando un elettrone dal suo orbitale e lasciando una vacanza che viene prontamente occupata da un elettrone degli orbitali più esterni. Questo elettrone ha un'energia più alta rispetto a quello che rimpiazza, l'eccesso di energia viene così espulso sotto forma di una nuova radiazione X che avrà una lunghezza d'onda caratteristica di quell'elemento. Il fascio di raggi X emessi dal campione passa attraverso un Collimatore che ha la funzione di limitare la divergenza dei raggi e di rendere parallelo il fascio.

La fase finale prevede che il fascio di raggi-X vada a collidere con un cristallo monocromatore, il quale fa sì che la radiazione venga diffratta secondo la legge di Bragg ($n\lambda = 2d \sin\theta$) e si diriga verso il rivelatore. Posto che le caratteristiche del cristallo sono note, grazie ad un Detector mobile si riesce ad analizzare ogni elemento in base alla sua lunghezza d'onda caratteristica.

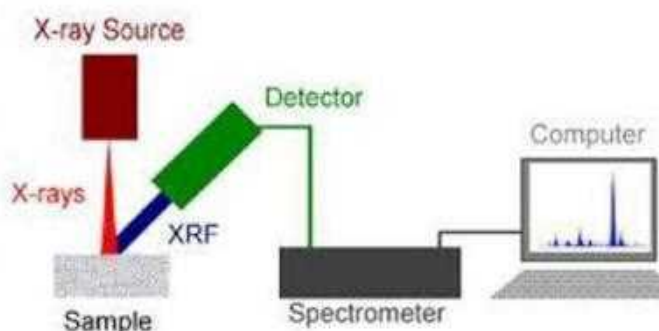


Figura 6. Foto dello spettrometro a fluorescenza a raggi-X (XRF) e uno schema riassuntivo delle sue componenti principali.

4.4 Analisi diffrattometriche per l'analisi semi-quantitativa dei minerali presenti nei suoli

La diffrazione a raggi X (XRD; *X-ray Diffraction*), è una tecnica di caratterizzazione, non distruttiva, per analisi microstrutturali delle fasi solide cristalline. Questa tecnica rende possibile uno studio

approfondito sulla struttura cristallina del campione analizzato, permettendo di identificare, dall'interpretazione del diffrattogramma risultante, le fasi cristalline presenti ed eventualmente potendo fornire anche una informazione quantitativa e cristallografica legata ai corrispondenti parametri di cella e alla dimensione dei cristalliti.

I raggi X rappresentano una porzione dello spettro elettromagnetico, estremamente penetrante, caratterizzato da una lunghezza d'onda (λ) compresa approssimativamente tra i 10 nm e i 0,01 nm in grado di interagire con la struttura atomico cristallina.

Si verifica diffrazione di una radiazione elettromagnetica dalle traiettorie geometriche incidenti nel momento in cui queste incontrano un ostacolo avente un reticolo di dimensioni paragonabili alla lunghezza d'onda della radiazione che ne causa una riflessione selettiva.

Considerando come ostacolo un materiale cristallino, quindi periodico, i raggi X interagiranno con la nube elettronica di ogni atomo del materiale (Fig. 7) agente come reticolo periodico. Ciascun elettrone può divenire perciò una sorgente secondaria di raggi X caratterizzati dalla stessa lunghezza d'onda (λ) ed intensità del fascio incidente (Scattering di Rayleigh o diffusione elastica).

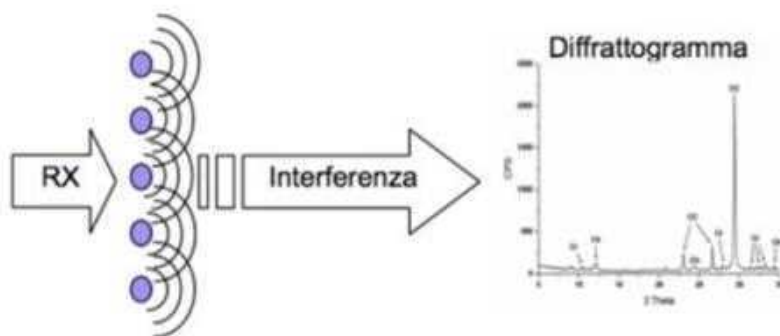


Fig. 7. Schema di interazione dei raggi X con un filare atomico di un materiale cristallino.

Data un'onda piana di lunghezza d'onda λ che interagisce con due elettroni; il primo in posizione O e il secondo in posizione O', posti ad una distanza r (Fig. 8), ogni singolo elettrone può essere sorgente di un'onda diffusa (Teoria di Thompson). Affinché vi sia diffrazione, ovvero riflessione selettiva efficace, le due onde diffuse debbono mantenere una relazione costante di fase dando luogo al fenomeno fisico dell'interferenza costruttiva (Fig. 9), che dipende geometricamente dalla direzione di incidenza dell'onda s_0 e dalla direzione in uscita dello scattering elastico s (direzione del raggio diffratto) verificando le equazioni di Von Laue.

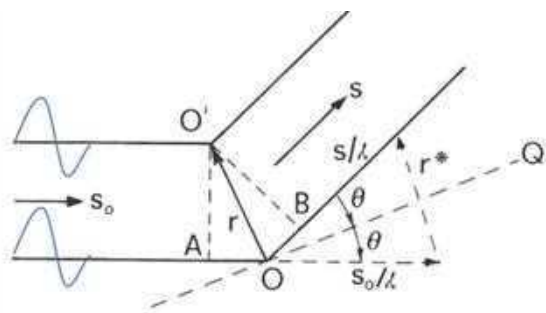


Fig. 8. Schema diffusione raggi X per un atomo.

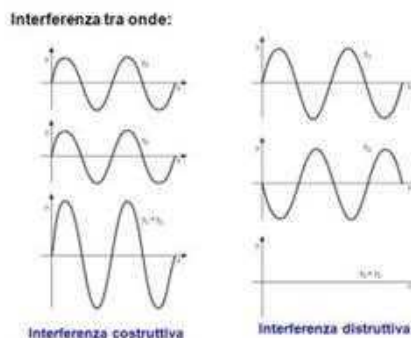


Fig. 9. Esempi di interferenza costruttiva e distruttiva.

Un cristallo può diffrangere in infinite direzioni una radiazione monocromatica. Lawrence Bragg ha ideato l'equazione per comprendere e prevedere gli effetti di diffrazione originati da parte di un cristallo irradiato con raggi X.

Dato un fascio di raggi X, monocromatici, incidenti su un piano reticolare, descritto mediante gli indici di Miller (hkl), avremo il verificarsi del fenomeno di riflessione solo per angoli θ uguali all'angolo di incidenza (Fig. 10). Dato che i cristalli sono relativamente trasparenti ai raggi X, la riflessione avviene anche per la successione di piani reticolari sottostanti al primo, i quali però presenteranno una differenza di cammino fra di loro.

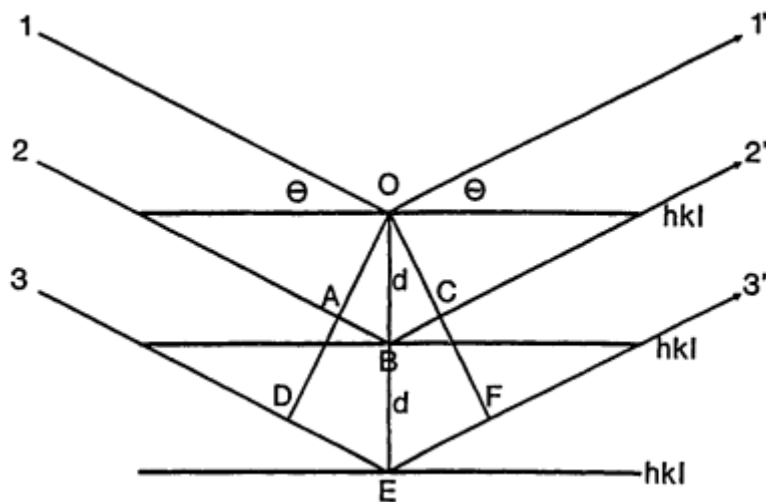


Figura 10. Analogia ottica con piani cristallografici dell'equazione di Bragg.

Secondo Bragg, si ha interferenza costruttiva solo se la differenza di cammino tra i raggi riflessi dai piani reticolari è uguale ad un numero intero (n) di lunghezze d'onda.

Per il piano (2)

$$\Delta x_{2-1} = AB + BC = n_1 \lambda \text{ dal piano (2);}$$

$$AB = BC = d_{hkl} \sin \theta$$

$$2d_{hkl} \sin \theta = n \lambda$$

Dove:

- d_{hkl} è distanza interplanare della successione di piani reticolari "veri" aventi come indici di Miller hkl (numeri interi e primi fra di loro);
- θ è l'angolo formato dai raggi X incidenti rispetto alla traccia del piano;
- n è l'ordine di diffrazione (numero intero);
- λ è la lunghezza d'onda della radiazione incidente.

Dall'equazione di Bragg si determinano le direzioni dei massimi di interferenza, associati alle diffrazioni indotte dai piani hkl , i quali sono ricavati in base alle condizioni di interferenza.

Tuttavia, a seconda della natura e della posizione reciproca dei diversi atomi all'interno della cella elementare, può essere calcolato il contributo di ciascuno di essi all'intensità totale della riflessione hkl .

Se f_1, f_2, \dots e $\varphi_1, \varphi_2, \dots$ sono rispettivamente le ampiezze e le diverse fasi delle onde diffuse dai vari atomi, l'ampiezza e la fase dell'onda risultante sono date dal modulo e dall'argomento del numero complesso F (Figura 11).

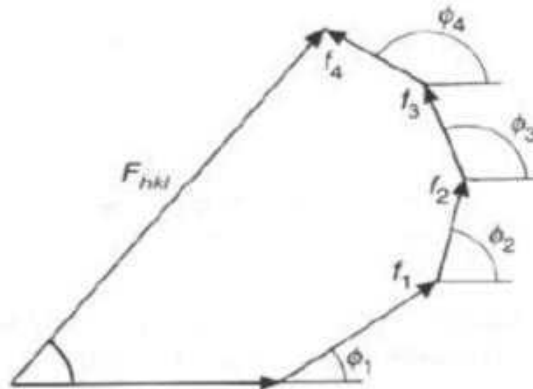


Figura 11. Rappresentazione del fattore di struttura F_{hkl} come somma vettoriale dei singoli fattori atomici di diffusione dei vari atomi (Hammond, 1994).

Il contributo dato alla riflessione hkl dagli N atomi presenti nella cella elementare, è rappresentato quindi dalla sommatoria di tutti i termini di tipo $f_n e^{i\varphi_n}$ relativi agli N atomi.

Si ha quindi:

$$F_{hkl} = \sum_{n=1}^N f_n e^{2\pi i(hx_n + ky_n + lz_n)}$$

Dove:

- F_{hkl} è il fattore di struttura e rappresenta il modulo e la fase dell'onda rifratta dalla cella elementare;
- f_n è il fattore di diffusione atomico dell'atomo n -esimo;
- hkl sono gli indici di Miller per un dato piano reticolare;
- $x_n - y_n - z_n$ indicano le posizioni spaziali dell'atomo n -esimo all'interno della cella elementare.

Nei paragrafi precedenti è stato dimostrato che un singolo cristallo, caratterizzato da una definita successione di piani reticolari, diffrangerà il fascio di raggi X incidente con un determinato angolo θ , in funzione della distanza fra i piani. Tuttavia, la maggior parte di materiali non sono singoli cristalli bensì sono caratterizzati da miliardi di minuscoli cristalliti (aggregati policristallini) con orientazioni differenti.

Quando una polvere policristallina viene colpita da un fascio di raggi X , la diffrazione si attiene solo per gli angoli θ che soddisfano l'equazione di Bragg e poiché i cristalliti presentano orientazioni casuali rispetto al fascio incidente, il fascio diffratto formerà un cono di apertura 4θ (Cono di Debye-Scherrer) (Fig. 12).

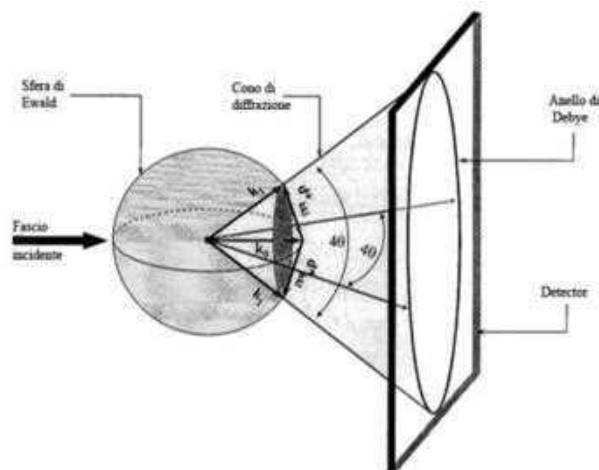


Figura 12. Rappresentazione dei coni di Debye-Scherrer ottenuti da una polvere policristallina.

Nel presente progetto sono state condotte analisi di diffrazione a raggi X da polveri (XRPD; x-ray powder diffraction). Il diffrattometro del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara impiegato per le analisi, operante in geometria Bragg- Brentano, è un Bruker D8 Advance DaVinci con rivelatore lineare LynxEYE, filtro in nickel (Ni), tubo ad anodo di rame (Cu) con lunghezza d'onda $K\alpha_1 = 1,5406 \text{ \AA}$ e campionatore automatico (Fig. 13). Il passo di scansione è stato di $\theta = 0,02^\circ$ per un tempo di acquisizione di 2s per passo e intervallo di acquisizione in 2θ pari a $5-90^\circ$. La raccolta dati ha richiesto quindi 2h 31min per campione.



Figura 13. Diffrattometro *Bruker D8 Advance DaVinci*.

L'analisi semi-quantitativa consiste nella determinazione e nella stima delle quantità delle diverse fasi cristalline presenti nel campione multifase.

Ciascun pattern di diffrazione da polveri presenta numerosi picchi, ognuno caratterizzato da una posizione, forma e intensità differente.

L' intensità di picco dipende da:

- Fattori strutturali: connessi alla struttura cristallina, dimensione, orientazione e distribuzione dei grani;
- Fattori geometrici: influenzati dalla forma e dalla dimensione del campione;
- Fattori strumentali: connessi alla geometria della struttura della strumentazione, caratteristiche del detector e dalla lunghezza d'onda utilizzata.

Ed è descritta dalla seguente equazione:

$$I_{(hkl)\alpha} = \frac{K_e K_{(hkl)\alpha} X_\alpha}{\rho_\alpha (\mu/\rho)_s}$$

Dove:

- $I_{(hkl)\alpha}$ è l'intensità di picco (hkl) della fase α ;
- K_e è la costante sperimentale (il termine racchiude tutti i termini inerenti all'apparato sperimentale);
- $K_{(hkl)\alpha}$ è il fattore di struttura della fase α ;
- X_α è la concentrazione della fase α ;
- ρ_α è la densità della fase α ;
- $(\mu/\rho)_s$ è il coefficiente di assorbimento lineare del campione.

Il problema maggiore è determinare il coefficiente di assorbimento lineare del campione, il quale dipende fortemente dalla concentrazione delle differenti fasi, incognita della nostra analisi.

L'intensità di picco, come già detto, è influenzata anche dalla dimensione dei grani. Il raggiungimento di range di errori, delle intensità di picco, minori dell'1% richiede una granulometria della polvere compresa tra 0,5-1 μ m. Questo intervallo granulometrico, in pratica, è estremamente difficile da ottenere, ottime macinazioni con 1 μ m < G < 5 μ m producono un errore statistico di circa il 5% rendendo impossibile che la somma delle fasi cristalline chiuda al 100%.

I rapporti di intensità di riferimento (RIR) possono essere definiti per una qualsiasi fase di riferimento utilizzando una determinata linea di diffrazione. Il rapporto I/I_{cor} è un RIR che si riferisce a una determinata fase di interesse presa come riferimento (Al₂O₃-corindone). Se tutte le fasi sono determinate e se anche i RIR per quelle fasi sono noti, allora la somma di tutti i rapporti per tutte le fasi deve essere uguale a 1.

I risultati dell'analisi semi-quantitativa si basano, quindi, sul valore del rapporto I/I_{cor} . Per i risultati ottenuti è possibile regolare i valori della scala I (intensità) per ciascuna fase, ottenendo anche la concentrazione wt. % della fase α (Chung, 1974).

Le problematiche principali per questa tecnica sono i fenomeni di sovrapposizione dei picchi di interesse e la presenza di orientazioni preferenziali dei cristalli di cui non è possibile tenere considerazione.

5) Caratterizzazione delle aziende: suoli, indicatori e indici di qualità

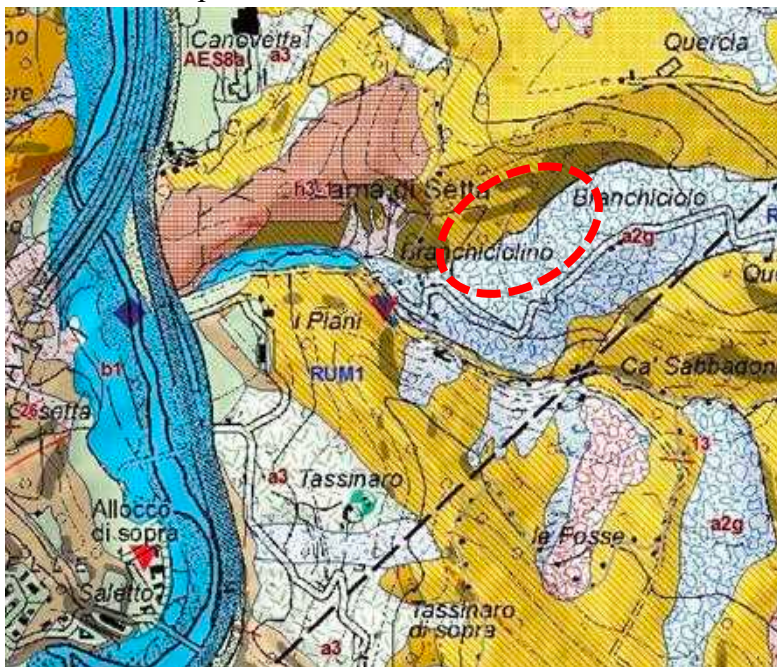
Come accennato precedentemente, le aziende selvicolturali dell'Appennino Emiliano-Romagnolo partner del progetto SuoBo sono state: 1) **l'Azienda Branchicciolo**, 2) **l'Azienda Beghelli** e 3) la **Società cooperativa Montana Valle del Senio**, di cui di seguito sono riportati l'inquadramento geologico, pedologico, le caratteristiche chimicofisiche dei suoli oltre agli indici ecofunzionali di qualità del suolo, legati alla quantità e attività delle popolazioni microbiche del suolo.

6.1 L'Azienda Branchicciolo

L'Azienda "Branchicciolo", situata a Sasso Marconi nell'Appennino bolognese (44°20'15''N, 11°16'32''E), è dedicata a attività forestale e tartuficoltura.

6.1.1 Inquadramento geologico e pedologico

L'azienda si ritrova in un deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici-membro di Scascoli (Fig. 14). Tale formazione è composta da conglomerati e breccie clasto-sostenuti poco cementati.



Inquadramento geolitologico



Formazione di Monterumici-membro di Scascoli. Conglomerati e breccie clasto-sostenuti poco cementati



Formazione di Monterumici-membro di Cà di Mazza – Alternanza tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti) e livelli pelitici



Deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici-membro di Cà di Mazza



Deposito di frana complessa.



Area d'indagine

Figura 14. Inquadramento geologico dell'area dell'Azienda Branchicciolo.

Per l'Azienda Branchicciolo si sono eseguiti i campionamenti di suolo bosco ceduo misto a roverella, carpino nero e orniodell'azienda. I suoli aziendali sono investigati in quattro punti (Fig. 16; Tabella 2).



Figura 15. Aree d'indagine dell'Azienda Branchicciolo.

Tabella 5. Coordinate e altitudine dei punti di campionamento selezionati nel castagneto dell'Azienda Branchicciolo.

Profilo	Quota (m slm)	Coordinate UTM – 32T	
BRA1	255	681683.88 mE	4912004.51 mN
BRA2	244	681647.57 mE	4912002.65 mN
BRA3	243	681635.50 mE	4911954.76 mN
BRA4	225	681594.32 mE	4911966.23 mN

In ogni punto di campionamento si è aperto un profilo per descrivere e campionare gli orizzonti genetici (Fig. 16 - Fig. 23).

Di seguito vengono riportati le descrizioni di ogni sito di campionamento dell'azienda Branchicciolo e i relativi profili pedologici. Per i siti BRA1 e BRA2 si sono eseguite anche le analisi di bulk density a diverse profondità nei primi 30 cm di terreno.

Sito BRA1



DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 681683.88 mE
4912004.51 mN

Quota: 255 m s.l.m.

Pendenza: 20%

Esposizione: 322°N

Morfologia: Versante ondulato acclive

Pietrosità: 10% - **Rocciosità:** 10%

Litologia: Deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici – membro di Cà di Mazza

Uso del suolo/Vegetazione: Ceduo di roverella

Figura 16. Foto dell'area circostante al profilo BRA1.



Figura 17. Foto del profilo di suolo BRA1.

DATI PROFILO

Oi (4-0 cm): foglie e rametti di orniello e quercia
Spessore da 1 a 4 cm.

A1 (0-5 cm): Colore nero (10YR 2/1) umido e bruno molto scuro (10YR 2/2) secco. Scheletro assente. Struttura granulare fine con moderato grado di aggregazione. Poco adesivo e non plastico. Radici scarse le fini, molto scarse le molto fini e medie. Limite inferiore chiaro e ondulato.

A2 (5-10.5 cm): Colore bruno grigiastro scuro (10YR 4/2) umido e bruno (10YR 5/3) secco. Scheletro assente. Struttura granulare media con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici molto abbondanti le fini scarse le molto fini, comuni le medie Limite inferiore chiaro lineare.

AB (10.5-20.5 cm): Colore bruno grigiastro scuro (10YR 4/2) umido e bruno (10YR 5/3) secco. Scheletro 5% di dimensioni fino a 2 cm. Struttura poliedrica subangolare fine con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici comuni medie e fini. Limite inferiore chiaro, ondulato.

Bw (20.5-33.5 cm): Colore bruno (10YR 4/3) umido e bruno giallastro (10YR 5/4) secco. Scheletro 5% di dimensioni fino a 2 cm. Struttura poliedrica angolare medio con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici scarse le fini, molto scarse le medie. Limite inferiore abrupto e ondulato.

BC (33.5-40 cm): Colore bruno giallastro (10YR 5/4) umido e bruno giallastro scuro (10YR 6/4) secco. Scheletro 90% di grandi dimensioni. Struttura a granis ingoli. Non adesivo e non plastico. Radici molto scarse le medie e le fini. Limite inferiore sconosciuto. [non campionato]

Tabella 6. Valori di bulk density per il profilo BRA1

Bulk density	
0-5 cm	0.46 g/cm ³
5-10 cm	1.07 g/cm ³
10-15 cm	1.54 g/cm ³
15-20 cm	1.51 g/cm ³

Sito BRA2



Figura 18. Foto dell'area circostante al profilo BRA2.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 681647.57 mE
4912002.65 mN

Quota: 244ms.l.m. – **Pendenza:**45%–

Esposizione: SudEst

Morfologia: Posizione di versante in erosione

Pietrosità: 5% - **Rocciosità:** 10%

Litologia: Deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici –membro di Cà di Mazza

Uso del suolo/Vegetazione: Bosco ceduo misto a roverella, carpino nero e orniello



Figura 19. Profilo di suolo BRA2.

DATI PROFILO

Oi (4-0 cm) - Lettieria indecomposta in cui sono riconoscibili foglie di roverella, carpino nero e orniello, rametti

Oe (0-1 cm) - Materiale in decomposizione

A/Oe (1-2/3 cm) - Materiale minerale in cui si ritrovano frammenti frammenti di materiale organico (5-7% di Oe). Scheletro assente. Colore nero (10YR 2/1) umido e bruno molto scuro (10YR 2/2) secco. Struttura primaria granulare fine con aggregati 5 mm con debole grado di aggregazione struttura secondaria costituita da aggregati di dimensione 0.5-1 cm moderatamente resistenti originati da attività della pedofauna (lombrichi). Leggermente adesivo e leggermente plastico. Radici assenti. Limite abrupto, leggermente ondulato

A (2/3-11/12 cm) - Colore bruno molto scuro (10YR 2/2) umido e bruno scuro (10YR 3/3) secco. Scheletro da 2,5 a 7 cm (2%) più 15% occupato da un unico frammento ovoidale di dimensioni comprese tra 6 e 15 cm che scompare nell'orizzonte sottostante. Struttura poliedrica sub angolare con aggregati da 1 a 4 cm con moderato grado di aggregazione. Adesivo, leggermente plastico. Radici 2% di 3 cm più un 3 fini e molto fini da 1 a 3 mm e medie di circa 1 cm. Limite inferiore abrupto lineare

Bw (11/12-31 cm) - Colore bruno oliva scuro (2,5 Y 3/3) umido e bruno oliva (2,5 Y 4/4) secco. Scheletro 25% di dimensioni da 4 a 10 cm non alterato. Struttura poliedrica angolare con aggregati da 1.5 a 3 cm da moderatamente a fortemente cementati. Debolmente adesivo, debolmente plastico. Radici 2% fini di 1-3 mm e radice unica di 1,5 cm che si sviluppano tra lo scheletro Limite inferiore abrupto lineare

BC (31-44+ cm) - Colore bruno oliva (2.5Y 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco.

Scheletro 15% (un frammento di grandi dimensioni > 20 cm) più 5% di scheletro di più piccole dimensioni (2-5 cm) Struttura poliedrica angolare con aggregati da 1,5 a 3 cm con debole grado di aggregazione. Leggermente plastico, non adesivo. Radici da 2 a 5 mm 2%. Limite inferiore sconosciuto.

Tabella 7. Valori di bulk density per il profilo BRA2

Bulk density	
0-5 cm	0.93 g/cm ³
5-10 cm	1.27 g/cm ³
10-15 cm	1.46 g/cm ³
15-20 cm	1.53 g/cm ³

Sito BRA3



Figura 20. Foto dell'area circostante al profilo BRA3.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 681635.50 mE,
4911954.76 mN

Quota: 243m s.l.m. – **Pendenza:** 3%

Esposizione: 251°N

Morfologia: Versante poco acclive ondulato

Pietrosità: 7% - **Rocciosità:** 5%

Litologia: Deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici – membro di Cà di Mazza

Uso del suolo/Vegetazione: Ceduo di roverella



Figura 21. Profilo di suolo BRA3.

Sito BRA4



Figura 22. Foto dell'area circostante al profilo BRA4.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (3-0 cm) - Materiale indecomposto costituito da foglie di roverella e acero campestre, rametti.

Oe (0-2/3 cm) - Materiale emi decomposto. Limite inferiore abrupto lineare

A (2/3-16 cm) - Colore bruno molto scuro (10 YR 2/2) umido e bruno grigiastro molto scuro (10 YR 3/2) secco. Scheletro 2% di dimensioni fino a 1 cm. Struttura poliedrica sub angolare con aggregati da 1 a 3 cm con moderatamente grado di aggregazione. Non adesivo, leggermente plastico. Radici 10% fini da 1 a 2 mm. Limite inferiore abrupto lineare.

Bw (16-30 cm) - Colore bruno oliva scuro (2.5 YR 3/3) umido e bruno oliva (2.5 YR 4/4) secco. Scheletro 3% da 1 cm a 4 cm. Struttura poliedrica angolare con aggregati da 0.5 a 2 cm con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico Radici 5% 1-3 mm. Limite inferiore abrupto lineare.

BC1 (30-46/49 cm) Colore bruno oliva (2.5 YR 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5 YR 5/6) secco. Scheletro da 2 a 10 cm 10% in alterazione. Struttura poliedrica angolare con aggregati da 0.5 a 2 cm con grado di aggregazione da moderato a forte Non adesivo e leggermente plastico. Radici 2% da 1 a 2 mm. Limite inferiore abrupto ondulato.

BC2 (46/49-66 cm) - Colore bruno oliva (2.5 YR 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5 YR 5/4) secco. Scheletro di dimensioni decimetriche 10% in forte alterazione. Struttura poliedrica angolare con aggregati da 0.5 a 1.5 cm con grado di aggregazione da moderato a forte. Non adesivo e non plastico Radici 1% <1 mm e di 5 mm. Limite inferiore sconosciuto.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 0681594.32 mE
4911966.23 mN

Quota: 225ms.l.m. – **Pendenza:** 45%

Morfologia: Versante in erosione

Pietrosità: 10% - **Rocciosità:** 15%

Litologia: Deposito di frana quiescente complessa di pertinenza della Formazione di Monterumici – membro di Cà di Mazza

Uso del suolo/Vegetazione: Ceduo di Orniello



Figura 24. Profilo di suolo BRA4.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (1-0 cm) - Lettieria indecomposta in cui sono riconoscibili foglie di roverella, carpino nero e ornello, rametti.

Oe (0-1 cm) - Materiale emi decomposto. Limite inferiore abrupto lineare.

A (1-2 cm) - Colore nero (10 YR 2/1) umido e bruno molto scuro (10 YR 2/2) secco. Scheletro assente. Struttura grumosa fine media. Non adesivo e non plastico. Radici abbondanti molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

AB (2-7 cm) - Colore grigio molto scuro (10 YR 3/1) umido e bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2) secco. Scheletro assente. Struttura poliedrica sub angolare media con moderato grado di aggregazione. Poco adesivo e non plastico. Radici scarse fini e molto fini. Limite inferiore chiaro lineare.

Bw1 (7-15 cm) - Colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2) umido e bruno grigiastro (10 YR 5/2) secco. Scheletro 20% sino a 3 cm. Struttura poliedrica angolare media con moderato grado di aggregazione. Poco adesivo e non plastico. Scheletro da 2 a 10 cm 10% in alterazione. Radici molto abbondanti le fini e molto fini, comuni le grandi e medie. Limite inferiore chiaro lineare.

Bw2 (15-27 cm) - Colore bruno grigiastro scuro (2.5 YR 4/2) e bruno grigiastro (2.5 YR 5/2). Scheletro scarso di piccole medie dimensioni. Struttura poliedrica angolare media con moderato grado di aggregazione. Moderatamente adesivo e debolmente plastico. Radici abbondanti le medie e le fini, comuni le molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

BC (27-37 cm) - Colore bruno grigiastro scuro (10 YR 4/2) umido e bruno grigiastro (10 YR 5/2) secco. Scheletro scarso di medie dimensioni. Struttura poliedrica angolare media grande con moderato grado di aggregazione. Moderatamente adesivo e poco plastico. Radici comuni le grandi e le medie, scarse le fini, molto scarse le molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

CR (37+ cm) - Materiale litoide con moderata alterazione.

5.1.2 Indagine sui suoli e sulla loro qualità

In ogni sito dell'Azienda Branchicciolo si sono eseguiti i seguenti campionamenti in ogni orizzonte genetico espresso dai suoli e un campionamento dei livelli superficiali di suolo in base alla profondità (0-15 e 15-30 cm), ovvero quelli più interessati da pratiche agricole. Le classificazioni dei suoli sono *Typic Haplustepts* per BRA1, BRA2 e BRA4 e *Typic Calcustepts* per BRA3.

Per ogni profilo dell'Azienda Branchicciolo, le proprietà chimicofisiche dei campioni raccolti negli orizzonti pedogenetici e negli orizzonti a profondità fissa sono presentati rispettivamente nelle Tabelle 8 e 9.

Tabella 8 Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti dei profili dell'Azienda Branchicciolo.

Profilo	Oriz.	Profondità	pH	EC	CaCO ₃	Sabbia	Limo	Argilla	TOC	TIC	TC	TN
		cm		μS/cm	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
BRA1	Oi	4-0							471.8			
	A1	0-5	7.6	426	107	827	168	5	120.2 ±5.7	16.0 ±2.1	136.2 ±3.6	2.9 ±0.5
	A2	5-10.5	7.7	328	140	762	222	16	72.5 ±2.7	20.6 ±0.4	93.1 ±2.5	4.4 ±2.5
	AB	10.5-20.5	7.5	259	189	679	315	6	24.7 ±0.0	27.2 ±1.0	51.9 ±1.0	2.1 ±0.5
	Bw	20.5-33.5	7.1	200	229	703	231	66	5.0 ±0.2	32.1 ±0.9	37.1 ±0.9	0.4 ±0.1
BRA2	Oi	4-0							479.9			
	Oe	0-1							178.7			
	A/Oe	1-2/3	7.9	285	124	810	158	32	90.2 ±3.0	19.1 ±0.9	109.3 ±2.7	3.4 ±1.8
	A	2/3-11/12	7.8	293	166	684	252	64	41.9 ± 2.3	24.2 ±1.6	66.0 ±2.0	3.0 ±0.4
	Bw	11/12-31	7.9	204	229	707	224	69	7.9 ±0.1	29.8 ±1.0	37.7 ±1.1	0.6 ±0.0
	BC	31-44	7.8	195	222	701	239	60	6.4 ± 0.2	28.8 ±1.4	35.3 ±1.6	0.6 ±0.0
BRA3	Oi	3-0							434.6			
	Oe	0-2/3							168.9			
	A	2/3-16	7.6	280	173	729	210	61	33.8 ±1.6	25.1 ±0.3	58.9 ±1.7	2.4 ±0.0
	Bw	16-30	7.7	189	213	742	160	97	12.7 ±0.8	27.1 ±1.4	39.8 ±0.6	1.0 ±0.2
	BC1	30-46/49	7.7	205	211	677	220	103	6.5 ±0.3	29.4 ±1.3	35.9 ±1.0	0.6 ±0.2
	BC2	46/49-66+	7.9	195	226	651	234	115	6.0 ±0.3	28.2 ±0.7	34.2 ±2.7	0.5 ±0.0
BRA4	Oi	?-0							365.0			
	Oe	0-1							171.8			
	A	1-2	7.6	364	56	767	203	29	127.1 ±1.1	10.5 ±1.3	137.5 ±0.3	3.8 ±0.7
	AB	2-7	7.4	272	127	645	276	79	24.9 ±1.0	18.6 ±1.0	43.4 ±0.4	1.9 ±0.4
	Bw1	7-15	7.6	255	144	677	246	77	16.8 ±0.3	19.9 ±0.3	36.7 ±0.1	1.3 ±0.2
	Bw2	15-27	7.8	222	167	586	309	105	13.1 ±0.4	20.6 ±0.3	33.7 ±0.5	1.1 ±0.1
	BC	27-37	7.8	213	178	555	342	103	8.7 ±0.2	22.6 ±0.2	31.3 ±0.3	0.7 ±0.1

EC: conduttività elettrica; TOC: carbonio organico totale; TIC: carbonio inorganico totale; TC: carbonio totale; TN: azoto totale

Dai dati dei contenuti di sabbia, limo e argilla i suoli dell'Azienda Branchicciolo sono stati classificati come franco-sabbioso e sabbioso-franco (Fig. 25).

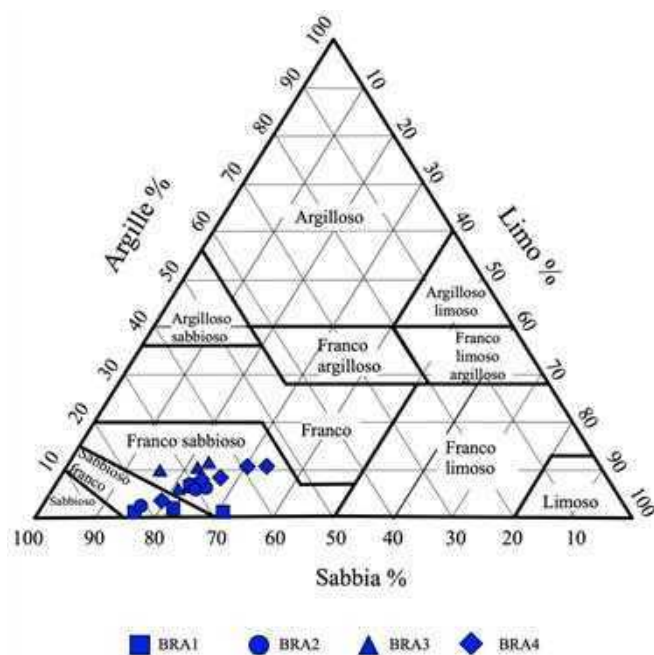


Figura 25. Classificazione dei suoli dei profili dell'Azienda Branchicciolo tramite triangolo della tessitura secondo USDA

Tabella 9. Valori medi delle caratteristiche chimicofisiche dei suoli campionati a profondità fissa (0-15 e 15-30 cm) dell'Azienda Branchicciolo.

	Profondità	pH	EC	CaCO₃
	cm		μS/cm	g/kg
BRA1	0-15	7.9	302	203
	15-30	7.9	222	225
BRA2	0-15	7.6	322	158
	15-30	7.8	270	202
BRA3	0-15	7.5	345	143
	15-30	7.9	250	189
BRA4	0-15	7.6	366	83
	15-30	8.0	249	151

EC: conduttività elettrica

Dalle caratteristiche chimicofisiche dei profili è possibile osservare che i suoli dell'Azienda Branchicciolo presentano valori di pH subalcalini, con presenza dell'15-20% di carbonato di calcio.

In Tabella 10 sono presentati i dati che riguardano il carbonio organico totale (DOC), l'azoto organico (DN), il C e N della biomassa microbica (C_{mic} e N_{mic}), oltre ai dati dell'attività della biomassa microbica stessa, quali la respirazione cumulata a 28 giorni di incubazione (C-CO₂cum) e la respirazione basale oraria (RB). Con questi parametri è possibile calcolare alcuni indici di qualità di suoli (qCO₂, qM, qMIC) riconosciuti a livello internazionale. L'indice di Fertilità Biologica (IBF) e quello di Dilly, indicano uno stato di stress generale soprattutto della parte più profonda del suolo, mentre i primi 15 cm evidenziano una migliore efficienza nell'immagazzinare carbonio.

Tabella 10. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto: Carbonio organico disciolto (DOC), azoto organico disciolto (DN), Carbonio microbico (C_{mic}), azoto microbico (N_{mic}), respirazione basale del suolo (SBR), respirazione

cumulata (Rcum) e indicatori di qualità del suolo: quoziente metabolico (qCO₂), quoziente microbico (qMIC), indice di biofertilità (IBF) e indice Dilly.

	Profondità	DOC	DN	Cmic	Nmic	SBR	Rcum
	cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg C-CO₂ kg s.s. ⁻¹ h⁻¹	mg C-CO₂ g s.s. ⁻¹
BRA1	0-15	956.5	103.3	379.4	106.3	2.7	1.1
	15-30	230.6	19.8	96.9	18.5	0.7	0.3
BRA2	0-15	497.0	53.4	651.3	97.3	2.9	1.2
	15-30	152.6	19.5	131.1	12.1	0.7	0.3
BRA3	0-15	1164.8	104.2	1134.4	119.7	10.5	3.7
	15-30	242.7	24.4	414.3	20.1	1.7	0.5
BRA4	0-15	531.2	50.4	323.3	52.5	4.8	1.6
	15-30	228.6	18.5	141.6	8.0	1.8	0.6
	Profondità	Cmic/ Nmic	qCO₂	qM	qMIC	IBF	Dilly
	cm		µg 10³ /h/µgCmic	%	%		
BRA1	0-15	3.6	0.7	2.6	0.9	9	161
	15-30	5.2	0.7	3.4	1.2	6	1696
BRA2	0-15	6.7	0.4	1.4	0.8	11	78
	15-30	10.8	0.5	0.7	0.4	7	847
BRA3	0-15	9.5	0.9	4.4	1.4	11	189
	15-30	20.6	0.4	2.7	2.2	7	1676
BRA4	0-15	6.2	1.5	1.6	0.3	12	230
	15-30	17.6	1.3	1.6	0.4	11	938

Nella Figura 26 viene riportato il risultato ottenuto tra i parametri della biomassa microbica (Cmic e Nmic) e delle frazioni labili di carbonio organico disciolto (DOC) e azoto disciolto (DN) nei due anni di campionamento e non si notano differenze significative.

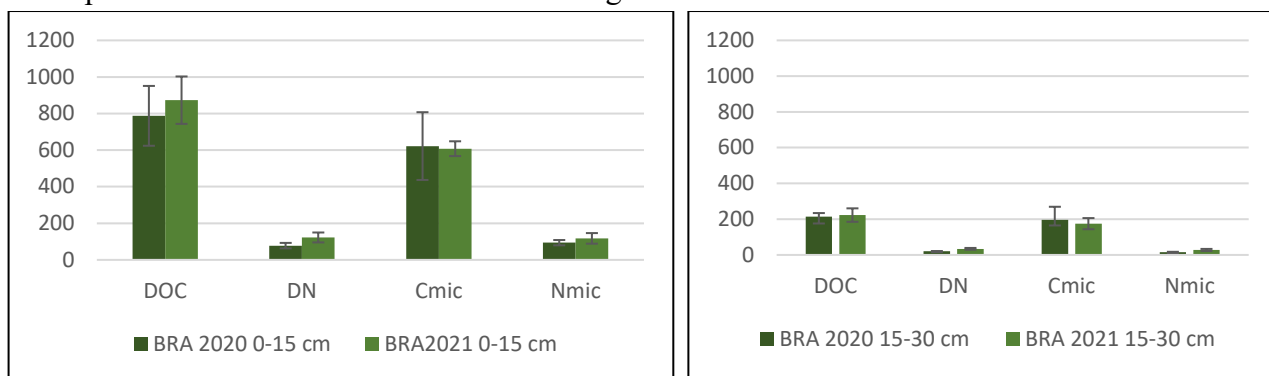


Figura 26. Frazioni labili (DOC e DN) e biomassa microbica (Cmic e Nmic), espressi in mg/kg nei due anni di campionamento 2020 e 2021.

In Tabella 11 sono riportati i dati di C e degli isotopi stabili $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ delle frazioni umiche. Si evidenzia che la frazione POM non è stata estratta in nessuna azienda, sottolineando le difficoltà dei suoli a sequestrare C.

Tabella 11. Percentuale di C delle diverse frazioni, e isotopi stabili del C e di N.

	0-15 cm				15-30 cm		
	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)		C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Umina	26.66				7.00		
HA	6.18	-27.81	-1.25		1.16	-25.68	2.09
FA	4.82	-26.43	0.81		1.03	-24.76	3.80

Gli spettri FTIR sono molto simili tra loro e indicano una buona presenza di legami aromatici che rendono stabili le sostanze organiche (Figura 27), mentre in Tabella 9 sono portate le percentuali dei gruppi selezionati. La frazione aromatica sia degli HA che FA è superiore negli orizzonti Bw rispetto agli orizzonti organominerali di superficie evidenziando il loro ruolo di riserva e di approfondimento delle sostanze umiche.

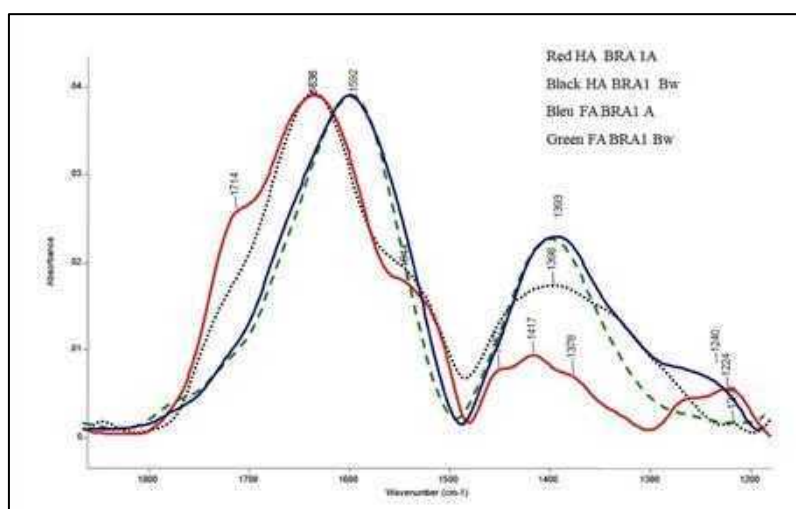


Figura 27. Spettri FTIR delle frazioni degli acidi umici (HA) e degli acidi fulvici (FA)

Tabella 12. Percentuali derivate dall'integrazione dei picchi scelto per rappresentere la labilità intermedia delle frazioni umiche.

BRA1	Bande FTIR	Picco	HA A%	HA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	66,6	42,3
	Frazione aromatica di media labilità	1530	8,1	16,6
BRA1	Bande FTIR	Picco	FA A %	FA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	54,0	38,2
	Frazione aromatica di media labilità	1530	5,7	19,9

5.1.3. Respirazione eterotrofa del suolo

In Tabella 13 sono presentati i dati della respirazione eterotrofa del suolo durante il periodo estivo del 2021. I dati delle campagne di Giugno, Luglio e Agosto evidenziano una respirazione più

accentuata a giugno per la ripresa vegetativa, mentre più bassi per i mesi di luglio e agosto data la maggiore temperatura del suolo e la minore umidità.

Tabella 13. Misura della respirazione eterotrofa del suolo durante il periodo estivo nel 2021 presso l'Azienda Agricola Branchicciolo.

Flusso di CO₂ g/m²	Mese
1.09	Giugno
0.45	Luglio
0.30	Agosto

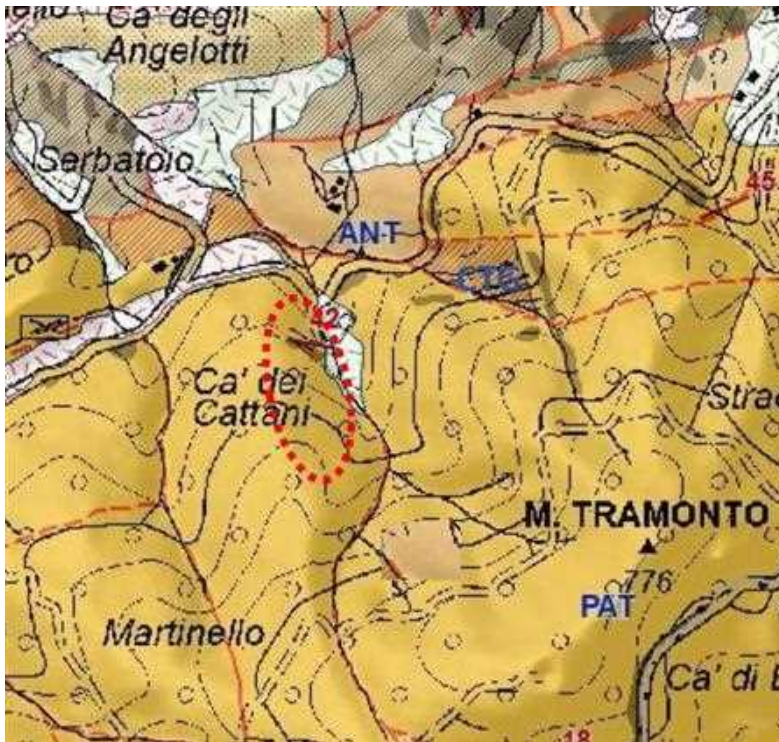
5.2 L'Azienda Agricola di Fabio Beghelli

L'Azienda Agricola di Beghelli Fabio, situata a Monte San Pietro (BO; 44°24'19''N, 11°07'24''E) nell'appennino bolognese a sud-ovest di Bologna, dedita ad attività forestale, coltivazione di alberi da frutta, frutti di bosco e in guscio. Il campionamento è stato effettuato nell'area boschiva in località Borra, a circa 560 metri sul livello del mare, in cui sono coltivati castagni.

5.2.1 Inquadramento geologico e pedologico

Dal punto di vista geologico nell'area presa in esame sono presenti tre formazioni principali (Fig. 28). Esse fanno parte della successione Epiligure che raggruppa i corpi rocciosi che si sono depositati in seguito alla fase tettonica mesoalpina (Eocene medio) sulle unità liguri (Panini et al., 2002). In particolare, dalla più antica alla più recente sono:

- la formazione dell'Antognola caratterizzata da marne e argille marnose e siltose con rara presenza di livelli arenitici;
- la formazione di Contignaco composta da marne e marne siltose con rara presenza di livelli arenitici;
- la formazione di Pantano composta da areniti finissime grigie, ricche in matrice marnoso-siltosa.



Inquadramento geolitologico



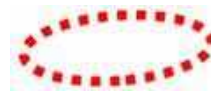
Formazione di Pantano: areniti finissime grigie, ricche in matrice marnoso-siltosa con stratificazione poco evidente



Formazione di Contignaco: argille marnose, argille siltose ed argille, strutturalmente ordinate, stratificate con eventuale rara presenza di livelli arenitici



Formazione dell'Antognola: marne, argille marnose, argille siltose e argille, strutturalmente ordinate, stratificate con eventuale rara presenza di livelli arenitici



Area d'indagine

Figura 28. Inquadramento geologico dell'area dell'Azienda Beghelli.

Per l'Azienda Beghelli si sono eseguiti i campionamenti di suolo nel castagneto di proprietà dell'azienda. I suoli aziendali sono investigati in quattro punti (Fig. 29; Tabella 14).



Figura 29. Aree d'indagine dell'Azienda Beghelli.

Tabella 14. Coordinate e altitudine dei punti di campionamento selezionati nel castagneto dell'Azienda Branchicciolo.

Profilo	Quota (m slm)	Coordinate UTM – 32T	
BEG1	553	671382.56 mE	4915159.90 mN
BEG2	547	671406.13 mE	4915164.91 mN
BEG3	581	671448.36 mE	4915082.09mN
BEG4	571	671473.00 mE	4915092.00 mN

In ogni punto di campionamento si è aperto un profilo per descrivere e e campionare gli orizzonti genetici (Fig. 30 - Fig. 37).

Di seguito vengono riportati le descrizioni di ogni sito di campionamento dell'azienda Beghelli e i relativi profili pedologici. Per i siti BEG2, BEG3 e BEG4 si sono eseguite anche le analisi di bulk density a diverse profondità nei primi 30 cm di suolo.

Sito BEG1



Figura 30. Foto dell'area circostante al profilo BEG1.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T UTM 671448.36 mE
4915082.09 mN

Quota: 553 m s.l.m.

Pendenza: 20%

Esposizione: 5°N

Morfologia: Versante ondulato acclive

Litologia: Areniti finissime grigie, ricche in matrice marnoso-siltosa con stratificazione poco evidente della Formazione di Pantano (PAT)

Uso del suolo/Vegetazione: Castagneto da frutto gestito



Figura 31. Scheda descrittiva del profilo di suolo BEG1.

DATI PROFILO

Oi (2-0cm): assente, però presente muschio.

A (0-7cm): colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2) umido e bruno (10YR 4/3) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica subangolare con aggregati di dimensioni fini, con moderato grado di aggregazione, adesivo e poco plastico. Radici abbondanti fini, medie e molto fini. Limite inferiore chiaro ondulato.

Bw (7-24cm): colore bruno giallastro scuro (10YR 4/6) umido e bruno giallastro (10YR 5/6) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica angolare con aggregati da 1 a 2 cm e moderato grado di aggregazione, adesivo e moderatamente plastico. Radici abbondanti le medie, comuni le fini, scarse le molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

BC (24-37+cm): colore bruno giallastro (10YR 5/4) umido e giallo brunastro (10YR 6/6) secco. Scheletro 90% di dimensioni decimetriche, struttura poliedrica subangolare di dimensioni fini, con debole grado di aggregazione, moderatamente adesivo e non plastico. Radici scarse le medie e le fini, assenti le molto fini. Limite inferiore sconosciuto.

Sito BEG2



Figura 32. Foto dell'area circostante al profilo BEG2.



Figura 33. Scheda descrittiva del profilo di suolo BEG2.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 671406.13 mE
4915164.91 mN

Quota: 547 m s.l.m.

Pendenza: 45%

Esposizione: 7 °N

Morfologia: versante ondulato fortemente acclive

Litologia: Areniti finissime grigie, ricche in matrice marnoso-siltosa con stratificazione poco evidente della Formazione di Pantano (PAT)

Uso del suolo/Vegetazione: Castagneto da frutto in attualità di coltura. Sottobosco costituito da muschio, trifoglio, loietto.

DATI PROFILO

Oi (0.2-0 cm): lettiera quasi assente costituita da poche foglie di castagno appena cadute, rametti e ricci.

A1 (0-4/5 cm): colore nero (10YR 2/1) umido e bruno molto scuro (10YR 2/2) secco. Scheletro assente, struttura granulare (tendente al poliedrico subangolare) con aggregati da 2 mm a 1 cm, con moderato grado di aggregazione, adesivo per via della sostanza organica e leggermente plastico. Radici comuni molto fini. Limite inferiore abrupto ondulato.

A2 (4/5-6/7 cm): colore bruno oliva scuro (2.5Y 3/3) umido e bruno oliva (2.5Y 4/4) secco, sacche di approfondimento della sostanza organica lungo i lati. Scheletro assente, struttura poliedrica subangolare con aggregati da 3 mm a 2,5 cm con debole grado di aggregazione, leggermente adesivo e moderatamente plastico. Radici 3% molto fini. Limite inferiore abrupto ondulato.

Bw (6/7-21 cm): colore bruno oliva (2.5Y 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica angolare con aggregati da 1 mm a 1 cm e moderato grado di aggregazione, non adesivo e non plastico. Radici comuni le molto fini, scarse le fini e le medie. Limite inferiore abrupto lineare.

BC1 (21-36 cm): colore bruno giallastro (10YR 5/8) umido e bruno giallastro chiaro (10YR 6/4) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica angolare con aggregati da 2 mm a 1 cm, con forte grado di aggregazione, non adesivo e non plastico. Radici scarse le molto fini, fini e medie. Limite inferiore chiaro lineare.

BC2 (36-51 cm): colore bruno giallastro scuro (10YR 4/6) umido e bruno giallastro (10YR 5/8) secco.

Struttura poliedrica angolare con aggregati da 0.5 a 1 cm, con forte grado di aggregazione, leggermente adesivo e non plastico. Radici comuni le fini, scarse le molto fini con andamento sub orizzontale. Limite inferiore abrupto lineare.

C (51-61+ cm): colore bruno giallastro scuro (10YR 4/4) umido e bruno giallastro (10YR 5/4) secco, screziature primarie giallo brunastre (10YR 6/6) e secondarie bruno intenso (7.5 YR 5/8). Scheletro 80% di dimensioni decimetriche, struttura massiva molto tenace.

Tabella 15 Valori di bulk density per il profilo BEG2

Bulk density	
0-5 cm	1.04 g/cm ³
5-10 cm	1.46 g/cm ³
10-15 cm	1.51 g/cm ³
15-20 cm	1.48 g/cm ³

Sito BEG3



DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 671448.36 mE
4915082.09 mN

Quota: 581 m s.l.m.

Pendenza: 32%

Esposizione: 5°N

Morfologia: Versante fortemente acclive
ondulato

Litologia: Areniti finissime grigie, ricche in
matrice marnoso-siltosa con stratificazione poco
evidente della Formazione di Pantano (PAT)

Uso del suolo/Vegetazione: Castagneto ceduo in
stato di abbandono

Figura 34. Foto dell'area circostante al profilo BEG3.



Figura 35. Scheda descrittiva del profilo di suolo BEG3.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (2-0 cm): materiale indecomposto costituito da foglie di castagno e nocciolo, rametti, discontinuo.

A(0-7 cm): colore bruno molto scuro (10YR 2/2) umido e bruno scuro (10YR 3/3.) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica sub angolare media, con moderato grado di aggregazione, adesivo e poco plastico. Radici scarse fini e molto fini. Limite inferiore chiaro ondulato.

Bw1 (7-18 cm): colore bruno oliva (2.5Y 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica angolare di dimensioni medie, con moderato grado di aggregazione, poco adesivo e poco plastico, introflessioni dall'orizzonte superiore di sostanza organica di colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2). Radici comuni le medie, scarse le fini e molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

Bw2 (18-38 cm): colore bruno oliva (2,5Y 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) secco - Scheletro 5% costituito da un unico frammento di dimensioni decimetriche, struttura poliedrica angolare di grandi dimensioni, con moderato grado di aggregazione, adesivo e debolmente plastico. Radici: scarse le medie, molto scarse le fini. Limite inferiore abrupto ondulato.

C (38-49+ cm): orizzonte non campionabile, colore bruno oliva (2.5Y 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco, screziature abbondanti bruno giallastre scure rossastre (10YR 4/6). Scheletro 90% di dimensioni >20 cm, struttura massiva. Radici assenti, sotto uno dei frammenti vi è una saccatura lunga circa 20 cm e alta 5 cm in cui si nota attività di pedofauna (nidi di ragno). Limite inferiore sconosciuto.

Tabella 16. Valori di bulk density per il profilo BEG3

Bulk density	
0-5 cm	0.91 g/cm ³
5-10 cm	1.21 g/cm ³
10-15 cm	1.35 g/cm ³
15-20 cm	1.35 g/cm ³

Sito BEG4



Figura 36. Foto dell'area circostante al profilo BEG4.



Figura 37. Scheda descrittiva del profilo di suolo BEG4.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 671473 mE

4915092 mN

Quota: 571 m s.l.m.

Pendenza: 45%

Esposizione: 358°N

Morfologia: Versante ondulato in forte pendenza

Litologia: Areniti finissime grigie, ricche in matrice marnoso-siltosa con stratificazione poco evidente della Formazione di Pantano (PAT)

Uso del suolo/Vegetazione: Bosco di castagno e nocciolo in forte pendenza. Lettiera costituita da foglie di castagno e nocciolo, rametti e ricci.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (2-0 cm): materiale indecomposto costituito da foglie di castagno e nocciolo, rametti, discontinuo.
A(0-7 cm): colore bruno molto scuro (10YR 2/2) umido e bruno scuro (10YR 3/3.) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica sub angolare media, con moderato grado di aggregazione, adesivo e poco plastico. Radici scarse fini e molto fini. Limite inferiore chiaro ondulato.

Bw1 (7-18 cm): colore bruno oliva (2.5Y 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco. Scheletro assente, struttura poliedrica angolare di dimensioni medie, con moderato grado di aggregazione, poco adesivo e poco plastico, introflessioni dall'orizzonte superiore di sostanza organica di colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2). Radici comuni le medie, scarse le fini e molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

Bw2 (18-38 cm): colore bruno oliva (2.5Y 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) secco - Scheletro 5% costituito da un unico frammento di dimensioni decimetriche, struttura poliedrica angolare di grandi dimensioni, con moderato grado di aggregazione, adesivo e debolmente plastico. Radici: scarse le medie, molto scarse le fini. Limite inferiore abrupto ondulato.

C (38-49+ cm): orizzonte non campionabile, colore bruno oliva (2.5Y 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/6) secco, screziature abbondanti bruno giallastre scure rossastre (10YR 4/6). Scheletro 90% di dimensioni >20 cm, struttura massiva. Radici assenti, sotto uno dei frammenti vi è una saccatura lunga circa 20 cm e alta 5 cm in

cui si nota attività di pedofauna (nidi di ragno).
Limite inferiore sconosciuto.

Tabella 17. Valori di bulk density per il profilo BEG3

Bulk density	
0-5 cm	0.95 g/cm ³
5-10 cm	1.44 g/cm ³
10-15 cm	1.38 g/cm ³
15-20 cm	1.61 g/cm ³

5.2.2 Indagine sulla qualità dei suoli

In ogni sito dell'Azienda Beghelli si sono eseguiti i seguenti campionamenti in ogni orizzonte genetico espresso dai suoli e un campionamento dei livelli superficiali di suolo in base alla profondità (0-15 e 15-30 cm), ovvero quelli più interessati da pratiche agricole.

Per ogni profilo dell'Azienda Beghelli, le proprietà chimicofisiche dei campioni raccolti negli orizzonti pedogenetici e negli orizzonti a profondità fissa sono presentati rispettivamente nelle Tabelle 18 e 19.

Tabella 18. Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti dei profili dell'Azienda Beghelli.

Profilo	Oriz.	Profondità	pH	EC	CaCO ₃	Sabbia	Limo	Argilla	TOC	TIC	TC	TN
		cm		μS/cm	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
BEG1	Oi	2-0							494.5			
	Oe	0-1							154.2			
	A	1-7	6.9	258	111	507	434	59	61.0 ±2.1	3.5 ±3.2	64.6 ±1.1	2.2 ±0.1
	Bw	7-24	7.1	298	36	370	355	275	9.9 ±1.5	5.5 ±1.7	15.5 ±0.3	0.5 ±0.3
BEG2	Oi	0,2-0							510.2			
	A1	0-4/5	5.6	191	0	582	337	81	76.5 ±0.9	2.7 ±2.1	79.2 ±1.2	3.3 ±0.8
	A2	4/5-6/7	5.4	99	0	460	399	141	17.0 ±0.8	1.0 ±0.8	18.0 ±0.4	0.7 ±0.2
	Bw	6/7_21	4.9	70	4	315	450	235	9.2 ±0.4	0.7 ±0.6	9.9 ±0.4	0.4 ±0.1
	BC1	21-36	5.9	89	0	334	383	283	6.4 ±0.5	0.6 ±0.5	7.0 ±0.1	0.4 ±0.1
	BC2	36-51	5.7	98	0	347	258	395	5.7 ±0.3	0.5 ±0.4	6.2 ±0.2	0.4 ±0.1
	C	51-61+	7.4	180	0	504	180	316	6.3 ±0.6	0.5 ±0.4	6.8 ±0.2	0.6 ±0.3
BEG3	Oi	0,5-0							489.2			
	Oe/Oa	0-0,5	6.8	311	182				121.6 ±1.7	3.2 ±1.0	124.8 ±2.1	2.6 ±0.8
	AE	0,5-4,5/7,5)	6.3	150	0	294	468	238	29.6 ±0.8	1.0 ±0.6	30.6 ±0.2	0.9 ±0.1
	AB	4,5/7,5-23	6.9	279	0	255	500	245	20.1 ±0.8	1.4 ±0.6	21.6 ±0.2	0.7 ±0.0

	Br?	23-38	7.4	324	0	225	458	317	15.6 ± 0.3	1.5 ± 0.6	17.1 ± 0.3	0.5 ± 0.2
	BC1	38-45	7.5	225	0	203	435	362	6.3 ± 0.3	0.6 ± 0.4	6.9 ± 0.0	0.4 ± 0.1
	BC2	45-65+	7.0	144	0	235	439	326	4.3 ± 0.3	0.4 ± 0.2	4.7 ± 0.1	0.4 ± 0.0
BEG4	Oi	2-0							468.1			
	A	0-7	6.8	253	0	534	371	95	70.5 ± 1.5	2.5 ± 1.2	73.0 ± 1.4	4.0 ± 0.5
	Bw1	7_18	6.3	58	0	214	532	254	9.9 ± 0.2	0.4 ± 0.2	10.3 ± 0.1	0.4 ± 0.0
	Bw2	18-38	7.2	154	0	294	464	242	8.1 ± 0.3	0.5 ± 0.3	8.6 ± 0.0	0.6 ± 0.1
	C	38-49										

EC: conduttività elettrica; TOC: carbonio organico totale; TIC: carbonio inorganico totale; TC: carbonio totale; TN: azoto totale

Dai dati dei contenuti di sabbia, limo e argilla i suoli dell'Azienda Beghelli sono stati classificati come franco-sabbioso, franco e franco-argilloso (Fig. 38).

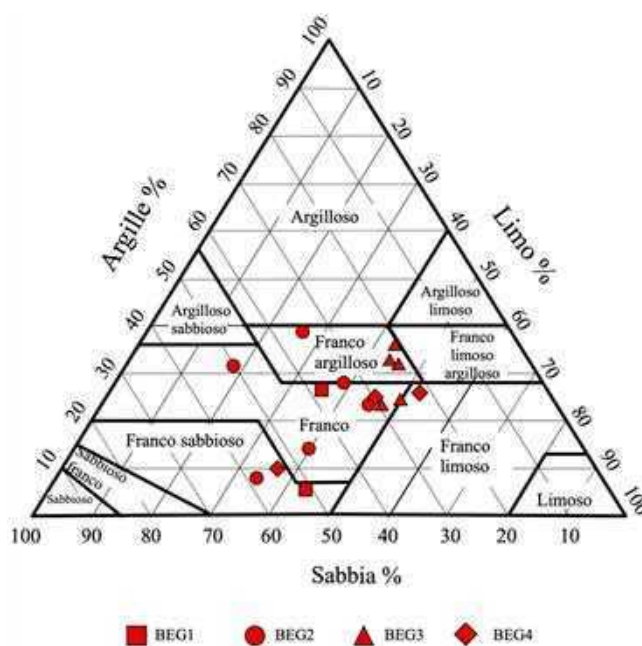


Figura 38. Classificazione dei suoli dei profili dell'Azienda Beghelli tramite triangolo della tessitura secondo USDA

Tabella 19. Valori medi delle caratteristiche chimicofisiche dei suoli campionati a profondità fissa (0-15 e 15-30 cm) dell'Azienda Beghelli.

	Profondità	pH	EC	CaCO ₃
	cm		μS/cm	g/kg
BEG1	0-15	5.5	291	11
	15-30	6.3	241	56
BEG2	0-15	6.5	110	0
	15-30	5.8	143	0
BEG3	0-15	6.5	339	4
	15-30	6.5	220	0
BEG4	0-15	6.5	181	0

	15-30	6.4	189	0
--	-------	-----	-----	---

EC: conduttività elettrica

Dalle caratteristiche chimicofisiche dei profili è possibile osservare che i suoli dell'Azienda Beghelli presentano valori di pH neutri, con presenza dell'0-5% di carbonato di calcio.

In Tabella 20 sono presentati i dati che riguardano il carbonio organico totale (DOC), l'azoto totale (DN), il C e N della biomassa microbica (C_{mic} e N_{mic}), oltre ai dati dell'attività della biomassa microbica stessa, quali la respirazione cumulata a 28 giorni di incubazione ($C-CO_2cum$) e la respirazione basale oraria (RB). Con questi parametri è possibile calcolare alcuni indici di qualità di suoli (qCO_2 , qM , $qMIC$) riconosciuti a livello internazionale. L'indice di Fertilità Biologica (IBF) evidenzia anche per quest'azienda valori più alti nei primi 15 cm. I valori di classe buona si trovano negli orizzonti organici Oe o Oa e nell'orizzonte A, quindi solamente i primi 4-5 cm di suolo.

Tabella 20. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto: Carbonio organico disciolto (DOC), azoto organico disciolto (DN), Carbonio microbico (C_{mic}), azoto microbico (N_{mic}), respirazione basale del suolo (SBR), respirazione cumulata (R_{cum}) e indicatori di qualità del suolo: quoziente metabolico (qCO_2), quoziente microbico ($qMIC$), indice di biofertilità (IBF) e indice Dilly.

	Profondità	DOC	DN	C_{mic}	N_{mic}	SBR	R_{cum}
	cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg C-CO ₂ kg s.s. ⁻¹ h ⁻¹	mg C-CO ₂ g s.s. ⁻¹
BEG1	0-15	621.4	60.2	609.5	58.6	2.9	1.1
	15-30	192.2	17.5	165.7	9.6	1.4	0.5
BEG2	0-15	364.8	41.7	256.5	28.5	1.8	0.8
	15-30	204.9	14.6	122.9	10.2	0.5	0.2
BEG3	0-15	214.6	19.5	260.8	26.5	1.9	0.7
	15-30	187.0	14.6	107.8	13.7	1.4	0.5
BEG4	0-15	354.5	46.7	269.5	26.9	3.1	1.3
	15-30	140.7	13.7	103.4	10.5	0.4	0.2
	Profondità	C_{mic}/N_{mic}	qCO_2	qM	$qMIC$	IBF	Dilly
	cm		$\mu g 10^3$ /h/ $\mu g C_{mic}$	%	%		
BEG1	0-15	10.4	0.5	3.0	1.7	14	323
	15-30	17.3	0.8	3.1	1.1	8	5820
BEG2	0-15	9.0	0.7	4.1	1.4	11	657
	15-30	12.1	0.4	1.5	0.9	8	1770
BEG3	0-15	9.9	0.7	1.7	0.6	10	244
	15-30	7.9	1.3	3.5	0.7	6	844
BEG4	0-15	10.0	1.2	6.2	1.2	11	261
	15-30	9.9	0.4	1.4	0.7	10	451

Nella Figura 39 viene riportato il risultato ottenuto tra i parametri della biomassa microbica (C_{mic} e N_{mic}) e delle frazioni labili (DOC e DN) nei due anni di campionamento e non si notano differenze significative.

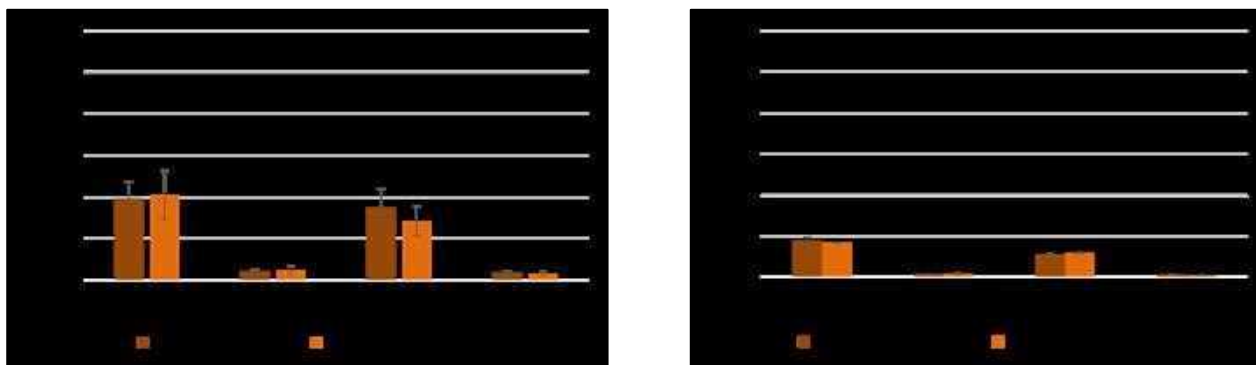


Figura 39. Frazioni labili (DOC e DN) e biomassa microbica (Cmic e Nmic), espressi in mg/kg nei due anni di campionamento 2020 e 2021.

In Tabella 18 sono riportati i dati di C e degli isotopi stabili $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ delle frazioni umiche. Si evidenzia che la frazione POM non è stata estratta in nessuna azienda, sottolineando le difficoltà dei suoli a sequestrare C.

Tabella 18. Percentuale di C delle diverse frazioni, e isotopi stabili del C e di N.

	0-15 cm			15-30 cm		
	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Umina	18.89			5.40		
HA	5.10	-25.42	3.97	0.31	-24.08	6.10
FA	4.44	-25.19	4.83	1.95	-24.16	8.08

Gli spettri FTIR sono molto simili tra loro e indicano una buona presenza di legami aromatici che rendono stabili le sostanze organiche (Figura 40), mentre in Tabella 19 sono portate le percentuali dei gruppi selezionati. Anche nei suoli dell'Azienda Beghelli si evidenzia il ruolo degli orizzonti Bw nel sequestro di C e quindi di approfondimento della sostanza organica.

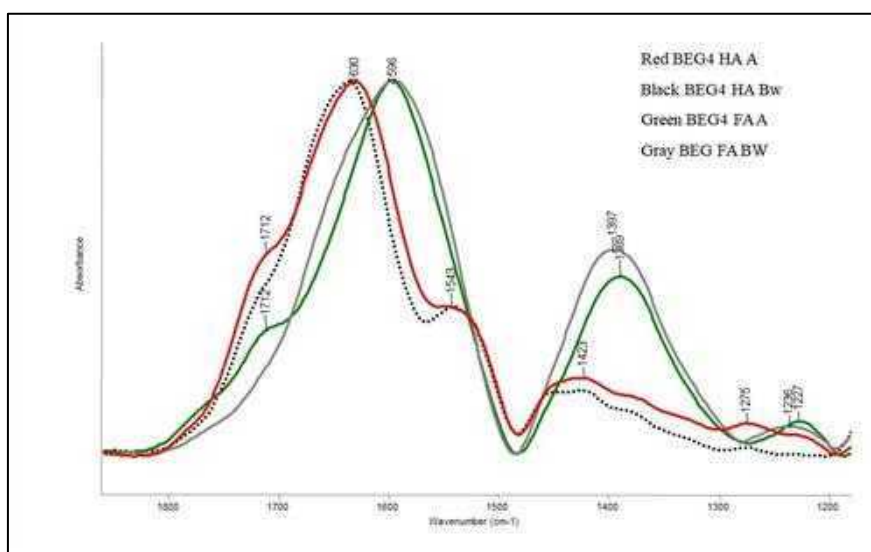


Figura 40. Spettri FTIR delle frazioni degli acidi umici (HA) e degli acidi fulvici (FA)

Tabella 19. Percentuali derivate dall'integrazione dei picchi scelto per rappresentare la labilità intermedia delle frazioni umiche.

BEG4	Bande FTIR	Picco	HA A %	HA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	64,6	64,7
	Frazione aromatica di media labilità	1530	9,6	12,1
BEG4	Bande FTIR	Picco	FA A %	FA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	48,4	40,6
	Frazione aromatica di media labilità	1530	9,4	22,2

5.2.3 Respirazione eterotrofa del suolo

Nella Figura 41 viene riportata la respirazione eterotrofa nel 2020 e 2021. In cui si può evincere una respirazione ridotta nel 2021 dovuta alle alte temperature e alla siccità.

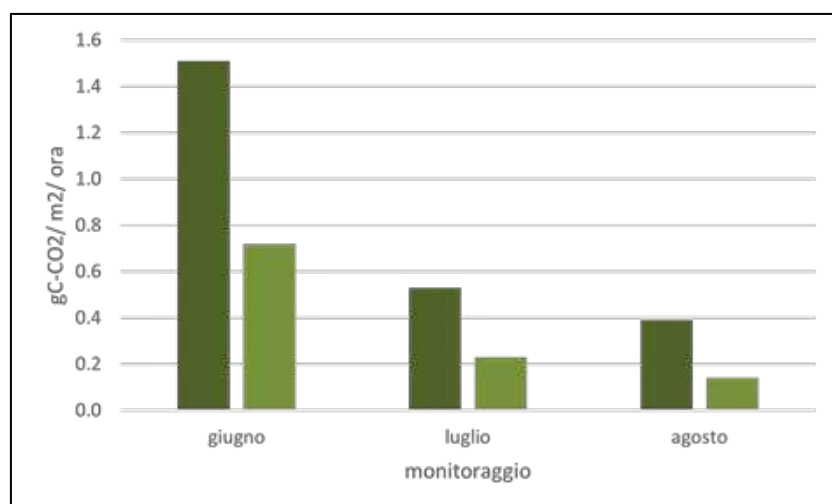


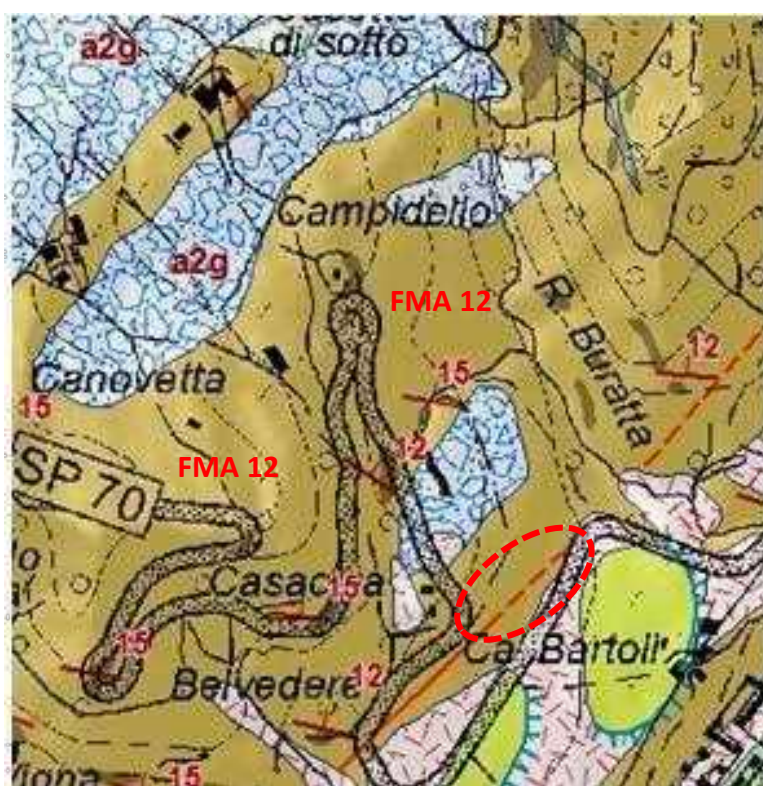
Figura 41. Respirazione eterotrofa del suolo nei due anni di indagine.

5.3 La Società Cooperativa Montana Valle del Senio

La Società Cooperativa Montana Valle del Senio, Casola Valsenio (RA; 44°14'29''N, 11°38'39''E) gestisce il Giardino delle Erbe “Augusto Rinaldi Ceroni” su incarico dell’ente Parco Regionale della Vena del Gesso Romagnola. Il Giardino delle Erbe, che svolge una funzione didattica, divulgativa, di conservazione e di coltivazione di varie specie officinali, occupa una superficie di circa 4 ettari (di cui una parte coperta da superficie boschiva), ed è caratterizzato da una notevole biodiversità che consta in oltre 480 specie fra erbacee, arbustive, arboree.

5.3.1 Inquadramento geologico e pedologico

Dal punto di vista geologico nell’area presa in esame è un’unica formazione: la formazione marnoso arenacea del membro di Castel del Rio, dove si alternano livelli con arenaria e livelli pelitici (Fig. 42).



Inquadramento geolitologico



Formazione Marnoso Arenacea membro di Castel del Rio

Alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti) e livelli pelitici



Deposito di frana quiescente complessa



Area d'indagine

Figura 42. Inquadramento geologico dell’area della Società Agricola Montana Valle del Senio.

L’area di indagine della Società Cooperativa Montana Valle del Senio è collocata su una antica struttura fluviale terrazzata ed è caratterizzata da un piccolo bosco rado realizzato nel passato con la messa a dimora di piante arboree di specie diverse (Fig. 43; Tabella 20).



Figura 43. Aree d'indagine dell'area della Società Agricola Montana Valle del Senio.

Tabella 20. Coordinate e altitudine dei punti di campionamento selezionati nel castagneto dell'Azienda Branchicciolo.

Profilo	Quota (m slm)	Coordinate UTM – 32T	
MVS1	272	709640.01 mE	4900711.29 mN
MVS2	253	709652.22 mE	4900699.24 mN
MVS3	269	709628.35 mE	4900671.51 mN
MVS4	251	709638.12 mE	4900661.96 mN

In ogni punto di campionamento si è aperto un profilo per descrivere e campionare gli orizzonti genetici (Fig. 44 -Fig. 51).

Di seguito vengono riportati le descrizioni di ogni sito di campionamento della Società Agricola Montana Valle del Senio e i relativi profili pedologici. Per i siti MVS2 e MVS 4 si sono eseguite anche le analisi di bulk density a diverse profondità nei primi 30 cm di terreno.

Sito MVS1



Figura 44. Foto dell'area circostante al profilo MVS1.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T UTM 709640.01 mE
4900711.29 mN

Quota: 272 m s.l.m.

Pendenza: 18%

Esposizione: 98° N

Morfologia: versante ondulato in erosione
(antica scarpata fluviale)

Pietrosità: 5% - **Rocciosità:** assente

Litologia: Formazione Marnoso Arenacea
membro di Castel del Rio Alternanze tra livelli
lapidei (arenarie cementate, calcareniti,
calcilutiti) e livelli pelitici

Uso del suolo/Vegetazione: Bosco misto rado
con prevalenza di roverella ed acero.



Figura 45. Profilo di suolo MVS1.

DATI PROFILO

Oi (5 –0 cm): Lettiera costituita da foglie di acero, quercia e bacche di prugnolo.

A (0 –2 cm): Colore bruno (7.5 YR 4/3) umido e bruno intenso (7.5YR 5/6) secco. Scheletro assente. Struttura poliedrica sub angolare fine con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici scarse le fini e le molto fini. Abbondante presenza di lombrichi e tunnel scavati da essi. Limite inferiore chiaro e lineare.

AB (2 –9 cm): Colore bruno (7.5 YR 4/4) umido e bruno intenso (7,5YR 5/8) secco. Scheletro assente. Struttura poliedrica sub-angolare fine con moderato grado di aggregazione. Non adesivo, non plastico. Radici comuni le medie e abbondanti le fini, molto scarse le molto fini. Abbondante presenza di lombrichi e tunnel scavati da essi. Limite inferiore chiaro, lineare.

Bw1(9 –19 cm): Colore bruno intenso (7.5 YR 4/6) umido e bruno chiaro (7.5YR 6/4) secco. Scheletro assente. Struttura poliedrica angolare media con debole grado di aggregazione -Poco adesivo e non plastico. Radici abbondanti le fini e le molto fini, comuni le medie. Abbondante presenza di tunnel scavati da lombrichi. Limite inferiore abrupto, lineare.

Bw2 (19 –26 cm): Colore bruno intenso (7.5YR 5/6) umido e bruno chiaro (7.5YR 6/4) secco. Scheletro 5% di dimensioni di fino a 2 cm. Struttura poliedrica sub angolare fine con moderato grado di aggregazione. Poco adesivo, non plastico. Radici molto abbondanti le fini e le molto fini, comuni le medie. Limite inferiore abrupto, lineare.

BC1 (26 –39 cm): Colore bruno giallastro (10YR 5/6) umido e giallo brunastro (10YR 6/6) secco - Scheletro 10% di dimensioni fino a 3 cm. Struttura poliedrica sub angolare media con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici molto scarse le fini e le molto fini, scarse le medie; presente una radice di diametro di 5 cm. Limite inferiore chiaro, lineare.

BC2 (39 –77+ cm): Colore bruno giallastro (10YR 5/8) umido e bruno giallastro chiaro (10YR 6/4) secco. Scheletro 40% di dimensioni fino a 10 cm - Struttura poliedrica sub angolare media con debole grado di aggregazione. Radici molto scarse le fini e le medie. Limite inferiore sconosciuto.

Sito MVS2



Figura 46. Foto dell'area circostante al profilo MVS2.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32 T 709652 22 mE
4900699 24 mN

Quota: 253 m s.l.m - **Pendenza 3%**

Esposizione: 95°N

Morfologia: Pendio lieve su residuo di struttura terrazzata antica

Litologia: Formazione Marnoso Arenacea - membro di Castel del Rio. Alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti) e livelli pelitici

Uso del suolo/Vegetazione: Bosco misto rado a roverella e conifere.



Figura 47. Profilo di suolo MVS2.

DATI PROFILO

Oi (0.5-0 cm): Discontinuo formato da foglie di cerro e aghi di conifere.

Oe (0-2.5 cm): Materiale organico emialterato (aghi, muschi). Colore bruno scuro (10YR 3/3). Radici comuni fini e molto fini. Limite inferiore abrupto lineare

A1 (2.5-8 cm): Colore bruno scuro (10YR 3/3) umido e bruno giallastro scuro (10YR 3/4) secco. Tessitura sabbioso limosa. Scheletro assente Struttura poliedrica sub angolare fine e media con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici comuni le fini, scarse le medie e le molto fini. Limite inferiore abrupto lineare.

A2 (8-12/16 cm): Colore bruno oliva scuro (2.5Y 3/3) umido e bruno oliva (2.5Y 4/4) secco. Scheletro 2% piccolo (millimetrico) alterato. Struttura poliedrica sub angolare fine con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Frammenti di gasteropodi pochi e piccoli. Radici scarse fini e molto fini. Limite inferiore chiaro ondulato.

AB (12/16-20 cm): Colore bruno giallastro scuro (10YR 3/4) umido e bruno giallastro (10YR 5/4) secco. Scheletro comune lamellare alterato. Struttura poliedrica sub angolare media grado di aggregazione da moderato a forte. Non adesivo e non plastico. Pochi noduletti nei pori a forte effervescenza. Conchiglie poche e piccole intere o frammentate. Radici comuni le medie, scarse le fini e le molto fini. Limite inferiore chiaro lineare.

BC1 (20-35/40 cm): Colore bruno scuro (10YR 3/3) umido e bruno (10YR 5/3) secco. Scheletro comune da molto piccolo a 2 cm lamellare moderatamente alterato. Struttura poliedrica subangolare fine con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e

non plastico. Cristalli millimetrici micacei effervescenza. Frammenti di gasteropodi pochi e molto piccoli. Radici scarse legnose medie che aumentano verso il limite inferiore. Limite inferiore chiaro ondulato.

BC2 (35/40-55 cm): Colore bruno (10YR 5/3) umido e bruno giallastro (10YR 5/4) secco. Scheletro assente Struttura poliedrica angolare fine (< 1 cm) e media (fino a 1.5 cm) con forte grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Gusci di gasteropodi piccoli (<0.5 cm) pochi. Radici assenti. Limite inferiore chiaro lineare.

Ab[^] (55-65+): Colore bruno (10YR 5/3) umido e bruno giallastro (10YR 5/4) secco. Scheletro assente Struttura poliedrica angolare media (da 1.5 a 2 cm) con forte grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Frammenti di lamellibranchi (0.5 1 cm) comuni. Carboni comuni Frammenti di laterizio. Radici assenti. Limite inferiore sconosciuto.

Tabella 21 Valori di bulk density per il profilo MVS2

Bulk density	
0-5 cm	1.03 g/cm ³
5-10 cm	1.26 g/cm ³
10-15 cm	1.51 g/cm ³
15-30 cm	1.25 g/cm ³
30-60 cm	1.45 g/cm ³

Sito MVS3



Figura 48. Foto dell'area circostante al profilo MVS3.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 709628 35 mE 4900671 51 mN

Quota: 269 m s.l.m **Pendenza:** 22%

Esposizione: 158°N

Morfologia: Versante acclive scarsamente eroso (antica scarpata fluviale)

Pietrosità: 5% - **Rocciosità:** assente

Litologia: Formazione Marnoso Arenacea membro di Castel del Rio Alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti calcilutiti) e livelli pelitici

Uso del suolo/Vegetazione: Bosco misto rado con prevalenza di cipresso e secondariamente roverella e pioppo.



Figura 49. Profilo di suolo MVS3.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (1.5-0 cm): Lettieria indecomposta formata prevalentemente da aghi di cipresso (90%) foglie di riverella e pioppo.

Oe (0-3/4 cm): Materiale organico emialterato (muschi). Colore nero (10 YR 2/1). Nell'interfaccia Oi/ Oe presenza di micelio fungino. Limite inferiore chiaro lineare.

A (3/4-14 cm): Colore bruno grigiastro scuro (10YR 4/2) umido e bruno (10YR 4/3) secco. Scheletro assente. Struttura granulare con aggregati da 1 a 5 mm e con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Radici 3% le fini e 1% le medie. Attività di lombrichi. Limite inferiore abrupto lineare.

AB (14-28/34 cm): Colore bruno oliva (2.5Y 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) secco. Scheletro scarso circa 1 cm alterato. Struttura poliedrica sub angolare con aggregati da 3 mm a 3 cm e con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Frammenti di conchiglie pochi e millimetrici. Radici 3% le fini, 2% le medie. Limite inferiore chiaro ondulato.

2C (28/34-37 cm): Colore bruno oliva chiaro (2.5Y 5/3) umido e bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/4) secco. Sabbioso. Scheletro costituito da frammenti litoidi alterati. Struttura poliedrica angolare con aggregati da 0.5 a 1.5 cm e con grado di aggregazione debole. Non adesivo e non plastico. Radici assenti. Limite inferiore abrupto lineare.

3Bck (37-49 cm): Colore bruno oliva (2.5Y 4/3) umido e bruno oliva chiaro (2.5Y 5/4) secco. Scheletro assente. Struttura lamellare con aggregati da 1 a 1.5 cm e con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico. Carbonati che riempiono i pori 7%. Radici 7% inferiori a 1 cm con presenza individuale superiore a 1 cm. Limite inferiore abrupto lineare.

3Ck (49-68 cm). Colore bruno pallido (2.5Y 7/3) umido e (2.5Y 8/4) secco. Scheletro scarso fino a 5 cm in alterazione. Struttura lamellare con aggregati da 2 mm a 1 cm e con debole grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico- Carbonati concentrati nella parte alta dell'orizzonte 7%. Radici a 3 a 5% inferiori ai 3 mm con andamento sub orizzontale. Limite inferiore abrupto lineare.

Cr (68+ cm)

Sito MVS4



Figura 50. Foto dell'area circostante al profilo MVS4.

DATI STAZIONE

Coordinate: UTM 32T 709638.12 mE
4900661.96 mN

Quota: 251 m s.l.m - **Pendenza:** 3%

Esposizione: 131°N

Morfologia: Pendio lieve su residuo di struttura terrazzata antica

Litologia: Formazione Marnoso Arenacea membro di Castel del Rio Alternanze tra livelli lapidei (arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti) e livelli pelitici

Uso del suolo/Vegetazione:

Bosco rado di roverella e cerro.



Figura 51. Profilo di suolo MVS4.

DESCRIZIONE PROFILO

Oi (1-0 cm): Lettieria discontinua composta da foglie e ghiande di quercia

A (0-5 cm): Colore bruno grigiastro molto scuro (10YR 3/2) umido e bruno giallastro scuro (10YR 4/4) secco. Scheletro assente. Struttura grumosa fine con moderato grado di aggregazione. Non adesivo e non plastico Radici comuni le fini, abbondanti le molto fini Limite inferiore abrupto, lineare

AB (5-12 cm): Colore bruno scuro (10YR 3/3) umido e bruno giallastro scuro (10YR 4/4) secco. Scheletro assente. Struttura poliedrica sub angolare fine con debole grado di aggregazione Non adesivo e non plastico. Radici abbondanti le fini e le molto fini, comuni le medie. Limite inferiore abrupto, lineare.

Bw1 (12-22 cm): Colore bruno giallastro scuro (10YR 4/4) umido e bruno giallastro (10YR 5/6) secco. Scheletro 10% di dimensioni di 1 cm. Struttura poliedrica angolare media con debole grado di aggregazione. Poco adesivo e non plastico. Radici comuni le fini, scarse le medie, molto scarse le molto fini. Limite inferiore chiaro lineare.

Bw2 (22-36.5 cm): Colore bruno (10YR 4/3) e bruno giallastro (10YR 5/6) secco. Scheletro 10% moderatamente alterato e di dimensioni di 1 cm. Struttura poliedrica angolare media con debole grado di aggregazione. Poco adesivo e non plastico. Radici scarse le medie e le fini, molto scarse le molto fini. Limite inferiore chiaro e lineare.

BC1 (36.5-48 cm): Colore bruno oliva (2.5YR 4/4) umido e bruno oliva chiaro (2.5YR 5/6) secco. Scheletro 20% moderatamente alterato e di

dimensioni fino a 4 cm. Struttura poliedrica angolare media con grado di aggregazione molto debole Non adesivo e non plastico. Radici comuni le medie, scarse le fini. Limite abrupto e lineare.

BC2 (48-59 cm): Colore bruno oliva chiaro (2.5YR 5/3) umido e giallo oliva (2.5YR 6/8) secco. Scheletro 30% di dimensioni fino a 10 cm, scarsamente alterato. Struttura poliedrica angolare media con grado di aggregazione molto debole. Radici scarse le medie, molto scarse le fini Limite inferiore sconosciuto.

Tabella 22. Valori di bulk density per il profilo MVS4

Bulk density	
0-5 cm	1.32 g/cm ³
5-10 cm	1.44 g/cm ³
10-15 cm	1.50 g/cm ³
15-30 cm	1.54 g/cm ³
30-60 cm	1.46 g/cm ³

5.3.2 Indagine sulla qualità dei suoli

In ogni sito della Società Agricola Montana Valle del Senio si sono eseguiti i seguenti campionamenti in ogni orizzonte genetico espresso dai suoli e un campionamento dei livelli superficiali di suolo in base alla profondità (0-15 e 15-30 cm), ovvero quelli più interessati da pratiche agricole. I suoli sono stati classificati come Typic Haplustepts.

Per ogni profilo della Società Agricola Montana Valle del Senio, le proprietà chimicofisiche dei campioni raccolti negli orizzonti pedogenetici e negli orizzonti a profondità fissa sono presentati rispettivamente nelle Tabelle 23 e 24.

Tabella 23. Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti dei profili dell'Azienda Beghelli.

Profilo	Oriz.	Profondità	pH	EC	CaCO ₃	Sabbia	Limo	Argilla	TOC	TIC	TC	TN
		cm		μS/cm	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
MVS1	Oi	5-0							424.7			
	A	0-2	7.8	300	104	529	437	34	42.5 ±1.4	21.6 ±0.5	64.1 ±1.0	2.9 ±0.2
	AB	2-9	7.9	208	127	392	494	114	20.4 ±0.2	22.7 ±0.1	43.2 ±0.1	1.7 ±0.3
	Bw1	9-19	7.9	185	135	314	534	152	10.0 ±0.3	23.6 ±0.0	33.6 ±0.3	0.8 ±0.1
	Bw2	19-26	7.9	167	133	446	455	99	6.6 ±0.4	22.4 ±0.0	29.0 ±0.4	0.6 ±0.0
	BC1	26-39	7.9	152	135	417	458	125	4.6 ±0.4	23.4 ±0.3	28.1 ±0.4	0.5 ±0.0
	BC2	39-77	7.9	143	143	378	474	148	3.4 ±0.1	24.6 ±0.4	28.0 ±0.3	0.4 ±0.0
MVS2	Oi	0.5-0							527.7			
	Oe	0-2.5	7.3	453	67	517	445	37	69.2 ±0.9	14.7 ±0.2	83.9 ±1.1	3.0 ±1.0

	A1	2.5-8	7.8	213	104	440	468	92	22.0 ± 0.2	20.5 ± 0.2	42.5 ± 0.1	2.0 ± 0.1
	A2	8-12/16	7.9	198	115	453	429	118	10.7 ± 0.3	20.9 ± 0.6	31.6 ± 0.5	1.2 ± 0.1
	AB	12/16-20	8.0	168	121	590	375	35	8.6 ± 0.3	22.2 ± 0.0	30.8 ± 0.2	0.9 ± 0.0
	BC1	20-35/40	7.9	161	122	591	389	20	7.6 ± 0.1	21.6 ± 0.1	29.2 ± 0.1	0.9 ± 0.1
	BC2	35/40-55	7.9	147	107	376	466	158	6.0 ± 0.2	18.3 ± 0.1	24.3 ± 0.2	0.6 ± 0.1
	Ab^	55-65+	7.9	141	118				5.9 ± 0.3	19.5 ± 0.0	25.4 ± 0.3	0.6 ± 0.0
MVS3	Oi	1.5-0							472.0			
	Oe	0-3/4							163.7			
	A	3/4-14	7.6	391	89	745	253	2	87.4 ± 4.1	17.2 ± 1.5	104.6 ± 2.9	1.9 ± 0.4
	AB	14-28/34	7.8	196	129	717	232	51	15.3 ± 0.3	23.4 ± 0.3	38.7 ± 0.5	1.3 ± 0.1
	2C	28/34-37	8.0	123	71	976	22	2	1.9 ± 0.2	14.4 ± 0.3	16.3 ± 0.3	0.1 ± 0.0
	3BCk	37-49	7.9	223	280	179	569	252	5.6 ± 0.3	43.7 ± 0.3	49.3 ± 0.2	0.5 ± 0.0
	3Ck	49-68	8.0	150	316	141	736	123	3.9 ± 0.1	50.1 ± 0.2	54.0 ± 0.2	0.3 ± 0.0
Cr	68+											
MVS4	Oi	1-0							499.4			
	A	0-5	7.7	188	90	643	353	5	28.0 ± 0.4	19.2 ± 0.2	47.2 ± 0.5	2.3 ± 0.3
	AB	5-12	7.8	170	108	437	478	85	17.2 ± 0.2	20.6 ± 0.3	37.7 ± 0.5	1.5 ± 0.1
	Bw1	12-22	7.9	131	114	583	335	82	9.8 ± 0.1	21.8 ± 0.3	31.5 ± 0.2	1.1 ± 0.3
	Bw2	22-36.5	7.9	133	123	529	400	71	6.9 ± 0.3	22.6 ± 0.2	29.4 ± 0.1	0.7 ± 0.1
	BC1	36.5-48	7.9	136	135	542	388	70	5.4 ± 1.2	22.8 ± 0.2	28.2 ± 1.0	0.5 ± 0.0
	BC2	48-59+	7.9	136	131	467	435	98	4.2 ± 0.1	22.5 ± 0.1	26.7 ± 0.2	0.5 ± 0.2

EC: conduttività elettrica; TOC: carbonio organico totale; TIC: carbonio inorganico totale; TC: carbonio totale; TN: azoto totale

Dai dati dei contenuti di sabbia, limo e argilla i suoli della Società Cooperativa Montana Valle del Senio sono stati classificati come sabbioso, sabbioso-franco, franco-sabbioso, franco e franco-limoso (Fig. 52).

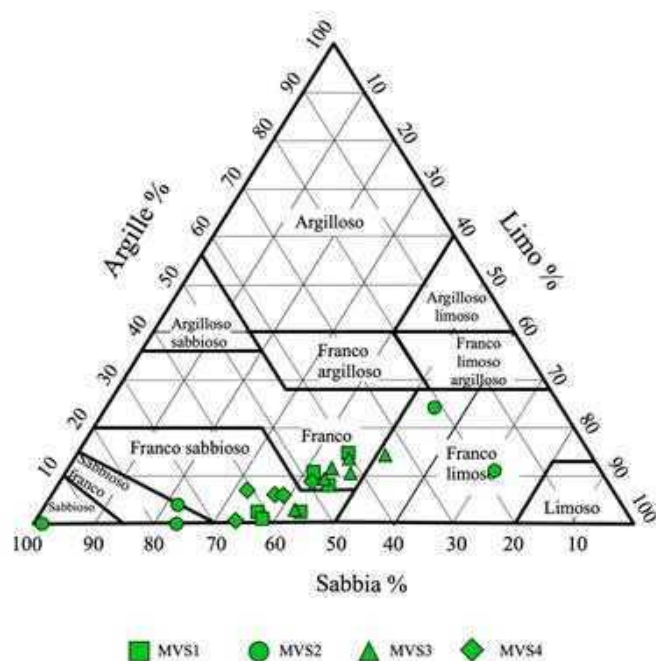


Figura 52. Classificazione dei suoli dei profili della Società Cooperativa Montana Valle del Senio tramite triangolo della tessitura secondo USDA

Tabella 24. Valori medi delle caratteristiche chimicofisiche dei suoli campionati a profondità fissa (0-15 e 15-30 cm) della Società Agricola Montana Valle del Senio.

	Profondità cm	pH	EC μS/cm	CaCO ₃ g/kg
MVS1	0-15	7.7	216	123
	15-30	7.8	221	140
MVS2	0-15	7.7	190	95
	15-30	7.8	160	118
MVS3	0-15	7.7	224	133
	15-30	7.7	187	144
MVS4	0-15	7.7	154	138
	15-30	7.8	151	139

EC: conduttività elettrica

Dalle caratteristiche chimicofisiche dei profili è possibile osservare che i suoli della Società Agricola Montana Valle del Senio presentano valori di pH neutri, con presenza dell'9.5-14% di carbonato di calcio.

In Tabella 25 sono presentati i dati che riguardano il carbonio organico totale (DOC), l'azoto totale (DON), il C e N della biomassa microbica (C_{mic} e N_{mic}), oltre ai dati dell'attività della biomassa microbica stessa, quali la respirazione cumulata a 28 giorni di incubazione ($C-CO_2cum$) e la respirazione basale oraria (RB). Con questi parametri è possibile calcolare alcuni indici di qualità di suoli (qCO_2 , qM , $qMIC$) riconosciuti a livello internazionale. I valori dell'indicatore di fertilità del suolo sono nella media, mentre c'è una buona efficienza nel metabolismo energetico della sostanza organica. Gli indici di fertilità biologica (IBF) e di Dilly evidenziano una classe media dei suoli dell'Azienda a parte il sito MSV2 che mostra difficoltà metaboliche.

Tabella 25. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto: Carbonio organico disciolto (DOC), azoto organico disciolto (DN), Carbonio microbico (Cmic), azoto microbico (Nmic), respirazione basale del suolo (SBR), respirazione cumulata (Rcum) e indicatori di qualità del suolo: quoziente metabolico (qCO₂), quoziente microbico (qMIC), indice di biofertilità (IBF) e indice Dilly.

	Profondità	DOC	DN	C _{mic}	N _{mic}	SBR	R _{cum}
	cm	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg C-CO ₂ kg s.s. ⁻¹ h ⁻¹	mg C-CO ₂ g s.s. ⁻¹
MVS1	0-15	422.3	43.5	267.2	48.1	2.4	0.8
	15-30	218.4	18.2	123.0	17.4	1.5	0.5
MVS2	0-15	515.4	54.7	424.6	56.8	1.3	0.4
	15-30	144.2	16.6	38.8	4.0	2.3	0.7
MVS3	0-15	2185.1	123.1	1392.5	54.7	3.9	1.4
	15-30	394.7	21.4	230.0	30.4	1.8	0.6
MVS4	0-15	404.9	32.6	251.3	31.6	1.2	0.4
MVS1	15-30	143.4	18.2	73.5	12.0	0.9	0.3
	Profondità	C _{mic} / N _{mic}	qCO ₂	qM	qMIC	IBF	Dilly
	cm		µg 10 ³ /h/µgC _{mic}	%	%		
MVS1	0-15	5.6	0.9	3.7	1.3	11	112
	15-30	7.1	1.2	4.2	1.1	9	192
MVS2	0-15	7.5	0.3	1.4	1.7	8	286
	15-30	9.7	6.0	6.4	0.3	6	984
MVS3	0-15	25.5	0.3	7.0	7.1	12	65
	15-30	7.6	0.8	4.5	1.8	10	132
MVS4	0-15	8.0	0.5	2.4	1.5	12	65
	15-30	6.1	1.4	3.3	0.8	10	132

Nella Figura 53 viene riportato il risultato ottenuto tra i parametri della biomassa microbica (Cmic e Nmic) e delle frazioni labili (DOC e DN) nei due anni di campionamento e non si notano differenze significative, anche evidenziate da una variabilità dovuta alla diversità qualitativa dei suoli dell'Azienda.

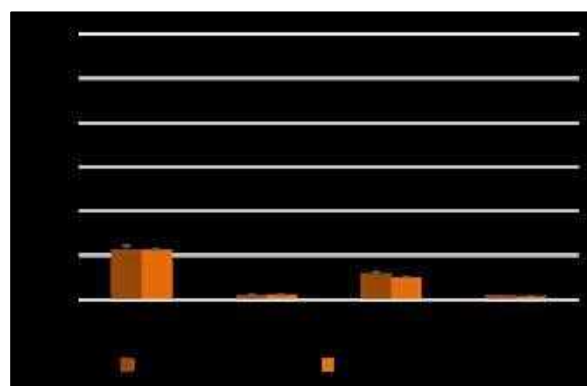
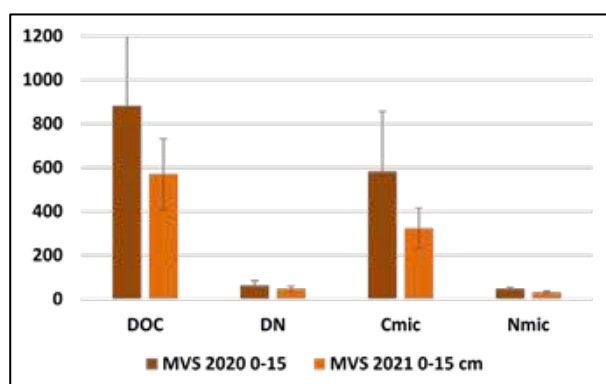


Figura 53. Frazioni labili (DOC e DN) e biomassa microbica (Cmic e Nmic), espressi in mg/kg nei due anni di campionamento 2020 e 2021.

In Tabella 26 sono riportati i dati di C e degli isotopi stabili $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ delle frazioni umiche. Si evidenzia che la frazione POM non è stata estratta in nessuna azienda, sottolineando le difficoltà dei suoli a sequestrare C.

Tabella 26. Percentuale di C delle diverse frazioni, e isotopi stabili del C e di N.

	0-15 cm			15-30 cm		
	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)	C (%)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{15}\text{N}$ (‰)
Umina	14.28			3.98		
HA	3.03	-27.30	0.75	0.31	-24.08	5.10
FA	4.41	-25.90	4.26	0.36	-26.05	4.06

Gli spettri FTIR sono molto simili tra loro e indicano una buona presenza di legami aromatici che rendono stabili le sostanze organiche (Figura 54), mentre in Tabella 27 sono portate le percentuali dei gruppi selezionati. Anche nei suoli della Società Cooperativa Montana Valle del Senio si evidenzia il ruolo degli orizzonti Bw nel sequestro di C e quindi di approfondimento della sostanza organica principalmente con la formazione di composti aromatici.

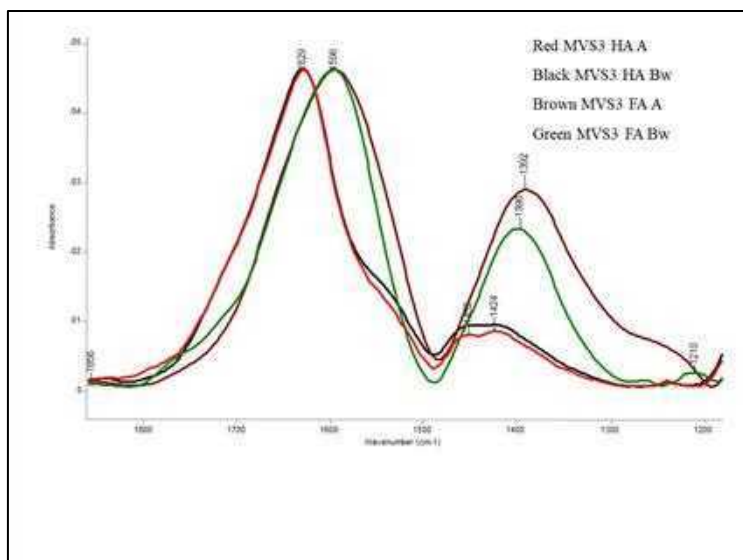


Figura 54. Spettri FTIR delle frazioni degli acidi umici (HA) e degli acidi fulvici (FA)

Tabella 27. Percentuali derivate dall'integrazione dei picchi scelto per rappresentere la labilità intermedia delle frazioni umiche.

MVS3	Bande FTIR	Picco	HA A %	HA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	55.9	58.3
	Frazione aromatica di media labilità	1530	9,0	13.9
MVS3	Bande FTIR	Picco	FA A %	FA Bw %
	Integrazione 1660-1580 C=C aromatico, labilità intermedia	1620	25.1	31.2
	Frazione aromatica di media labilità	1530	42.8	35.5

5.3.3 Respirazione eterotrofa del suolo

In Tabella 28 sono presentati i dati della respirazione eterotrofa del suolo durante il periodo estivo nel 2021. I dati delle campagne di giugno, luglio e agosto evidenziano una respirazione più accentuata a giugno per la ripresa vegetativa, mentre più bassi per i mesi di luglio e agosto data la maggiore temperatura del suolo e la minore umidità

Tabella 28. Misura della respirazione eterotrofa del suolo durante il periodo estivo nel 2021 presso la Società Cooperativa Montana Valle del Senio.

Flusso di CO₂ g/m²	Mese
1.20	Giugno
0.62	Luglio
0.56	Agosto

5.4. Valutazione del C nelle foglie e nei rami

Nella Tabella 29 sono riportati i valori di C e N e dei principali elementi nutritivi stoccati nelle foglie e nei rami che giungono al suolo e alimentano i diversi cicli biogeochimici.

Nella Tabella 30 sono riportati i rapporti tra i tre cicli biogeochimici e nutrienti importanti per il bosco C/N, C/P e N/P. I valori sono tipici dei boschi riportati anche in letteratura, da segnalare il ruolo importante delle foglie di castagno nella nutrizione delle piante stesse e valori molto alti del rapporto C/N nel legno delle diverse specie.

Tabella 29. Elementi determinati nelle foglie e nel legno delle diverse aziende.

	TN	TOC	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{15}\text{N}$	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	Na	P	S
	g/kg	g/kg	‰	‰	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg
Azienda BRA													
rami roverella	8.9	434.1	-29.6	-0.3	0.1	14.2	0.1	4.3	1.6	0.1	0.2	0.5	0.5
foglie roverella	20.5	450.7	-29.6	-0.9	0.2	12.1	0.2	5.4	2.1	0.1	0.2	0.9	1.1
Azienda BEG													
rami castagno	6.4	434.7	-29.2	-2.1	0.1	28.7	0.1	5.1	1.1	0.5	0.2	0.7	0.4
foglie castagno	17.8	447.3	-31.0	-4.6	0.1	14.0	0.1	7.0	1.8	0.8	0.2	2.0	0.9
Azienda Erbe Officinali													
rami cipresso	3.8	435.3	-28.8	-3.8	0.8	27.6	0.9	4.0	1.2	0.0	0.3	0.4	0.5
foglie cipresso	5.9	447.3	-29.8	-7.4	0.3	28.5	0.2	3.9	1.5	0.0	0.4	0.5	0.8

Tabella 30. Rapporti tra il C e gli altri elementi nutritivi nelle foglie e nel legno.

	C/N	C/P	N/P
Azienda BRA			
rami roverella	48.7	835.5	17.1
foglie roverella	22.0	491.6	22.4
Azienda BEG			
rami castagno	68.2	621.1	9.1
foglie castagno	25.2	220.5	8.8
Azienda Erbe			
rami cipresso	113.4	1102.2	9.7
foglie cipresso	76.4	950.0	12.4

6) Attività forestali eseguite nelle Aziende

6.1 Attività forestali eseguite presso l'Azienda Branchicciolo

Nella foresta mista di castagni, querce, carpini e noce in esame dell'Azienda Branchicciolo si è eseguito un'attività di ripulitura di piante infestanti e piante secche e deperienti fra Aprile e Settembre. La quantità di legname asportato dall'area investigata è pari a 280 m³ (Fig. 55).



Figura 55. Attività selvicolturali con asportazione di legname nell'Azienda Branchicciolo

6.2 Attività forestali eseguite presso l'Azienda Beghelli

Nel castagneto in esame dell'Azienda Beghelli si è eseguito un'attività di ripulitura di sottobosco, piante di scarse qualità, piante basse, piante infestanti e piante secche e deperienti fra Aprile e Ottobre. La quantità di legname asportato di castagno dall'area investigata è pari a 40 m³ (Fig. 56).



Figura 56. Attività selvicolturali con asportazione di legname nell'Azienda Beghelli

6.3 Attività forestali eseguite presso la Società Agricola Montana Valle del Senio

Presso l'area campionata della Società Agricola Montana Valle del Senio solo stati eseguiti lavori di trinciatura delle potature a Febbraio di ogni anno e trinciatura dell'erba lasciando il materiale sul posto. La trinciatura delle potature si è svolta a febbraio mentre la trinciatura dell'erba con cadenza circa mensile iniziando ad aprile e terminandola in ottobre (Fig. 57).



Figura 57. Attività selvicolturali con asportazione di legname nella Società Agricola Montana Valle del Senio.

7) Stime del Carbonio perso in atmosfera con le attività di selvicoltura

La carbon footprint è una misura che esprime in CO₂ equivalente (CO₂e) il totale delle emissioni di gas ad effetto serra associate direttamente o indirettamente ad un prodotto, un'organizzazione o un servizio.

Per il progetto SuoBo si è eseguita una stima del carbonio perso in atmosfera grazie attività selvicolturali svolte in un anno nelle due aree boschive indagate nelle aziende agricole Branchicciolo e Beghelli. Nel bosco dell'Azienda agricola Branchicciolo le attività di ripulitura sono state poco invasive, eliminando le infestanti e piante secche e deperienti, si stima che sia stato asportato il 25% di materiale forestale, ovvero 280 m³ di legname è stato asportato e rimosso dal sito. Mentre nel castagneto dell'Azienda agricola Beghelli, si sono asportate 40m³ di legname.

In Tabella 31 si è eseguita una stima della quantità di C perso in seguito al taglio e all'asportazione delle parti vegetali dai boschi delle due aziende considerate in seguito alle rispettive operazioni selvicolturali.

La quantità di C perso con l'asportazione delle porzioni vegetali è stata calcolata come segue:

$$C \text{ (t/m}^3\text{)} = \text{legname asportato (m}^3\text{)} \times ps \text{ (t/m}^3\text{)} \times \text{TOC}_{\text{rami}} \text{ (wt\%)}$$

dove: C è la quantità di carbonio persa in seguito alle pratiche selvicolturali, ps è il peso specifico che è stato approssimato a 1 t/m³ considerando le diverse specie arboree, TOC_{rami} è la quantità di materiale di carbonio organico presente nei rami dei boschi considerati (Tabella 29).

Le piante sono in grado di immagazzinare carbonio dall'atmosfera tramite la fotosintesi clorofilliana e, tramite la loro decomposizione, di sequestrarlo sottoforma di materia organica nei suoli. L'asportazione e la rimozione dal sito di tale materiale ha un impatto sul clima, sottoforma di emissioni di gas a effetto serra. Pertanto, si è fatta anche una stima della quantità di CO₂ equivalente perso con l'asportazione delle porzioni vegetali:

$$\text{CO}_2\text{e (t/m}^3\text{)} = C \text{ (t/m}^3\text{)} \times 44/12$$

dove: CO₂e è la quantità di CO₂ equivalente, C è la quantità di carbonio persa in seguito alle pratiche selvicolturali

Tabella 31. Stima della quantità di carbonio perso e della CO₂ equivalente in seguito all'asportazione di materiale vegetale dai boschi delle Aziende agricole.

Azienda Agricola	legname asportato (m ³)	peso specifico (t/m ³)	TOC _{rami} (wt%)	C perso (t/m ³)	CO ₂ e emessa (t/m ³)
Branchicciolo	280	1.00	0.43	120	441
Beghelli	40	1.00	0.43	17	63

L'Azienda agricola Branchicciolo ha perso più C grazie all'asportazione del materiale vegetale, rispetto all'Azienda agricola Beghelli. Di conseguenza anche l'emissione di CO₂e è maggiore nella prima azienda rispetto alla seconda. Pertanto, si consiglia all'Azienda agricola Branchicciolo di limitare le lavorazioni, asportazione meno materiale vegetativo dal sito.

8) Speciazione di C e N nel suolo

All'interno del suolo il C è presente in due frazioni: una inorganica (IC), legata alle fasi mineralogiche (carbonati) e una organica (OC), contenuta nella SOM. L'analisi elementare e isotopica dei pool di carbonio (inorganico e organico) è di fondamentale importanza per lo studio della fertilità dei suoli, del turnover della materia organica, della funzionalità ecologica e, più in generale, per una completa caratterizzazione del suolo.

Nel progetto SuoBo, per discriminare il carbonio inorganico da quello organico si è seguito il protocollo analitico di Natali e Bianchini (2015) e Natali et al. (2018), mediante un sistema EA-IRMS (Elementar Analyzer-Isotope Ratio Mass Spectrometer). Questa coppia di strumenti permette di determinare nel campione analizzato:

- (1) il contenuto elementare di C in percentuale peso (wt%)
- (2) la rispettiva composizione isotopica (¹³C/¹²C) espressa come “δ¹³C”, ovvero la differenza in permille (‰) del rapporto isotopico del campione rispetto ad uno standard di riferimento (il rapporto isotopico di C contenuto nel guscio della *Belemnitella americana*, un fossile marino di una nota formazione del Sud Carolina, USA). Il δ¹³C viene calcolato mediante la formula seguente:

$$\delta(\text{‰}) = \frac{(R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

Con:

R_{campione} = rapporto isotopico ¹³C/¹²C del campione

R_{standard} = rapporto isotopico ¹³C/¹²C dello standard di riferimento
(¹³C/¹²C di Pee Dee Belemnite = 0.0112372)

Lo studio dei rapporti isotopici permette di comprendere la natura e l'evoluzione delle sorgenti delle frazioni di carbonio dei suoli, dato che nelle diverse matrici ambientali essi sono influenzati da fattori antropici e naturali. Infatti, la firma isotopica di un suolo può variare in base alle percentuali di carbonio organico e carbonio inorganico e, ovviamente, essere influenzata dal tipo di coltivazione in atto (di firma isotopica caratteristica).

Riassumendo, attraverso il protocollo analitico definito da Natali et al. (2018) è stato possibile quindi discriminare le distinte frazioni di C:

- *Carbonio totale* (TC): rappresenta la quantità di C nel campione analizzato;
- *Carbonio inorganico* (IC): rappresenta la quantità di C legata a sostanze inorganiche, ovvero le fasi mineralogiche (carbonati). Questa frazione presenta valori di $\delta^{13}\text{C}$ relativamente poco negativi e prossimi allo zero (da -5 ‰ a -1 ‰), essendo tale composizione strettamente comparabile allo standard di riferimento;
- *Carbonio organico* (OC): si genera dalla decomposizione di biomassa, pertanto rappresenta la quantità di C legata alla sostanza organica. La sostanza organica è caratterizzata da un $\delta^{13}\text{C}$ molto negativo, poiché durante la fotosintesi, e più in generale durante i processi biochimici degli organismi viventi, l'isotopo ^{12}C , più leggero e abbondante, viene preferenzialmente assorbito rispetto a ^{13}C , più pesante e legato più fortemente alle molecole che lo contengono (processo definito *frazionamento isotopico*). Il frazionamento del carbonio organico è principalmente legato al tipo di pianta che opera la fotosintesi. Le piante terrestri, classificate come C_3 e C_4 , seguono due vie metaboliche differenti (Farquhar et al., 1989; Kohn, 2010; Fry e Sherr, 1989). Entrambe generano sostanza organica caratterizzata da valori di $\delta^{13}\text{C}$ più negativi rispetto a quello dell'anidride carbonica ($\sim -7\text{‰}$), in quanto durante la fotosintesi la sostanza organica prodotta accumula l'isotopo leggero rispetto a quello pesante. Le piante C_3 , caratteristiche dei climi temperati (es. girasole, cotone, tabacco, frumento, fagiolo, quercia, acero), hanno un valore isotopico compreso fra -23 e -30 ‰ (Kohn, 2010). Mentre le piante C_4 , caratteristiche delle zone tropicali, delle regioni a forte luminosità, secche ed umida (es. mais, canna da zucchero, sorgo) sono caratterizzate da un valore isotopico compreso fra -10 e -14‰ (Cerling et al., 1997).

Con la stessa metodologia è stato possibile determinare i contenuti elementari di N in percentuale peso (wt%) nei campioni e la rispettiva composizione isotopica ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) espressa come “ $\delta^{15}\text{N}$ ” cioè la differenza in permille (‰) del rapporto isotopico del campione rispetto ad uno standard di riferimento (il rapporto isotopico di N contenuto nell'aria).

$$\delta(\text{‰}) = \frac{(R_{\text{campione}} - R_{\text{standard}})}{R_{\text{standard}}} \times 1000$$

Con:

R_{campione} = rapporto isotopico $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ del campione

R_{standard} = rapporto isotopico $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ dello standard di riferimento
($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ di AIR-Azoto dell'aria = 0.007353)

8.1 Speciazione del C e N nel suolo dell'Azienda Branchicciolo

Nel presente paragrafo si è eseguito un confronto fra i campioni di suolo 0-15 cm e 15-30 cm raccolti nei quattro siti dell'Azienda Branchicciolo nel 2020 e nel 2021, a un anno dall'attività di diradamento (Fig. 58). Si osserva una diminuzione di TC, OC, TOC_{400} , ROC e N dal 2020 al 2021, oltre a valori meno negativi di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ in tutti i siti analizzati, sia alle profondità 0-15 cm che 0-30 cm. L'unica eccezione è rappresentata dal topsoil (i.e., 0-15 cm) del sito BRA1 dove si registra un

aumento di TC, OC, TOC₄₀₀ e ROC e valori più negativi di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ dal 2020 al 2021. Il TIC risulta essere in controtendenza dato che aumenta nel tempo in tutti i siti ad eccezione del sito BRA1.

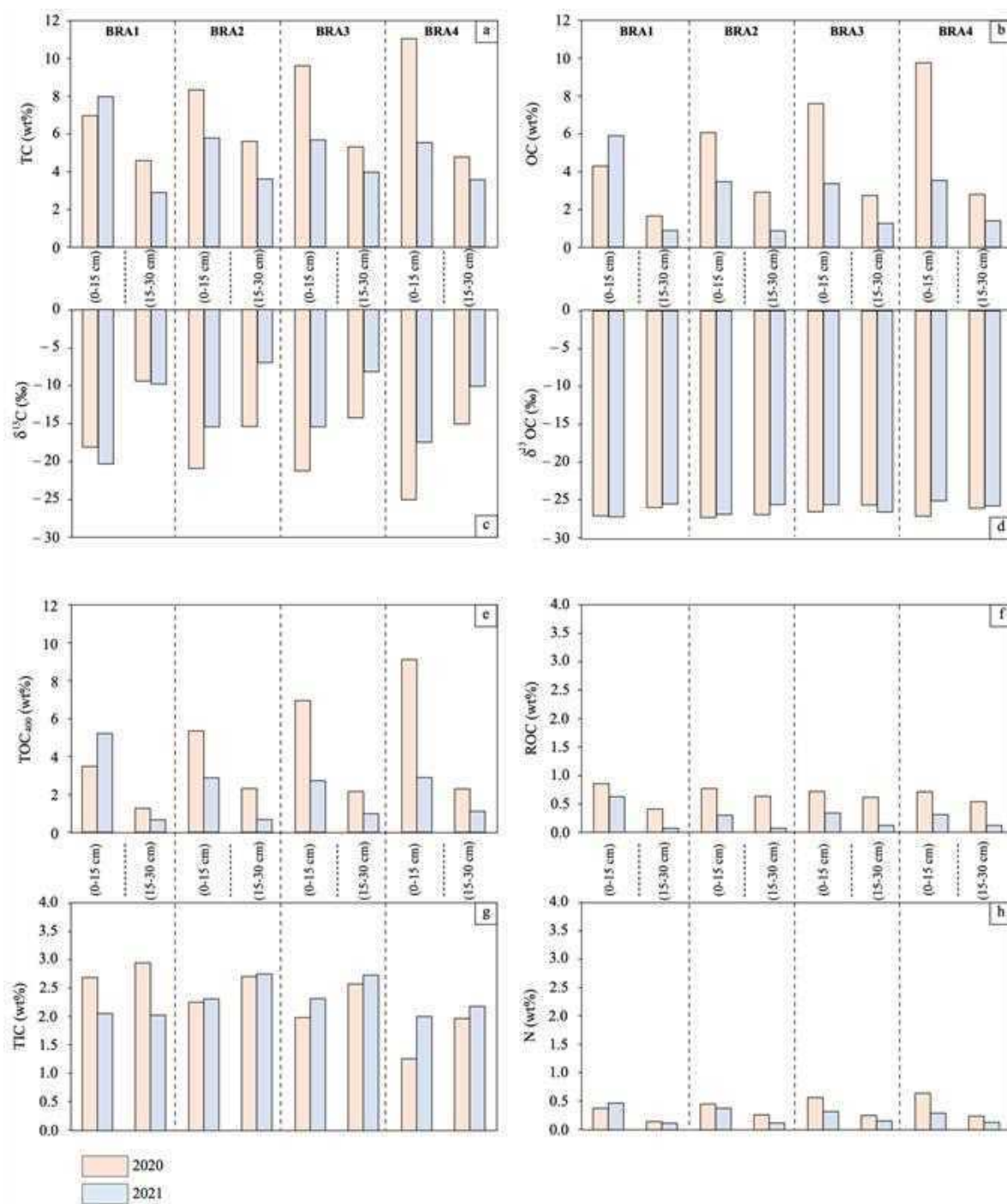


Figura 58. Istogrammi del carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$), organico labile (TOC₄₀₀), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati nei siti investigati presso l'Azienda Agricola Branchicciolo.

Nei grafici successivi (Fig. 59), si sono indicati i range dei contenuti elementari delle specie di C (TC, OC, TOC₄₀₀, ROC e TIC) e di N a 0-15 cm e 15-30 cm nel 2020 e nel 2021. Si evince che in generale in un anno la quantità di C e di N diminuisce dal topsoil al subsoil e i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$

diventano meno negativi. Inoltre, a parità di profondità si osserva un evidente diminuzione di TC, OC, ROC e TOC₄₀₀, oltre a valori isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ meno negativi, dal 2020 al 2021.

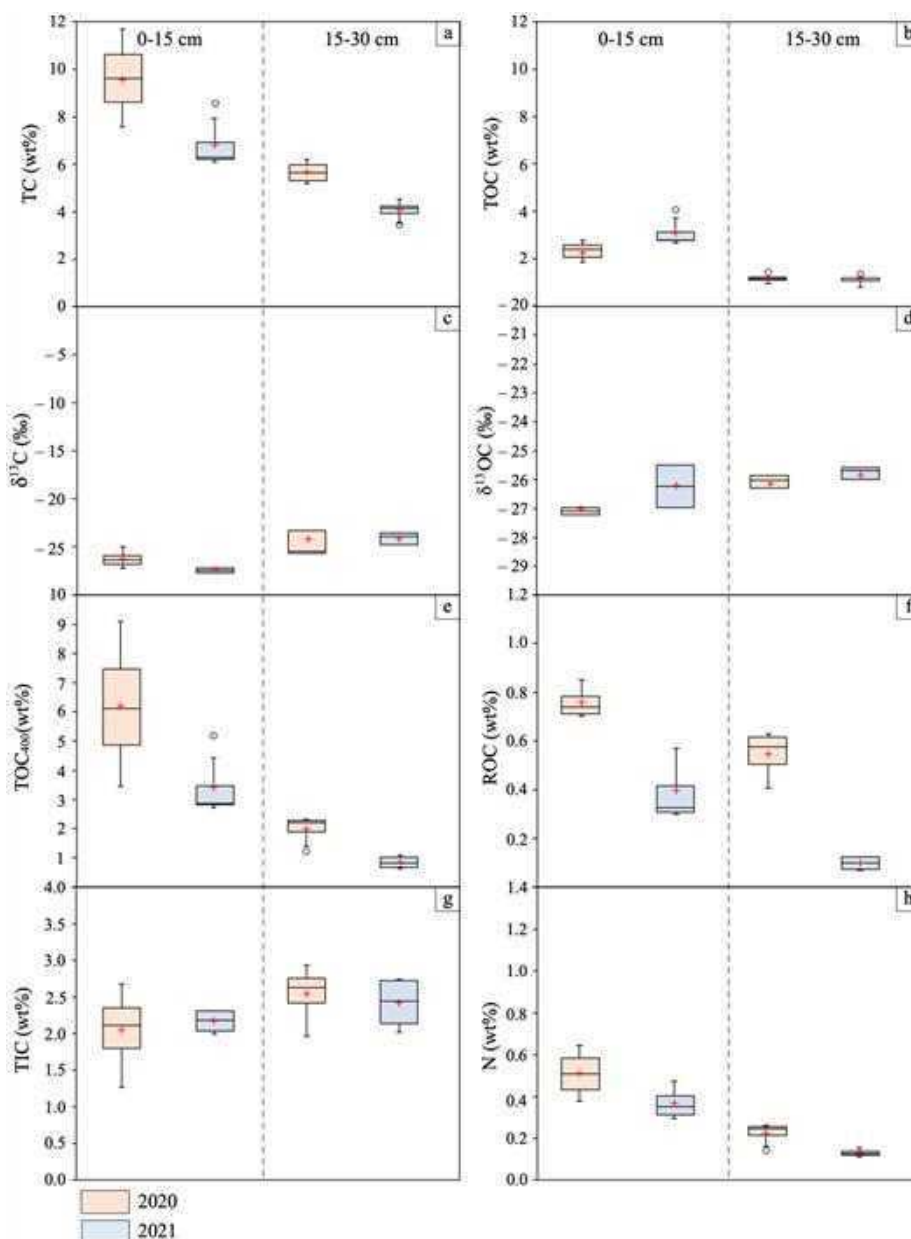


Figura 59. Boxplot dei range di carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{OC}$), organico labile (TOC₄₀₀), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati a 0-15 cm e 15-30 cm presso l'Azienda Agricola Branchicciolo.

Ciò indica che ad eccezione dei suoli nel sito BRA1, i suoli del bosco dell'Azienda Branchicciolo mostra una diminuzione di materia organica dal 2020 al 2021. Ciò può essere dovuto a:

- un effetto dell'erosione del terreno dovuta all'alta pendenza dei suoli del bosco ($>45^\circ$) che ha rimosso gli orizzonti più superficiali emtrasformati. Dal punto di vista geologico, infatti, la zona in cui si trova il bosco dell'Azienda Branchicciolo, si trova in un'area suscettibile a frane;
- un effetto di depauperamento del carbonio a causa del cambiamento climatico, che ha degradato più velocemente la materia organica. L'alta temperatura, infatti, favorisce l'attività della massa microbica nei suoli che degrada la materia organica più velocemente, rilasciando il carbonio più leggero (^{12}C)

in atmosfera. In questo caso i suoli residuali saranno più ricchi nell'isotopo pesante di C (^{13}C) e avranno una firma isotopica in C meno negativa.

Rispetto all'anno 2020, i suoli nel 2021 hanno una firma isotopica meno negativa, dimostrando che è necessario tenere in considerazione l'effetto del cambiamento climatico, oltre all'effetto dell'erosione dei terreni in montagna.

8.2 Speciazione del C e N nel suolo dell'Azienda Beghelli

Nel presente paragrafo si è eseguito un confronto fra i campioni di suolo 0-15 e 15-30 raccolti nei quattro siti dell'Azienda Beghelli nel 2020 e nel 2021, a un anno dall'attività di diradamento (Fig. 60). Si osserva un aumento di TC, OC, TOC_{400} e ROC dal 2020 al 2021, in BEG1, BEG2 (solo 0-15 cm) e BEG3. Solo nel sito BEG4 e nel subsoil del sito BEG 2 si registra una diminuzione di TC, OC, TOC_{400} e ROC dal 2020 al 2021. Il contenuto elementare di TIC aumenta in tutti i siti con il tempo. Il contenuto di azoto aumenta dal 2020 al 2021 tranne nel sito BEG4. Dal punto di vista isotopico, nel 2021 la maggior parte dei campioni presentano valori isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ più negativi e valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ meno negativi rispetto al 2020. Si osserva anche un aumento del contenuto di azoto in tutti i siti, ad eccezione del sito BEG4.

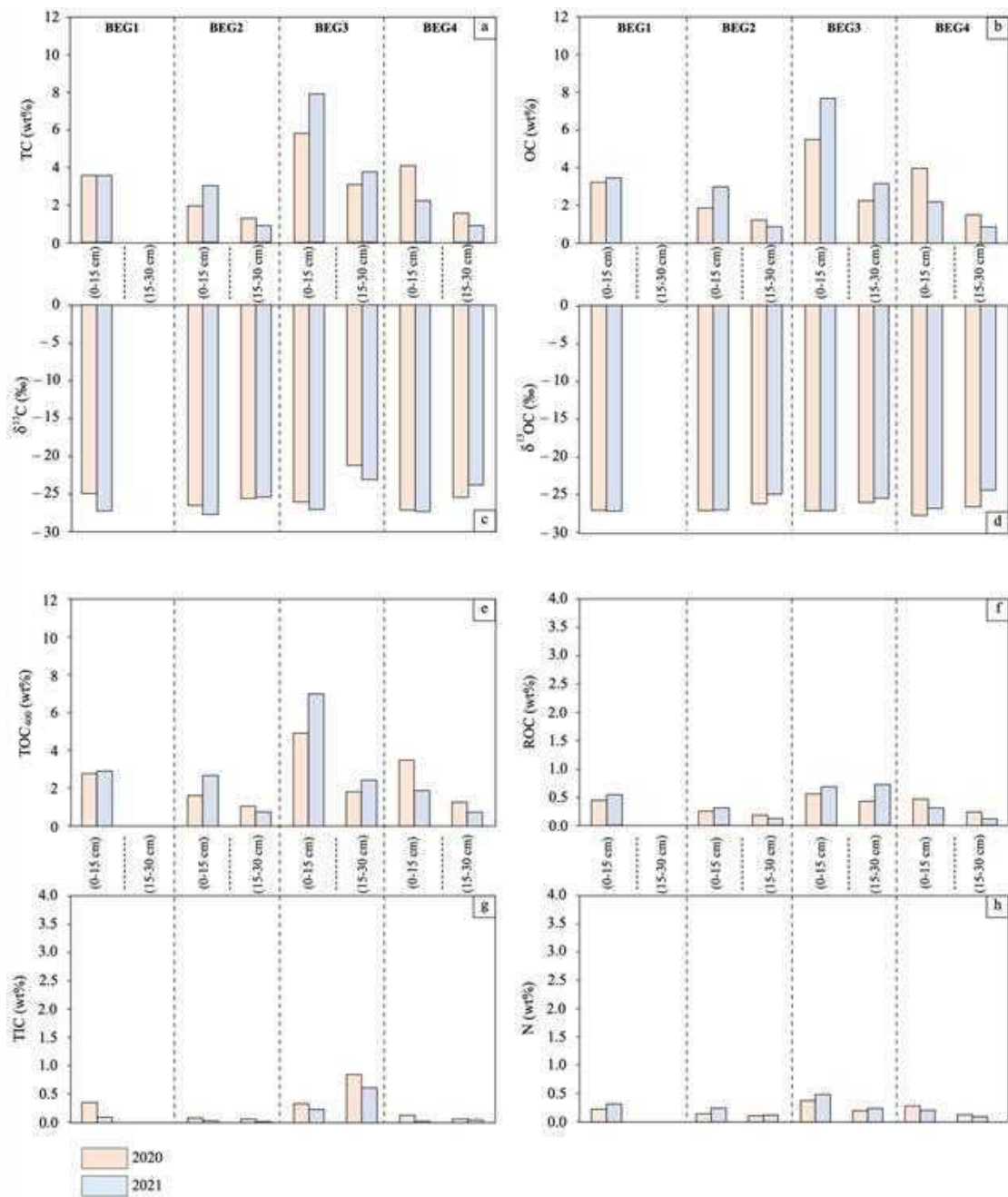


Figura 60. Istogrammi del carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}C$ e $\delta^{13}OC$), organico labile (TOC₄₀₀), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati nei siti investigati presso l'Azienda Agricola Beghelli.

Nei grafici successivi (Fig. 61), si sono indicati i range dei contenuti elementari delle specie di C (TC, OC, TOC₄₀₀, ROC e TIC) e di N a 0-15 cm e 15-30 cm nel 2020 e nel 2021. Si evince che in generale sia nel 2020 che nel 2021 la quantità di C e di N diminuisce con la profondità e i valori di $\delta^{13}C_{TC}$ e di $\delta^{13}C_{OC}$ diventano meno negativi. Analizzando i range complessivi, piuttosto che i singoli siti come in Fig. 44, si nota che la quantità di TC, TOC, TOC₄₀₀ e ROC è rimasta pressoché stabile dal 2020 al 2021, mentre l'azoto risulta leggermente aumentato e il TIC diminuito. I valori isotopici di $\delta^{13}C_{TC}$ sono più negativi in 0-15 cm nel 2021 rispetto al 2020, mentre i valori di $\delta^{13}C_{TC}$ in 15-30 cm e i valori di $\delta^{13}C_{OC}$ nel 2021 sono meno negativi rispetto al 2020.

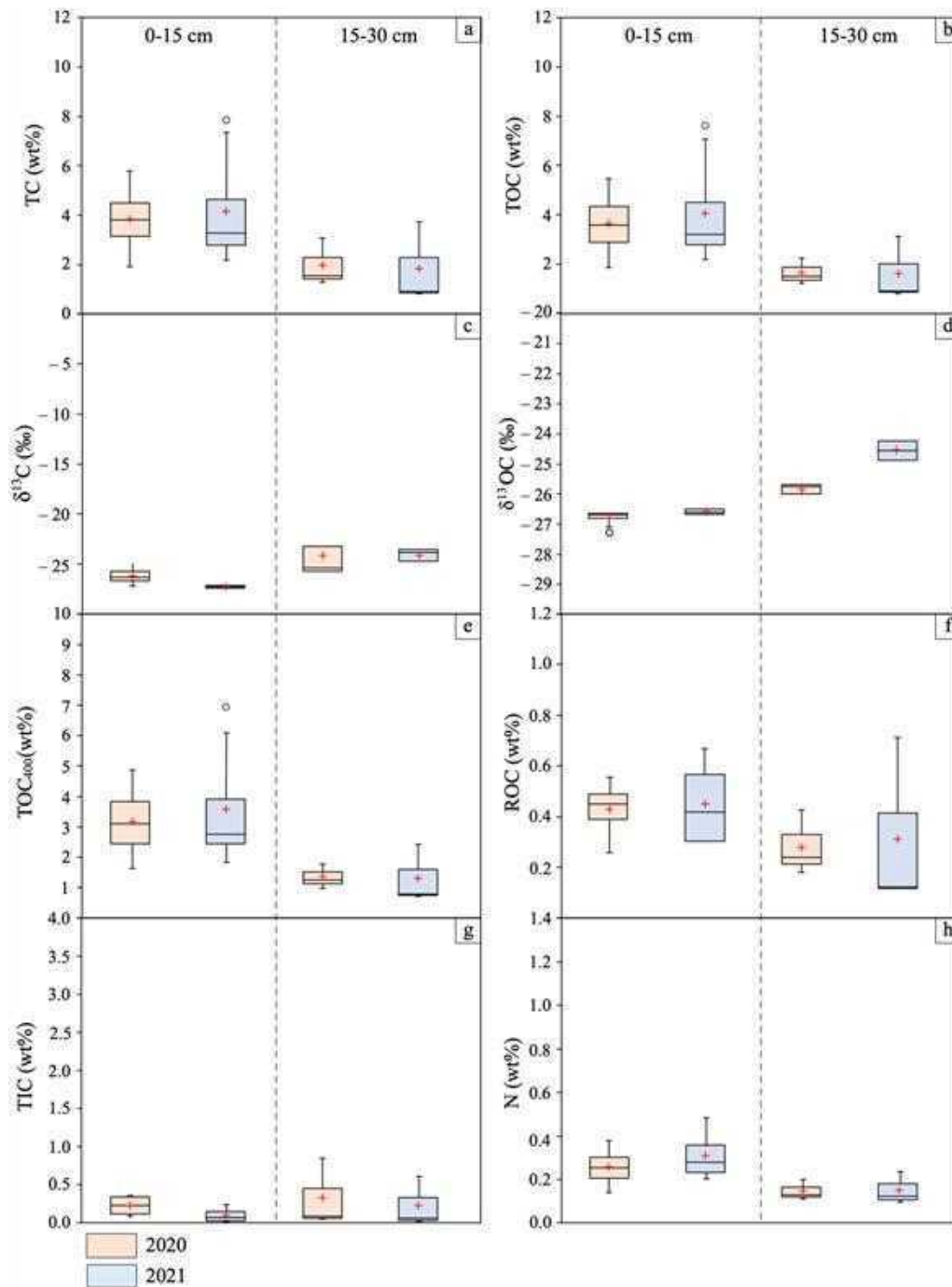


Figura 61. Boxplot dei range di carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{OC}$), organico labile (TOC_{400}), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati a 0-15 cm e 15-30 cm presso l'Azienda Agricola Beghelli.

8.3 Speciazione del C e N nel suolo della Società Cooperativa Montana Valle del Senio

Nel presente paragrafo si è eseguito un confronto fra i campioni di suolo 0-15 e 15-30 cm raccolti nei quattro siti della Società Cooperativa Montana Valle del Senio nel 2020 e nel 2022, a più di un anno dall'attività di diradamento (Fig. 62). Si osserva un aumento di TC 2020 al 2022, in tutti i siti ad eccezione del subsoil di MVS3 dove il contenuto di TC diminuisce. Andando più in dettaglio, la quantità di C organico aumenta in un anno in tutti i siti ad eccezione del sito MVS3 e del subsoil di MVS2, dove la situazione rimane pressoché stabile. Questa diminuzione è dovuta a un leggero

decremento di TOC_{400} , ovvero quello più labile, nel sito MVS3 e nel subsoil di MVS2, mentre il contenuto di ROC, ovvero del C più stabile, risulta aumentata in un anno in tutti i siti. Questo indica che nel bosco rado della Società Cooperativa Montana Valle del Senio, il C è stato ben stabilizzato in forme recalcitranti, che verranno potenzialmente usate dagli organismi della biomassa microbica, nel caso in cui la sostanza organica prontamente disponibile, si esaurirà.

Dal punto di vista isotopico, nel 2022 solo i topsoil di MVS1 e MVS4 presentano valori isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ più negativi rispetto al 2020, infatti in questi campioni si registrano gli aumenti maggiori sia di TOC_{400} che di ROC rispetto al resto dei campioni. Ciò può essere dovuto ad un maggiore apporto di sostanza organica dal 2020 al 2021 nei primi cm delle aree MVS1 e MVS4, tale ipotesi sembrerebbe essere confermata dall'aumento di N che si registra nei campioni prelevati a 0-15 cm in questi due siti, mentre nel resto dei campioni la quantità di N diminuisce.

Per i siti restanti, i valori isotopici di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ sono meno negativi nel 2022 rispetto al 2020, a indicare quindi una diminuzione di ^{12}C rispetto al ^{13}C .

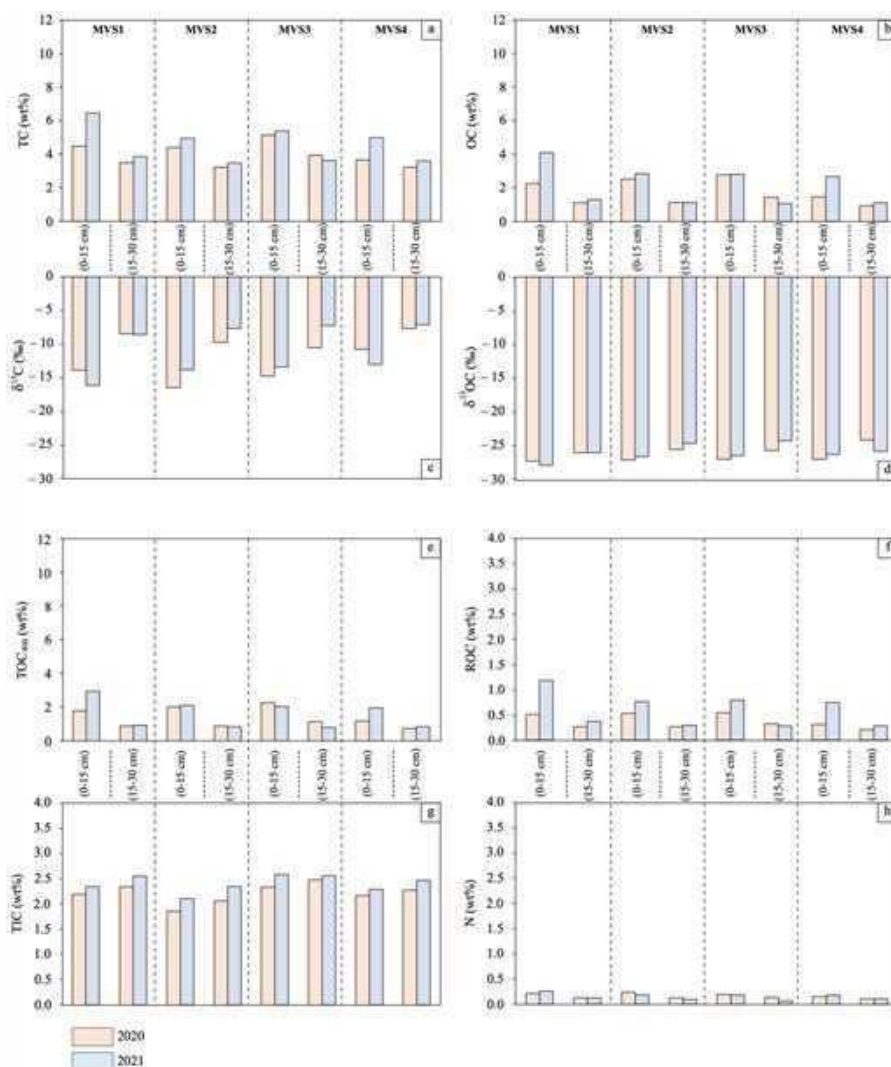


Figura 62. Istogrammi del carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{OC}$), organico labile (TOC_{400}), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati nei siti investigati presso la Società Cooperativa Montana Valle del Senio.

Nei grafici successivi (Fig. 63), si sono indicati i range dei contenuti elementari delle specie di C (TC, OC, TOC₄₀₀ e ROC) e di N a 0-15 e 15-30 nel 2020 e nel 2022. Si evince che in generale sia nel 2020 che nel 2022 la quantità di C e di N diminuisce con la profondità e i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ diventano meno negativi. A parità di profondità, si osserva che la quantità di TC, TOC, TOC₄₀₀ e ROC aumenta leggermente e il contenuto di N diminuisce dal 2020 al 2022. È bene notare anche che i range di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ dei campioni prelevati nel 2022 sono meno negativi rispetto ai campioni prelevati nel 2020.

L'accumulo del C organico registrato nel 2022 è favorito dalle temperature più basse del mese di Febbraio, quando si è svolto il secondo campionamento rispetto alle temperature più miti del mese di Settembre quando si è svolto il primo campionamento. Tuttavia, i valori meno negativi di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ e di $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ misurati nei campioni del 2022, assieme alla diminuzione del contenuto di azoto, sono indicativi di un depauperamento della sostanza organica, con perdita di ^{12}C e N.

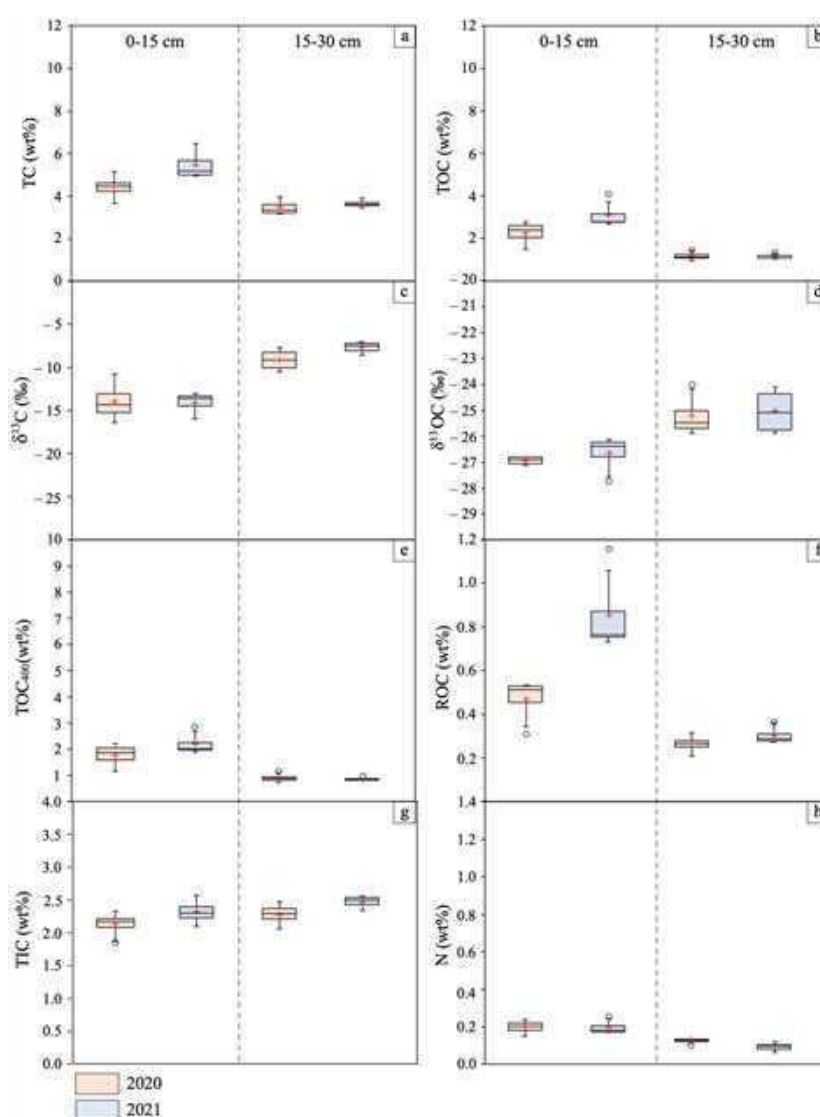


Figura 63. Boxplot dei range di carbonio totale (TC), organico (TOC) e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{13}\text{OC}$), organico labile (TOC₄₀₀), recalcitrante (ROC), e inorganico (TIC) e dell'azoto (N) misurati a 0-15 cm e 15-30 cm presso l'Azienda Agricola Beghelli.

9) Stock di Carbonio organico nel suolo

L'immagazzinamento di OC nei suoli dipende da diversi fattori: clima (es. temperatura e precipitazioni), caratteristiche dell'area (es. pendenza), caratteristiche dei suoli (es. pH), uso del suolo (es. agricolo o forestale), gestione del suolo (es. uso di *best-practices*) (Wiesmeier et al., 2019). Pertanto, in questo progetto che investiga i contenuti di OC nei suoli forestali gestiti con pratiche selvicolturali in distinti contesti montani, sono stati registrati diversi OC stocks nei topsoil (0-30 cm), fra le aziende e, all'interno della stessa azienda, fra anni diversi (Tabella 32; Fig. 64).

Si osserva che la maggior parte dei siti dell'Azienda Agricola Beghelli e della Società Cooperativa Montana Valle del Senio hanno accumulato C organico nei suoli, mentre l'Azienda Agricola Branchicciolo ha accumulato poco carbonio organico o lo ha addirittura perso in quantità significative.

Questo diverso comportamento può essere dovuto a diversi fattori: a) il diverso periodo di campionamento del suolo dell'azienda rispetto alle altre aziende (autunno vs estate); b) le alte temperature registrate durante l'anno 2021, che ha promosso fenomeni di mineralizzazione da parte della massa microbica al posto di fenomeni di accumulo; c) l'alta pendenza (>45%) dei suoli dell'azienda Branchicciolo, che ha innescato processi di erosione dopo l'intervento di diradamento. I suoli della Società Cooperativa Montana Valle del Senio, invece, sebbene si ritrovino anch'essi a bassa altitudine, sono riusciti a preservare il C, grazie alla pendenza bassa dei terreni che non ha innescato significativi fenomeni di erosione.

Tabella 32. Valori medi di stock di C organico dei topsoil 0-30 cm campionati nei siti delle Aziende Agricole Branchicciolo, Beghelli, Montana Valle del Senio. I valori di Bulk density sono stati misurati in campo da campioni indisturbati a volume noto.

Azienda	Bulk density	OC Stock₂₀₂₀	OC Stock₂₀₂₁
	g/cm³	Mg/ha	Mg/ha
Branchicciolo	1.2	140	111
Beghelli	1.3	76	86
Montana Valle del Senio	1.2	60	82

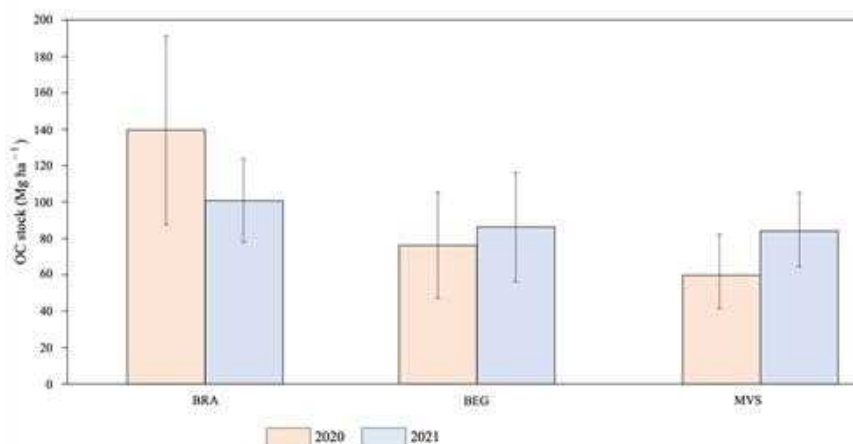


Figura 64. Istogrammi relativi ai valori medi di stock di C organico dei topsoil 0-30 cm campionati nei siti delle Aziende Agricole Branchicciolo, Beghelli, Società Cooperativa Montana Valle del Senio.

10) Confronto fra le tre aziende del progetto SuoBo: la sostanza organica nel suolo

Di seguito sono riportati i grafici che mettono a confronto le medie dei siti investigati in ogni azienda agro-forestali aderente al progetto SuoBo (Fig. 65).

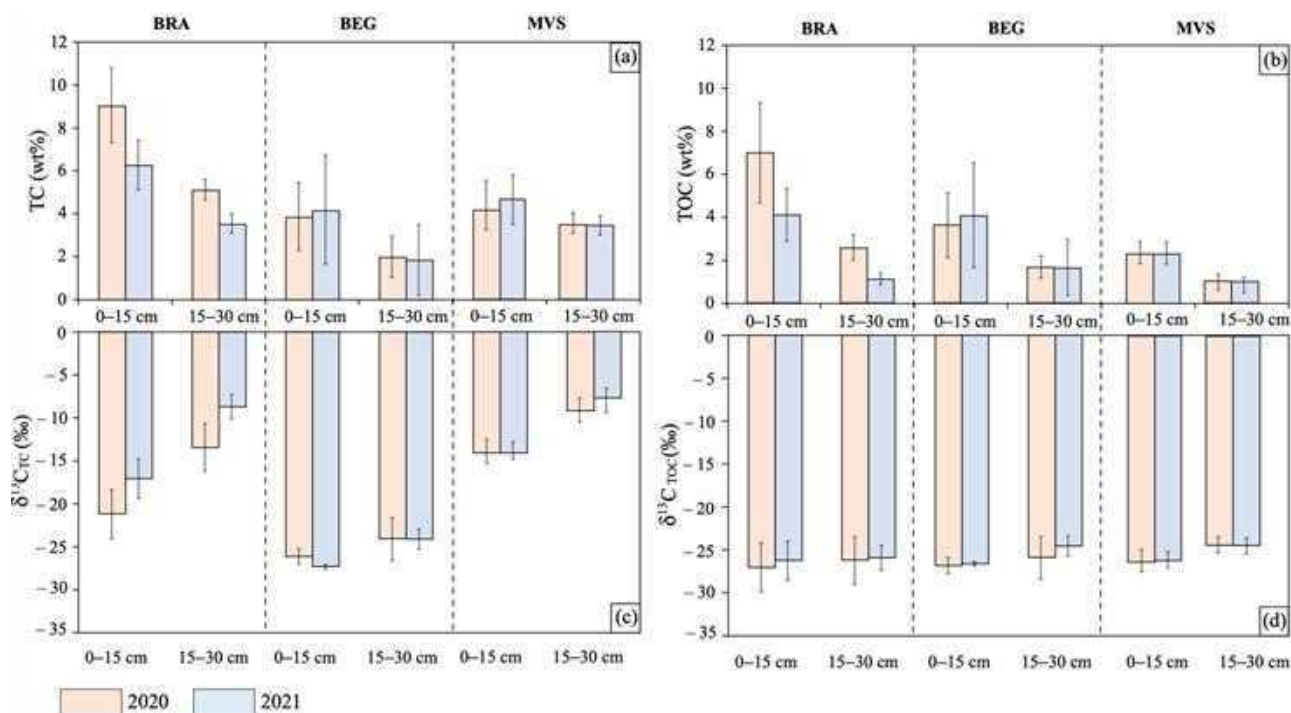


Figura 65. Confronto tra i valori medi di TC, OC e le rispettive firme isotopiche per le aziende agro-forestali di Branchicciolo, Beghelli e Montana Valle del Senio.

Osservando il grafico sopra riportato possiamo vedere le principali differenze tra le tre aziende agro-forestali prese in esame dal Progetto SuoBo. Come si può osservare i suoli dell'Azienda agricola Branchicciolo ha perso sostanza organica e quindi carbonio in un anno (chiaro decremento dei contenuti elementari di TC, OC e firme meno negative). Al contrario, i suoli dell'Azienda agricola Beghelli, non ha perso quantità significative di C nel tempo, acquisendone addirittura nel layer più superficiale, a causa dell'abbondanza di lettiera in tutti i siti. Anche la Società cooperativa Montana

Valle del Senio non ha perso sostanza organica, e quindi carbonio (contenuti elementari e firme isotopiche di TC e OC, pressoché stabili), dal 2020 al 2022.

Si è cercato dunque di giustificare tali differenze. L'Azienda agricola Beghelli si trova a una quota più elevata rispetto alla Società cooperativa Montana Valle del Senio e all'Azienda Branchicciolo (rispettivamente 560 m slm, 260 m slm e 225 m slm). Pertanto, i suoli dell'Azienda agricola Beghelli hanno potuto beneficiare di un clima che è rimasto relativamente fresco e meno soggetto alle ondate di calore dell'anno 2021 (Tmedia 2020: 14.2°C; Tmedia 2021: 15.0°C; ARPAE 2021 e ARPAE 2022). In tali condizioni, l'attività microbica, che aumenta con le temperature elevate, è rimasta stabile, inoltre i suoli dell'azienda Beghelli presentano una copertura vegetale da alberi decidui (castagni e noccioli) che hanno garantito un continuo apporto di lettiera sul suolo. L'Azienda agricola Branchicciolo e la Società cooperativa Montana Valle del Senio, invece, si trovano ad una quota inferiore, e, nel caso dell'Azienda Branchicciolo, ha risentito maggiormente dell'incremento di temperatura che ha caratterizzato l'anno 2021 (Tmedia 2020: 13.8°C; Tmedia 2021: 14.3°C), la quale ha contribuito a un'accelerazione della degradazione della sostanza organica. Invece, l'area dove si localizza la Società cooperativa Montana Valle del Senio non ha subito differenze di temperature significative durante l'anno (Tmedia 2020: 13.0°C; Tmedia 2021: 13.0°C; ARPAE 2020 e ARPAE 2021), che potrebbe aver favorito una maggiore conservazione della sostanza organica. Un altro motivo per giustificare la differenza nell'andamento di C fra le due aziende può essere ricercato nella diversa pendenza dei siti nelle due aziende. Presso l'Azienda agricola Branchicciolo, la pendenza varia da 3% a 45%, mentre presso la Società cooperativa Montana Valle del Senio i terreni sono più pianeggianti (pendenza 0-5%). Pertanto, i terreni della prima azienda sono più vulnerabili a fenomeni di erosione rispetto ai terreni della seconda, che avrebbero portato a un decremento di sostanza organica e C negli orizzonti più superficiali (0-30 cm). Nel capitolo successivo si esplorerà anche le differenze tessiturali fra i suoli delle tre aziende.

11) Stima delle principali fasi mineralogiche presenti nel suolo delle tre aziende di SuoBo

Nei suoli, è necessario distinguere il C organico da quello inorganico. Il primo è il principale costituente della materia organica, indispensabile per moltissime funzioni ecosistemiche dei suoli, quali la produttività, l'aerazione, filtrazione, ecc. Il secondo, invece si lega ad altri elementi in strutture mineralogiche formando carbonati (es. CaCO₃). Pertanto, in questo capitolo, si mettono a confronto i risultati degli elementi maggiori dei suoli a profondità 15-30 cm, di tutte e tre le aziende impegnate nel progetto, al fine di avere una stima delle fasi mineralogiche principali presenti nel suolo delle tre aziende (Tabella 33).

Tabella 33. Concentrazioni degli elementi maggiori e minori espressi in ossidi (wt%) e degli elementi in traccia (ppm). Per ogni sito, i campioni presi in considerazione sono riferiti all'orizzonte 15-30 cm.

	BRA-1	BRA-2	BRA-3	BRA-4	BEG-2	BEG-3	BEG-4	MVS-1	MVS-2	MVS-3	MVS-4
wt%											
SiO ₂	56.9	59.7	59.3	60.4	67.5	69.0	72.7	54.9	55.6	53.7	54.4
TiO ₂	0.52	0.61	0.56	0.64	0.62	0.65	0.54	0.64	0.64	0.60	0.64
Al ₂ O ₃	13.2	14.7	14.2	15.5	18.0	16.5	14.1	15.6	16.0	15.0	15.5
Fe ₂ O ₃	5.10	5.32	5.43	5.55	6.08	5.53	4.30	5.18	4.82	4.52	4.66

MnO	0.17	0.18	0.19	0.18	0.04	0.08	0.05	0.11	0.11	0.10	0.10
MgO	4.05	3.04	3.26	2.70	3.24	3.01	3.30	4.24	4.35	4.49	4.44
CaO	16.9	13.2	13.9	11.7	1.14	1.87	1.46	15.0	14.1	17.2	15.0
Na ₂ O	0.89	0.85	0.91	0.81	0.84	0.87	1.15	1.01	1.13	1.24	1.26
K ₂ O	2.09	2.29	2.20	2.42	2.40	2.47	2.26	3.16	3.05	2.96	2.96
P ₂ O ₅	0.13	0.13	0.15	0.15	0.06	0.09	0.11	0.15	0.17	0.17	0.22
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
LOI	16.6	14.5	15.4	14.4	7.12	8.75	14.9	10.7	9.93	11.4	10.6
ppm											
Ba	335	365	358	442	1020	915	992	427	457	433	454
Ce	27	27	22	29	31	33	20	32	37	30	32
Co	23	21	21	20	20	18	16	18	15	15	13
Cr	163	161	164	158	231	179	191	113	104	86	102
Cu	22	30	26	35	31	32	18	30	29	22	33
Ga	9	12	11	13	15	16	13	14	14	13	13
Hf	2	2	2	2	3	4	3	4	3	3	3
La	0	12	0	0	1	8	4	5	0	14	0
Nb	6	8	7	9	11	12	6	11	10	9	12
Nd	16	17	16	21	32	29	20	18	20	18	19
Ni	117	98	110	88	149	135	107	76	67	59	59
Pb	16	15	14	17	21	19	19	19	24	21	23
Rb	68	78	72	83	121	119	108	114	102	95	105
S	145	108	135	90	0	3	9	4759	2538	2086	4499
Sc	9	7	9	11	15	12	7	7	5	3	6
Sr	356	311	319	303	153	232	154	254	201	220	244
Th	3	5	3	5	9	10	7	6	7	7	6
V	76	81	82	88	119	104	70	103	95	83	88
Y	18	20	19	20	33	33	17	22	21	19	25
Zn	61	68	60	74	136	127	65	78	75	66	67
Zr	86	128	95	135	166	196	136	141	144	148	187

Il grafico riportato di seguito (Fig. 66) mette in rapporto la quantità di SiO₂ e di CaO delle tre aziende, ed è evidente una netta separazione fra esse, dovuta alla mineralogia dell'area in cui si trovano. La Società cooperativa Montana Valle del Senio mostra il più elevato contenuto di calcio (14.97-15.86 wt%), infatti, l'area d'indagine è caratterizzata non solo da minerali carbonati, ma anche di minerali solfati, quali "solfato di calcio" ovvero gesso (CaSO₄), come confermato dall'elevata quantità di S presente nei suoli di MVS (0.2-0.5 wt%; Tabella 10). I minerali gessosi sono tipici della formazione "Gessoso-Solfifera" dell'Appennino romagnolo, dove si localizza anche MVS. L'Azienda Branchicciolo, invece, mostra un contenuto di CaO, leggermente inferiore rispetto alla Società cooperativa Montana Valle del Senio, e non presenta alti tenori di S. Difatti, l'Azienda Branchicciolo poggia su arenarie cementate, calcareniti, calcilutiti, ovvero rocce ricche in carbonato. Di contrasto alle altre due aziende, l'Azienda Beghelli ha la maggiore quantità di silicati e una minore quantità di carbonati rispetto alle altre due aziende, dato che si trova in un'area caratterizzata da areniti, dove la

presenza di minerali carbonati e/o di solfati è scarsa. Pertanto, è possibile affermare che gran parte del C presente nel suolo dell'Azienda Beghelli sia di origine organica e non vi sia la presenza di una componente carbonatica rilevante.

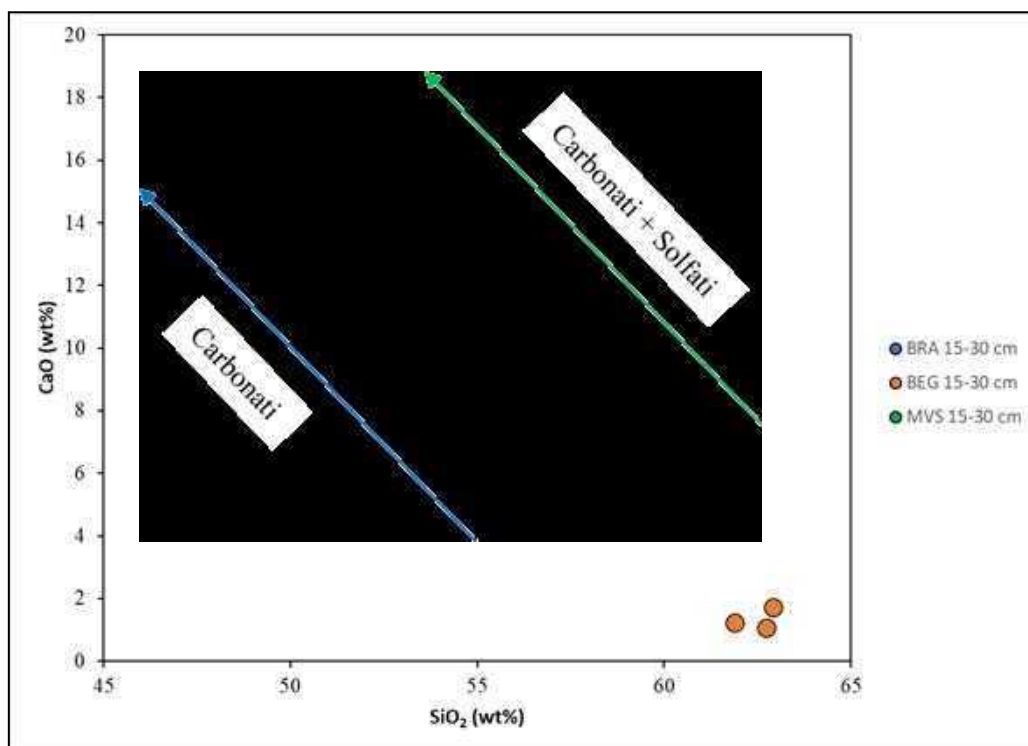


Figura 66. Grafico SiO₂ vs CaO. Sono riportate le percentuali peso (wt%) degli ossidi di silicio e calcio ottenute tramite analisi in fluorescenza di raggi-X (XRF) dei campioni prelevati a 15-30 cm in sito di ogni azienda nel 2020.

Il grafico riportato di seguito (Fig. 67) mette in rapporto la quantità di Al₂O₃ e di K₂O delle tre aziende. Tali ossidi sono presenti in minerali argillosi quali fillosilicati come ad esempio le miche. I fillosilicati sono caratterizzati da una struttura a strati, dove fra uno strato e l'altro può essere inglobata anche la materia organica, la quale diventa così inaccessibile all'azione microbica e può rimanere preservata anche per anni. Le aziende MVS e BEG hanno concentrazioni di Al₂O₃ e di K₂O più alte rispetto a BRA. Quest'ultima azienda ha mostrato un chiaro trend decrescente di C in un anno a differenza delle altre due aziende, indice di una scarsa preservazione di materia organica. La Società Cooperativa Montana Valle del Senio e l'Azienda Beghelli mostrano una tendenza stabile nei livelli di carbonio nel tempo, probabilmente a causa della maggiore presenza di fillosilicati che tendono a preservare il carbonio. Infatti, mentre l'Azienda Branchicciolo si trova in un'area caratterizzata principalmente da formazione carbonatiche (vedi Fig. 43), la Società Cooperativa Montana Valle del Senio si trova in un'area con livelli pelitici (vedi Fig. 9) e l'Azienda Beghelli in un'area con livelli siltosi. Pertanto, MVS e BEG litologicamente parlando hanno più argille rispetto a BRA. La differente presenza di K in queste ultime due aziende menzionate può essere imputabile al contenuto diverso di fillosilicati, come Illite [(K,H₃O)(Al,Mg,Fe)₂(Si,Al)₄O₁₀[(OH)₂,(H₂O)]], Muscovite [KAl₂(Si₃AlO)(OH,F)₂] e Biotite [K(Mg,Fe)₃AlSi₃O₁₀(OH,F)₂]

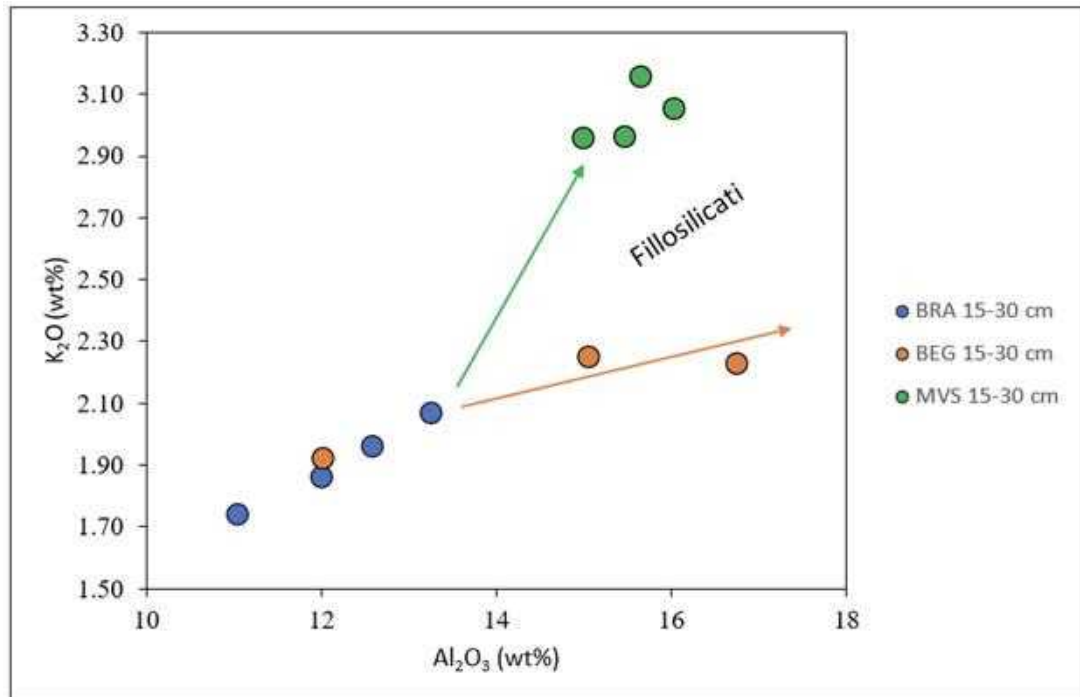


Figura 67. Grafico Al₂O₃ vs K₂O. Sono riportate le percentuali peso (wt%) degli ossidi di alluminio e potassio ottenute tramite analisi in fluorescenza di raggi-X (XRF).

Per un migliore accertamento di tale ipotesi si sono eseguite le analisi diffrattometriche su polveri (Fig. 68) dei campioni a 15-30 cm dell'Azienda Branchicciolo e dell'Azienda Beghelli per individuare i minerali caratterizzanti tali aree boschive e che determinano una tale differenza di perdita di SOM (Tabella 34).

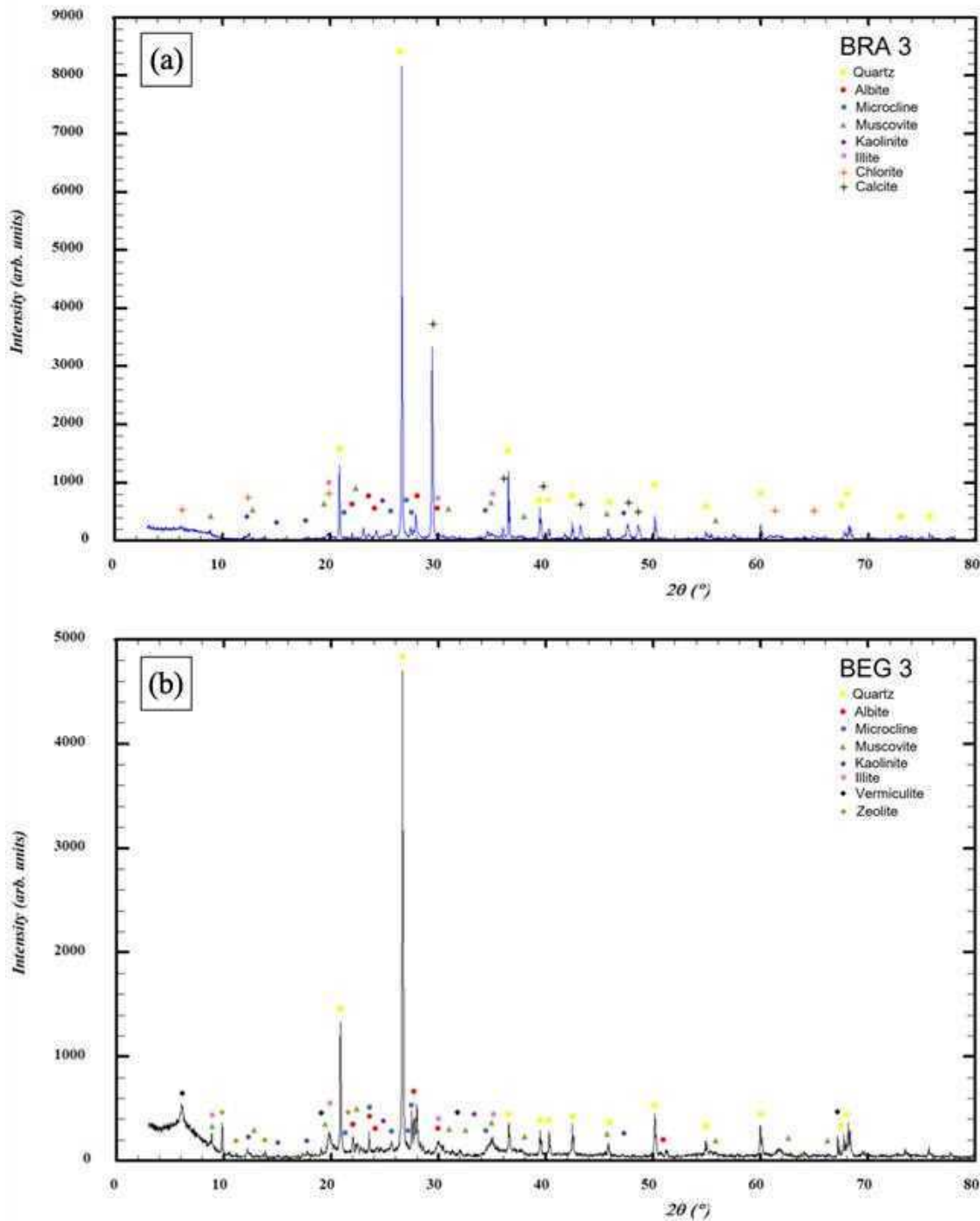


Figura 68. Esempi dei modelli di diffrazione dei raggi X (XRD) di due siti delle (a) Azienda BRA e (b) Azienda BEG, che evidenziano le fasi mineralogiche presenti nei suoli a una profondità compresa tra 15 e 30 cm.

Tabella 34. Contenuti e deviazione standard (S.D.) relativa delle principali fasi mineralogiche dei campioni composti di suolo raccolti alla profondità fissa di 15-30 cm dalle aziende Branchicciolo (BRA) e Beghelli (BEG) nel 2021.

Sito	BRA1		BRA 2		BRA 3		BRA 4		BEG 2		BEG3		BEG4	
	wt%	S.D.	wt%	S.D.	wt%	S.D.	wt%	S.D.	wt%	S.D.	wt%	S.D.	wt%	S.D.
Quarzo	29.5	0.4	33.4	0.3	34.0	0.3	33.9	0.3	28.5	0.3	30.7	0.4	40.5	0.4
Feldspati														
Albite	8.3	0.3	9.5	0.3	11.5	0.3	9.6	0.3	9.4	0.3	11.5	0.3	13.5	0.3

Microclino	8.0	0.6	4.2	0.3	6.8	0.4	4.7	0.4	9.9	0.4	9.0	0.5	10.5	0.5
Miche														
Muscovite	6.8	0.6	8.6	0.5	11.6	0.6	12.7	0.6	20.5	0.5	21.0	0.6	4.3	0.5
Paragonite	---	---	---	---	---	---	---	---	6.3	0.3	---	---	7.9	0.4
Kaolinite	3.5	0.2	5.2	0.4	8.0	0.4	6.1	0.4	15.5	0.4	13.2	0.5	6.6	0.3
Illite	5.0	0.7	8.4	0.5	2.9	0.6	6.7	0.6	3.5	0.5	7.0	0.6	6.7	0.6
Chlorite	9.1	0.7	6.4	0.5	4.7	0.4	4.8	0.4	---	---	---	---	4.3	0.1
Vermiculite	---	---	---	---	---	---	---	---	2.1	0.1	1.6	0.1	0.6	0.1
Carbonati														
Calcite	29.8	0.4	24.3	0.2	20.4	0.3	21.5	0.2	---	---	---	---	---	---
Zeoliti														
Clinoptilolite	---	---	---	---	---	---	---	---	4.4	0.2	6.0	0.3	5.0	0.2

S.D. Standard deviation

Indipendentemente dall'area di provenienza, in tutti i campioni analizzati, la fase principale è il quarzo. Le altre fasi mineralogiche comuni includono i feldspati (albite e microclino) e i fillosilicati (muscovite, caolinite e illite in entrambe le aziende, oltre alla clorite nell'azienda BRA e paragonite e vermiculite nell'azienda BEG). Tuttavia, i fillosilicati sono meno abbondanti nei suoli BRA rispetto a quelli BEG. Solo i suoli BRA sono caratterizzati dalla presenza di calcite, in quanto si trovano in un'area con depositi di calcare e arenaria. D'altra parte, i suoli BEG contengono anche clinoptilolite, un minerale autigeno del gruppo delle zeoliti.

Un altro importante fattore per la preservazione di carbonio organico nel suolo è la tessitura del terreno, considerando la capacità di stabilizzazione della sostanza organica del suolo tramite i minerali con aree superficiali minerali reattive (Brombin et al., 2023). La tessitura del suolo BEG è franco argilloso/franco limoso, caratterizzata dalla presenza di fillosilicati secondari autigeni, inclusi argille e minerali zeolitici. Tale tessitura è più favorevole per sequestrare e proteggere la materia organica in forme più stabili rispetto al suolo sabbioso BRA (Tabella 5; Fig. 25, 36, 47). Secondo Tian e He (2016), la temperatura influenza la quantità di lettiera ma non ha effetto sulla stabilità del carbonio organico. Infatti, la stabilizzazione del carbonio organico è determinata dall'interazione con i minerali del suolo, che rende la materia organica inaccessibile agli organismi decompositori (Georgiou et al., 2022). In questo caso, la sostanza organica del suolo può essere protetta e può persistere su scale temporali lunghe (Islam et al., 2022; Calero et al., 2023) in forme refrattarie (ad esempio, ROC). È ben noto che le argille e le zeoliti assorbono una maggiore quantità di carbonio organico e hanno un'elevata capacità di stabilizzazione a causa della loro ampia area superficiale specifica (SSA) e della loro capacità di scambio cationico (CEC), ovvero la misura della carica dello strato nei minerali (Singh et al., 2017; Sarkar et al., 2018). Secondo le analisi della tessitura (Tabelle 8, 18; Fig. 25, 38) e delle analisi mineralogiche (Tabella 33, Fig. 68), i suoli BEG presentano un contenuto più elevato di argilla e zeoliti rispetto ai suoli BRA. Pertanto, i suoli BEG erano più inclini a stabilizzare il carbonio organico in forma refrattaria, preservando la materia organica dal degrado. È importante chiarire che i minerali delle argille hanno diverse capacità di stabilizzazione (Rasmussen et al., 2018; Doni et al., 2020). Per le argille, i fillosilicati del tipo 2:1 (ad esempio, vermiculite e illite) assorbono una maggiore quantità di carbonio organico nel suolo rispetto ai minerali argillosi del tipo 1:1 (ad esempio, caolinite), poiché i primi contengono una quantità maggiore di SSA e CEC rispetto ai secondi (Doni et al., 2020). In questo caso, solo i suoli BEG erano caratterizzati dalla presenza di vermiculite, considerata il minerale argilloso con la maggiore capacità

di stabilizzare il carbonio organico, poiché presenta la più alta SSA e CEC tra i fillosilicati (Singh et al., 2017; Xue et al., 2022). Allo stesso modo, tra le zeoliti naturali, la clinoptilolite, che era presente nel suolo BEG, ha un'elevata CEC eccezionale, garantendo la fissazione del carbonio organico nel terreno (Kavvadias, et al., 2023). Pertanto, la composizione mineralogica dei suoli BEG contribuisce alla conservazione della materia organica.

12) Conclusioni e suggerimenti per le aziende

Questo lavoro ha permesso di stimare le quantità di carbonio organico accumulato o perso in un anno in tre aree boschive appenniniche dove aziende forestali eseguono pratiche selvicolturali. Secondo i risultati ottenuti è preoccupante la situazione dell'Azienda Branchicciolo, che ha visto una forte diminuzione di C nei suoli in un anno. Diversi fattori possono aver contribuito a questo fenomeno: a) il diverso periodo di campionamento del suolo dell'azienda rispetto alle altre aziende (autunno vs estate), considerando che l'anno 2021 è uno dei sette anni più caldi mai registrati a livello mondiale; b) l'altitudine relativamente bassa di Branchicciolo rispetto, ad esempio, all'Azienda Beghelli, i cui suoli sono riusciti a preservare il C, grazie alle temperature fresche presenti durante l'anno che preservano il suolo dalla degradazione microbica; c) l'alta pendenza (>45%) dei suoli dell'azienda Branchicciolo, che ha innescato processi di erosione dopo l'intervento di diradamento; d) la tessitura sabbiosa e l'assenza di minerali in grado di sequestrare materia organica(es. argilli e zeoliti). Per quest'azienda si consiglia pertanto di limitare le lavorazioni nei siti a maggiore pendenza (>45%), più vulnerabili all'erosione, e di pianificare un interrimento degli sfalci arborei e vegetali e/o di ridurre la rimozione degli stessi dai siti, al fine di aumentare l'input di materia organica anche negli orizzonti più profondi.

I suoli della Società Cooperativa Montana Valle del Senio, invece, sebbene si ritrovino anch'essi a bassa altitudine, sono riusciti a preservare il C, grazie alla pendenza bassa dei terreni che non ha innescato significativi fenomeni di erosione. Da una stima della quantità di C perso in seguito alle pratiche selvicolturali eseguite in un anno presso i boschi delle aziende agricole Branchicciolo e Beghelli risulta che l'Azienda agricola Branchicciolo ha perso più C grazie all'asportazione del materiale vegetale (440 t/m³), rispetto all'Azienda agricola Beghelli (17 t/m³). Di conseguenza anche l'emissione di CO₂ equivalente è maggiore nella prima azienda (1104 t/m³) rispetto alla seconda (63 t/m³). Pertanto, si consiglia all'Azienda agricola Branchicciolo di limitare le lavorazioni e l'asportazione di materiale vegetativo dal sito, al fine di limitare sia l'emissione di gas a effetto serra che di erosione. È importante quindi che in un contesto di cambiamento climatico, quale stiamo vivendo, le aziende selvicolturali montane adattino i propri sistemi di gestione del suolo in favore di pratiche agricole sostenibili che limitino il più possibile l'asportazione di terreno e di vegetazione, al fine di sequestrare carbonio e di limitare le emissioni di gas a effetto serra (Fig. 69).

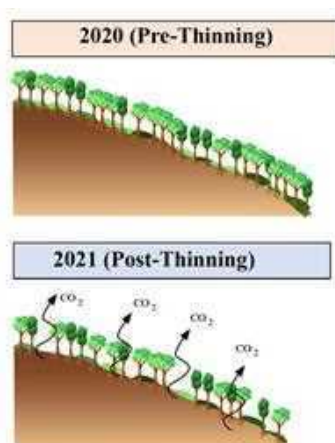


Figura 69. Rilascio di CO₂ a causa dell’asportazione di terreno e di vegetazione.

In tale contesto, una prerogativa della PAC sta nel definire nuovi metodi per determinare e misurare la quantità di CO₂ che effettivamente viene sequestrata nei suoli. In tale senso gli agricoltori e selvicoltori devono essere incentivati tramite carbon credits ad attuare pratiche che consentano il carbon farming. Certificare il benchmark di carbonio di un’azienda tramite analisi chimico-fisiche del suolo dev’essere una condizione necessaria per stabilire un modello previsionale che quantifichi e monitori il reale stoccaggio di CO₂. Ripetere analisi geochimiche come quelle eseguite in questo lavoro nel tempo (3-5 anni) per un monitoraggio del C, delle pratiche colturali e delle variazioni climatiche in atto, potrà essere utile per stimare un bilancio del C, finalizzando così le iniziative descritte negli ecoschemi per un’agricoltura e selvicoltura sostenibile.

13) Pubblicazioni di SuoBo e attività di divulgazione e formazione

13.1 Materiale divulgativo digitale

- Sito SuoBo: <https://www.progettosuobo.com/>
- Mistri E., Salani G.M., Brombin V. *Salvare il suolo “whatever it takes!”*. Sapere rubrica online, 2021. [Link](#)
- Video presentazione del Progetto SuoBo per Concorso RURINNOVA del 01/03/2023 organizzato dalla Rete Rurale Nazionale presso il Talent Garden a Roma: <https://www.progettosuobo.com/partecipazione-al-convegno-di-presentazione-dei-go-psr-2014-2022/>

13.2 Pubblicazioni internazionali

- Brombin V., Salani G.M, De Feudis M., Mistri E., Precisvalle N., Bianchini G., 2023. Soil Organic Carbon Depletion in Managed Temperate Forests: Two Case Studies from the Apennine Chain in the Emilia-Romagna Region (Northern Italy). *Environments* 2023, 10, 156. <https://doi.org/10.3390/environments10090156>

13.3 Atti di convegno

- Brombin V., Salani G.M., Mistri E., De Feudis M., Falsone G., Vittori Antisari L., Bianchini G. *Organic and inorganic carbon in managed forest soils of Emilia-Romagna Region (North-eastern Italy)* “European Geosciences Union (EGU) General Assembly 2022” (EGU22-3667; Online, 23-27 Maggio, 2022)
- Brombin V., Salani G.M., De Feudis M., Mistri E., Falsone G., Vittori Antisari L., Bianchini G. *Caratterizzazione del carbonio in suoli di aziende selvicolturali montane in Emilia-Romagna*. “Remtech Expo” (Ferrara; Settembre 21-23, 2022)
- Brombin V., Salani G.M., Mistri E., De Feudis M., Falsone G., Vittori Antisari L., Bianchini G. *Valutazione dei flussi di carbonio organico e inorganico nei suoli forestali della Regione Emilia-Romagna*. “ICOS-Obiettivo Carbon Neutrality: ruolo, stato e prospettive delle osservazioni ambientali” (Roma; 27-28 Settembre, 2022).
- Brombin V., Salani G.M., De Feudis M., Falsone G., Vittori Antisari L., Precisvalle N., Bianchini G. *Soil organic carbon pools in managed temperate forests: two case studies in the Apennine chain of the Emilia-Romagna Region (Northern Italy)* “Congresso Congiunto SIMP-SGI-SOGEI-AIV “The Geoscience paradigm: resources, risk and future perspectives” (Potenza; 19-21 Settembre, 2023)

13.4 Convegni nazionali e internazionali, scuole a cui ha partecipato SuoBo

- 23/05/2022 – 27/05/2022 - Congresso internazionale (modalità telematica) “EGU-European Geosciences Union Congress”
- 21/09/2022 – 23/09/2022 - “RemTech Expo - International Networking, Exhibition, Conferences and Training” presso Ferrara
- 27/09/2022 – 28/09/2022 – Congresso ICOS-Integrated Carbon Observation System- “Obiettivo Carbon Neutrality: ruolo, stato e prospettive delle osservazioni ambientali” presso Roma
- 19/09/2023 – 21/09/2023 – Congresso Congiunto SIMP-SGI-SOGEI-AIV “The Geoscience paradigm: resources, risk and future perspectives” presso Potenza
- 23/11/2023 – 26/11/2023 – La fiera Agricola dell’arco alpino “Agrialp 2023” presso Bolzano

13.5 Partecipazioni a meeting e giornate di formazione

- 16/09/2020 – Kick-off meeting del progetto SuoBo

- 15/02/2022 – 04/04/2022 Corso di formazione “Tecniche di gestione del cantiere forestale conservative della sostanza organica nel terreno” organizzato da Dinamica a r.l.
- 24/11/2022 – Mid-term meeting del progetto SuoBo
- 01/03/2023 – 02/03/2023 – Partecipazione al convegno di presentazione dei GO PSR 2014-2022 “Innovazione e sostenibilità ambientale: obiettivi e strumenti della PAC 2023-27” organizzato dalla Rete Rurale Nazionale presso il Talent Garden a Roma.
- 18/03/2023 – Lezione di divulgazione “La salvaguardia del carbonio nei suoli, un problema di stringente attualità” (Docenti Gianluca Bianchini e Valentina Brombin) per il PCTO (Percorso per le Competenze Trasversali e Orientamento) per gli studenti del Liceo Ariosto (Ferrara, Italia)
- 19/12/2023 – Final-term meeting del progetto SuoBo

13.6 Tesi di laurea triennale e magistrale inerenti al progetto SuoBo

- 26/03/2021 - Sessione di laurea triennale in Scienze Geologiche (Università di Ferrara) di Lorenzo Fontana. Titolo elaborato: “*Valutazione della quantità di carbonio organico nei suoli forestali dell’Appennino Bolognese*”.
- 24/09/2021 - Sessione di laurea triennale in Scienze Geologiche (Università di Ferrara) di Simone Mazzocco. Titolo elaborato: “*Valutazione della quantità di carbonio organico nei suoli forestali dell’Appennino Romagnolo*”.
- 25/03/2022 - Sessione di laurea triennale in Scienze Geologiche (Università di Ferrara) di Sara Augusti. Titolo elaborato: “*Studio del carbonio organico dei suoli forestali di Sasso Marconi (BO): valutazione dei contenuti e confronto con dati pregressi*”.
- 24/03/2023 - Sessione di laurea triennale in Scienze Geologiche (Università di Ferrara) di Alessia Favaron. Titolo elaborato: “*Studio del carbonio organico dei suoli forestali di Monte San Pietro (BO): valutazione dei contenuti, rapporti isotopici e confronto con dati pregressi*”.
- 15/12/2023 - Sessione di laurea triennale in Scienze Geologiche (Università di Ferrara) di Mattia Puller. Titolo elaborato: “*Valutazione della quantità di carbonio organico nei suoli forestali dell’Appennino Emiliano-Romagnolo: comparazione di tre casi studio*”.

Bibliografia

- Anderson, T.H., Domsch, K.H. 1985. *Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state*. Biol. Fert. Soils 1, 81–89.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H. 1990. *Application of eco-physiological quotients (q_{CO_2} and q_D) on microbial biomasses from soils of different cropping histories*. Soil Biol. Biochem. 22, 251–255.
- Anderson, J.P.E. 1982. Soil respiration. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of soil analysis, part 2*. Am Soc Agron, Soil Science Society of America, Madison Wisconsin, pp 831–871.
- Anderson, J.P.E. 2003. *Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality*. Agric. Ecosyst. Environ. 98, 285–293.
- Anderson, T.H., Domsch, K.H. 1989. *Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils*. Soil Biol. Biochem. 21, 471–479.
- Brombin, V., Salani, G.M., De Feudis, M., Mistri, E., Precisvalle, N., Bianchini G., 2023. *Soil organic carbon depletion in managed temperate forests: two case studies from the Apennine chain in the Emilia-Romagna region (Northern Italy)*. Environments 2023, 10, 156.
- Brookes, P.C. 1995. *The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals*. Biol. Fert. Soils 19, 269–279.
- Calero, J., García-Ruiz, R., Torrés-Castillo, M., Vicente-Vicente, J.L., Martín-García, J.M. *Role of clay mineralogy in the stabilization of soil organic carbon in olive groves under contrasted soil management*. Minerals 2023, 13, 60.
- Cerling, T.E., Harris, J.M., MacFadden, B.J., Leakey, M.G., Quade, J., Eisenmann, V., Ehleringer, J.R. 1997. *Global vegetation change through the Miocene/Pliocene boundary*. Nature 389, 153–158.
- Chung H. 1974. *Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. i. matrix-flushing. method for quantitative multicomponent analysis*. Journal of applied crystallography 7, 519–525.
- Dilly, O., Munch, J.C. 1998. *Ratios between estimates of microbial biomass content and microbial activity in soils*. Biol. Fert. Soils 27, 374–379.
- Dommergues, Y. 1960. *La notion de coefficient de minéralisation du carbone dans le sols*. L’Agronomie Tropicale, XV (1), 54–60.
- Doni, S., Gispert, M., Peruzzi, E., Macci, C., Mattii, G.B., Manzi, D., Masini, C.M., Grazia, M. *Impact of natural zeolite on chemical and biochemical properties of vineyard soils*. Soil Use Manag. 2020, 37, 832–842.
- EU-COM(2006) 231. Communication from the commission to the council, the european parliament, the european economic and social committee and the committee of the regions Thematic Strategy for Soil Protection [SEC(2006)620] [SEC(2006)1165]
- FAO 2015. *Nothing dirty here: FAO kicks off International Year of Soils 2015* www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/en/c/275770/
- Farquhar, G.D., Ehleringer, J.R., Hubick, K.T. 1989. *Carbon isotope discrimination and photosynthesis*. Annu. rev. plant physiol. plant mol. biol. 40, 503–537.
- Fry, B., Sherr, E.B. 1989. *Stable Isotopes in Ecological Research*. New York, NY: Springer New York 196–229.
- Georgiou, K., Jackson, R.B., Vindušková, O., Abramoff, R.Z., Ahlström, A., Feng, W., Harden, J.W., Pellegrini, A.F.A., Polley, H.W., Soong, J.L., et al. *Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon*. Nat. Commun. 2022, 13, 3797.
- Hammond, C. 1994. *Introduzione alla cristallografia*. Zanichelli, pp 142.
- Islam, M.R., Singh, B., Dijkstra, F.A. *Stabilisation of soil organic matter: Interactions between clay and microbes*. Biogeochemistry 2022, 160, 145–158.

- IUSS Working Group WRB. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- Kavvadias, V., Ioannou, Z., Vavoulidou, E., Paschalidis, C. *Short term effects of chemical fertilizer, compost and zeolite on yield of lettuce, nutrient composition and soil properties*. Agriculture 2023, 13, 1022
- Kohn, M.J. 2010. *Carbon isotope compositions of terrestrial C3 plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate*. PNAS 107, 46, 19691–19695.
- Landi, L., Renella, G., Nannipieri, P. 2000. *Indicatori chimici della qualità del suolo: il ruolo della sostanza organica*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali 118°, XXIV, 239–248
- Lellei-Kovacs, E., Kovacs-Lang E., Botta-Dukat, Z., Kalapos, T., Emmett, B., Beier, C. 2011. *Thresholds and interactive effects of soil moisture on the temperature response of soil respiration*. Eur. J. Soil Biol., 47, 247–255.
- Minasny, B., Malone, B.P., McBratney, A.B., Angers, D.A., Arrouays, D. et al. 2017. *Soil carbon 4 per mille*. Geoderma 292, 59-86.
- Natali, C., Bianchini, G. *Thermally based isotopic speciation of carbon in complex matrices: A tool for environmental investigation*. Environ. Sci. Pollut. Res. 2015, 22, 12162–12173.
- Natali, C., Bianchini, G., Vittori Antisari, L. 2018. *Thermal separation coupled with elemental and isotopic analysis: A method for soil carbon characterisation*. Catena 164, 150–157.
- Pinzari, F.A., Trinchera, A., Benedetti, A., Sequi P. 1999. *Use of biochemical indices in the Mediterranean environment: comparison among soils under different forest vegetation*. J. Microbiol. Methods 36, 21–28
- Rasmussen, C., Heckman, K., Wieder, W.R., Keiluweit, M., Lawrence, C.R., Berhe, A.A., Blankinship, J.C., Crow, S.E., Druhan, J.L., Hicks Pries, C.E., et al. *Beyond clay: Towards an improved set of variables for predicting soil organic matter content*. Biogeochemistry 2018, 137, 297–306.
- Sarkar, B., Singh, M., Mandal, S., Churchman, G.J., Bolan, N.S. *Clay minerals—organic matter interactions in relation to carbon stabilization in soils*. In: “The Future of Soil Carbon Its Conservation and Formation”, Garcia, C., Nannipieri, P., Hernandez, T., Eds., Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2018, pp. 71–86.
- Singh, M., Sarkar, B., Sarkar, S., Churchman, J., Beerling, D.J. *Stabilization of soil organic carbon as influenced by clay mineralogy*. Adv. Agron. 2017, 148, 33–84.
- Soil Survey Staff 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tian, Q., He, H., Cheng, W., Bai, Z., Wang, Y., Zhang, X. 2016. *Factors controlling soil organic carbon stability along a temperate forest altitudinal gradient*. Sci. Rep. 6, 18783.
- Vittori Antisari, L., Ferronato, C., De Feudis, M., Natali, C., Bianchini, G., Falsone, G. 2021. *Soil biochemical indicators and biological fertility in agricultural soils: a case study from northern Italy*. Minerals 11, 219.
- Wardle, D.A., Ghani, A. 1995. *A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development*. Soil Biol. Biochem. 27, 12, 1601–1610.
- Wiesmeier, M., Urbanski, L., Hobbey, E., Lang, B., von Lützow, M., Marin-Spiotta, E., van Wesemael, B., Rabot, E., Ließ, M., Garcia-Franco, N., Wollschläger, U., Vogel, H.J., Kögel-Knabner, I. 2019. *Soil organic carbon storage as a key function of soils - A review of drivers and indicators at various scales*. Geoderma 333, 149–162.
- Xue, B., Huang, L., Li, X., Lu, J., Gao, R., Kamran, M., Fahad, S. *Effect of clay mineralogy and soil organic carbon in aggregates under straw incorporation*. Agronomy 2022, 12, 534.

Data come da firma digitale

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

La Rettrice Laura Ramaciotti

(firmato digitalmente)