

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

**FOCUS AREA 5E
DGR N. 2376 DEL 21 DICEMBRE 2016**

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO 5015638

DOMANDA DI PAGAMENTO: 5202511

(Università di Ferrara, capofila) – 5162002 (Università di
Bologna) – 5205367 (CFR) – 5204643 (Azienda Maccanti
Vivai) – 5161484 (Dinamica)

FOCUS AREA: 5E

| | |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Titolo Piano | Valutazione dei flussi di carbonio in terreni agricoli della Pianura Ferrarese e dell'Appennino Modenese e di strategie sostenibili per favorirne il sequestro nella sostanza organica dei suoli |
| Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario) | Università di Ferrara |
| Elenco partner del Gruppo Operativo | Università di Ferrara Alma Mater Studiorum -Università di Bologna Consorzio Futuro in Ricerca (CFR) Maccanti Vivai Azienda Agricola Biologica Carla Tassinari Società Agricola I Rodi di Raemy Helen e C. DINAMICA |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Durata originariamente prevista del progetto (in mesi) | 24 |
| Data inizio attività | 01/10/2017 |
| Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse) | 24/08/2020 |

| | | |
|-----------------------------------------------|------------|---------------|
| Relazione relativa al periodo di attività dal | 01/10/2017 | Al 24/08/2020 |
| Data rilascio relazione | 12/10/2020 | |

| | | | |
|------------------------|--------------------------|-------|-----------------|
| 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 | ATTIVITÀ DI FORMAZIONE | 5 |
| 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. Richiamare eventuali richieste di modifiche inviate agli organi Regionali ed apportate al progetto.

Il piano d'innovazione "Valutazione dei flussi di carbonio in terreni agricoli della Pianura Ferrarese e dell'Appennino Modenese e di strategie sostenibili per favorirne il sequestro nella sostanza organica dei suoli" si è concluso il 24 Agosto 2020 portando a termine le nove azioni prefissate. Il piano originale del progetto prevedeva il concludersi delle attività in 24 mesi (30 Settembre 2019), ma a seguito di specifica richiesta del partenariato è stato prorogato di 6 mesi. Ulteriore proroga è stata decisa dalla Regione in concomitanza all'emergenza sanitaria COVID-19.

Sintesi dell'attività complessiva è stata esposta in un webinar il giorno 13/07/2020.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

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

| 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 | Esercizio della cooperazione | 1 | 1 | 21 | 35 |
| Azione 2 | Partners aziendali (Maccanti Vivai; Azienda Agricola Biologica Carla Tassinari; Società Agricola I Rodi di Raemy Helen e C.) | Definizione dei criteri di campionamento e preparazione di parcelle coltivate con pratiche agricole "non convenzionali" | 1 | 1 | 17 | 27 |
| Azione 3 | Università di Ferrara / Università di Bologna | Campionamento e monitoraggio dell'area di studio | 1 | 1 | 21 | 17 |
| Azione 4 | Università di Ferrara | Valutazione dei macronutrienti nei suoli e nelle piante e dell'origine dei GHG | 1 | 1 | 21 | 29 |
| Azione 5 | Università di Bologna | Valutazione dello stato qualitativo della sostanza organica | 1 | 1 | 21 | 29 |
| Azione 6 | Università di Bologna | Valutazione del rilascio di gas serra (GHG) dai suoli | 4 | 4 | 21 | 30 |
| Azione 7 | Università di Ferrara | Calcolo della carbon footprint e definizione di "linee guida per il monitoraggio dei flussi di carbonio nel suolo" | 18 | 18 | 24 | 35 |

| | | | | | | |
|----------|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------|----|----------------------------------------------------------------------|----|
| Azione 8 | Consorzio Futuro Ricerca | Divulgazione | 4 | 4 | 24 | 35 |
| Azione 9 | DINAMICA | Formazione | Tempistica non prevista nel Gantt del piano del progetto | 25 | Tempistica non prevista nel Gantt del piano del progetto | 28 |

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 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.</i> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>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. Di particolare rilevanza è il caso dell'Azienda agricola biologica I Rodi (Fanano, MO), nella quale precisi suggerimenti tecnici hanno minimizzato la problematica di una parcella contraddistinta da una bassa produttività. In quest'Azienda si è in generale osservato una buona dinamica della sostanza organica che viene ben preservata. Si è pertanto deciso di enfatizzare con ogni mezzo divulgativo l'importanza dell'agricoltura in contesto montano per il sequestro del carbonio. Nei confronti dell'Azienda biologica Carla Tassinari i ricercatori hanno evidenziato che, a dispetto delle buone produzioni agricole, la sostanza organica dei terreni aziendali è fortemente depauperata in quanto i processi di mineralizzazione sono più espressi di quelli di immobilizzazione, che portano alla conservazione del C organico e all'umificazione. Si consiglia pertanto apporti di fertilizzanti/ammendanti organici che devono essere interrati. Preciso monito è stato fornito anche all'Azienda Maccanti Vivai i cui terreni, benché estremamente ricchi di sostanza organica, dovuta all'origine torbosa, sono sottoposti a processi di impoverimento. In tale azienda è stato fortemente consigliato di minimizzare la profondità di aratura e di interrare i residui vegetali di sfalci e potature, effettuando ad hoc anche sovesci con piante che possano aiutare l'aumento della biodiversità delle popolazioni microbiche. L'esperienza di cooperazione è stata pertanto positiva in quanto ha arricchito i partner aziendali di conoscenze tecnico-scientifiche.</i> |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Azione 2 | Definizione dei criteri di campionamento e preparazione di parcelle coltivate con pratiche agricole "non convenzionali" |
| Unità aziendale responsabile | Partners aziendali (Maccanti Vivai; Azienda Agricola Biologica Carla Tassinari; Società Agricola I Rodi di Raemy Helen e C.) |
| Descrizione delle attività | <i>Nei casi di partner associati non si è richiesto di predisporre parcelle sperimentali, ma semplicemente di guidare il campionamento dei suoli in funzione delle distinte problematiche riscontrate nella conduzione aziendale. Per quello che concerne l'Azienda Maccanti Vivai, in qualità di partner effettivo, si è richiesto di preparare alcune parcelle sperimentali con modalità diverse dalle convenzionali a scopo sperimentale (parcelle di 1,3 ha), utilizzando lavorazioni minime (minimum tillage) o miste tra convenzionali e minime, interramento degli sfalci arborei e vegetali o asportazione degli stessi, utilizzo di macchinari (trattori) di diversa dimensione e peso per verificare la risposta della sostanza organica a distinte modalità di lavorazione e il diverso grado di compattazione del suolo. La sperimentazione in atto sta continuando oltre al termine del progetto per consentire la valutazione di conservazione e ripristino dei suoli su di un periodo più lungo e rilevante da un punto di vista agronomico.</i> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti, sperimentando lavorazioni del terreno che dovrebbero garantire una migliore preservazione della sostanza organica. Queste parcelle continueranno ad essere valutate in termini di risposta agronomica anche nel futuro per validare ed eventualmente integrare i risultati conseguiti. In termini operativi non si sono riscontrate criticità. 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 ulteriori per riconsiderare la gestione agronomica specifica dei loro terreni.</i> |

| | |
|------------------------------|--------------------------------------------------|
| Azione 3 | Campionamento e monitoraggio dell'area di studio |
| Unità aziendale responsabile | Università di Ferrara / Università di Bologna |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Descrizione delle attività | <i>I suoli delle aziende coinvolte sono stati campionati in reiterate visite dei ricercatori delle Università, avvalendosi anche di studenti che hanno presentato i casi di studio in elaborati di tesi, presso le diverse sedi aziendali. In queste visite si sono campionati i suoli attraverso minipit della profondità di 30 cm per uno studio della dinamica delle frazioni di sostanza organica (labili e recalcitranti) e della funzionalità ecologica per stimare la fertilità naturale e i diversi indici fisiologici e si sono aperti profili pedologici per uno studio di valutazione pedoclimatica ed ambientale. I campioni opportunamente etichettati sono stati portati nei laboratori delle Università di Ferrara e di Bologna per le determinazioni analitiche.</i> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti e non si sono riscontrate criticità.</i> |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Azione 4 | Valutazione dei macronutrienti nei suoli e nelle piante e dell'origine dei gas effetto serra (GHG) |
| Unità aziendale responsabile | Università di Ferrara |
| Descrizione delle attività | <i>Quest'azione è stata presa in carico dall'unità di ricerca dell'Università di Ferrara che ha analizzato tutti i suoli opportunamente campionati attraverso EA-IRMS (Elementar Analyzer Isotopic Mass Spectrometry), tecnica che consente di misurare le quantità di carbonio e di azoto e i relativi rapporti isotopici ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$). 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. Questo metodo risulta particolarmente innovativo in quanto altri laboratori effettuano queste due determinazioni con laboriosi pre-trattamenti, che rendono di difficile ripetibilità i risultati ottenuti. I risultati sono stati validati anche dall'utilizzo di un nuovo strumento (Soli TOC) 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 di fondamentale importanza per la 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.</i> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti e non si sono riscontrate criticità.</i> |

| | |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Azione 5 | Valutazione dello stato qualitativo della sostanza organica |
| Unità aziendale responsabile | Università di Bologna |
| Descrizione delle attività | <i>Quest'azione è stata presa principalmente in carico dall'unità di ricerca dell'Università di Bologna che ha analizzato tutti i terreni campionati. I campioni di suolo campionati nei minipit e i diversi orizzonti genetici campionati nei profili sono stati caratterizzati da un punto di vista delle proprietà chimico-fisiche (tessitura, densità, pH, carbonati, conducibilità elettrica, elementi totali analizzati in fluorescenza a raggi X, macro e microelementi analizzati su estratti in acqua regia) per avere le caratteristiche del pedoambiente. 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.</i> |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti e non si sono riscontrate criticità.</i> |
| Azione 6 | Valutazione del rilascio di gas serra (GHG) dai suoli |
| Unità aziendale responsabile | Università di Bologna |
| Descrizione delle attività | <i>Quest'azione è stata presa in carico dall'unità di ricerca dell'Università di Bologna che ha misurato in-situ con appositi rilevatori la quantità di CO₂ rilasciata dal terreno in diversi momenti vegetativi, fornendo pertanto dati tangibili sulla quantità di GHG rilasciati dai suoli agricoli investigati, dovuta alla respirazione eterotrofa del suolo stesso.</i> |
| Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate | <i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti e non si sono riscontrate criticità.</i> |
| Azione 7 | Calcolo della carbon footprint e definizione di "linee guida per il monitoraggio dei flussi di carbonio nel suolo" |
| Unità aziendale responsabile | Università di Ferrara |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Descrizione delle attività</p> | <p><i>Per comprendere i flussi di carbonio nei suoli è stata individuata una serie di parametri analizzati in laboratorio (TC, TOC, TIC, $\delta^{13}C_{TC}$, $\delta^{13}C_{TIC}$, $\delta^{13}C_{TOC}$, qCO_2, qM, $qMIC$, $Cmic$, $Nmic$, RB, $Ccum$) e misure di CO_2 rilasciate dal terreno. Nella loro totalità questi dati rappresentano una fotografia dello stato qualitativo dei terreni e aiutano a comprendere le dinamiche in atto. Per meglio comprendere quali sono le tecniche di lavorazione che meglio preservino la sostanza organica nei suoli i ricercatori del GO hanno partecipato a conferenze, corsi di specializzazione ed eventi del settore quali FierAgricola di Verona 2020 cercando di carpire informazioni tecnico scientifiche in merito alle best-practices da seguire. Sulla base delle esperienze maturate i responsabili scientifici del progetto Gianluca Bianchini e Livia Vittori Antisari hanno partecipato attivamente a una discussione inerente a tecniche agronomiche innovative che mirino a preservare la sostanza organica nei suoli, coinvolgendo anche operatori del settore extra-GO. Fine ultimo di quest'attività è stilare un decalogo di linee guida per un'agricoltura sostenibile e rispettose dei terreni. In tale ambito gli interlocutori principali Dr. Marco Rivaroli e Luigi Fenati, rispettivamente direttore e presidente della Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra, il geometra Alberto Cavallini (pioniere nell'utilizzo dell'agricoltura conservativa della provincia di Ferrara), alcuni costruttori di macchine agricole dedite a lavorazioni del terreno non invasive, imprenditori dediti alla produzione di Biochar, ricercatori del Crpa, Paolo Mantovi, e dell'Università cattolica del sacro Cuore Dr. Andrea Fiorini e alcuni funzionari della regione (Dr. Giampaolo Sarno e Dr. Lucio Bottarelli). Il gruppo di lavoro ha già effettuato al riguardo una tavola rotonda e un webinar sul "vertical tillage" e ha previsto l'organizzazione di un apposito convegno che si terrà a inizio 2021. Per quello che concerne i calcoli delle Carbon Footprint si è constatato che gli algoritmi proposti in letteratura non tengono in debito conto le dinamiche relative alla sostanza organica nei suoli e al carbonio che questi possono rilasciare.</i></p> <p><i>Nelle more di tale tematica, un operatore dell'Azienda Maccanti Vivaio, ha effettuato una valutazione delle ore lavoro impiegate con macchinari agricoli dedicate alle lavorazioni convenzionali e lo stesso per le ore dedicate alla lavorazione minima (minimum tillage), al fine di valutare la diversa emissione di Gas Serra (GreenHouse Gases GHG) nelle due situazioni estreme. Come è noto, l'Impronta di Carbonio o Carbon Footprint (CF) è lo strumento sempre più utilizzato per la quantificazione e il controllo delle emissioni di GHG.</i></p> <p><i>Utilizzando uno strumento di calcolo disponibile in rete: "The Greenhouse Gas Protocol" e nello specifico la parte dedicata alle emissioni di veicoli Transport Tool (Version 2.6) inserendo nella casella tipologia di dati di attività il tipo di combustibile usato: Gasoline/ Petrol.</i></p> <p><i>Con tale strumento è stato evidente verificare che tra le due tipologie di lavorazioni si ha una emissione di GHG doppia nel caso della lavorazione tradizionale rispetto a quella "minimum tillage", considerando circa 4 parcelle da 1,3 ha ciascuna e utilizzando il medesimo trattore. Risultato: 2,38 teq CO_2 contro 1,136 teq CO_2 del minimum tillage.</i></p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p><i>Gli obiettivi sono stati raggiunti, e inoltre i membri del GO risultano essere nel comitato promotore per un'agricoltura conservativa, che stilerà a breve un preciso decalogo a cui si deve ispirare un'agricoltura sostenibile.</i></p> |
| <p>Azione 8</p> | <p>Divulgazione</p> |
| <p>Unità aziendale responsabile</p> | <p>Consorzio Futuro Ricerca</p> |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Descrizione delle attività</p> | <p>Quest'azione è stata coordinata dal Consorzio Futuro in Ricerca che ha in primis curato la realizzazione di un dettagliato sito web (https://savesoc2.com/) che è stato via via aggiornato durante l'evoluzione del progetto. I dipendenti CFR hanno pianificato le modalità con cui divulgare le esperienze del progetto organizzando eventi divulgativi e promuovendo partecipazione a tavole rotonde, scuole di specializzazione, fiere del settore:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 31/08/2020 – 04/09/2020 – Scuola Estiva "I Suoli dell'Appennino e Sequestro di Carbonio: casi di studio utilizzando R e GIS" organizzato da: Università di Bologna e Società Italiana di Scienza del Suolo e Società Italiana di Pedologia, Ente Parco dell'Emilia Centrale - 10/02/2020 – 13/02/2020 - Scuola Invernale a Torino "Agricultural Chemistry Winter School - Plant-soil-microbe interactions and ecosystem dynamics in a changing environment" - 31/01/2020 - Convegno a Fieragricola di Verona "Strategie per riportare il carbonio nei terreni agricoli" - 28/11/2019 – 30/11/2019 - FuturPera - "Salone Internazionale della Pera" (Ferrara) - 18/09/2019 – 20/09/2019 - "RemTech Expo - International Networking, Exhibition, Conferences and Training" - 01/07/2019 – 05/07/2019 - Scuola Estiva a Sestola (MO) "Sviluppo Sostenibile della Montagna- Statistica ambientale con R" organizzato da: Società Italiana di Pedologia (SIpe) e Dipartimento di Scienze Statistiche "Paolo Fortunati" (Università di Bologna) - 05/04/2019 - Convegno "Il Bel Paesaggio" Sala Congressi FICO di Bologna <p>CFR ha segnalato targets editoriali utili a dare visibilità al progetto al di fuori dell'ambiente accademico. Si menzionano al riguardo articoli divulgativi pubblicati da riviste quali "Terra e Vita" edito da Edagricole, "Ecoscienza" edito da Arpa e "Sapere" edito da Edizioni Dedalo. CFR ha inoltre discusso con i ricercatori del GO a quali conferenze scientifiche fosse più opportuno presentare i risultati (congresso "SoWaSe- Soil and Water Security: challenges for the next 30 years!"; EGU-European Geosciences Union) e a quali riviste scientifiche a carattere internazionale dedicare i futuri articoli (redatti in lingua inglese) in preparazione. CFR ha inoltre curato la preparazione del webinar del 13 Luglio 2020 e si prenderà in carico l'organizzazione di un eventuale final workshop a emergenza sanitaria da COVID-19 conclusa.</p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti e non si sono riscontrate criticità.</p> |
| <p>Azione 9</p> | <p>Formazione</p> |
| <p>Unità aziendale responsabile</p> | <p>DINAMICA</p> |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Descrizione delle attività</p> | <p><i>L'intervento formativo è stato realizzato con la durata di 35 ore ed è stato articolato in due moduli, il primo di 14 ore ed il secondo di 21 ore, 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>Il percorso formativo si è svolto alternando le diverse metodologie didattiche prevedendo:</i></p> <p><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></p> <p><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></p> <p><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> <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>Infine, è stata realizzata una verifica finale di apprendimento atta a verificare l'acquisizione da parte dei singoli utenti di conoscenze/capacità in relazione all'oggetto della formazione. Al termine del percorso quindi è stato somministrato un test di valutazione, composto da n° 10 domande a risposta aperta e chiusa, correlato da apposita griglia di valutazione.</i></p> |
| <p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p> | <p><i>Gli obiettivi previsti nell'originario piano sono stati completamente perseguiti al termine dei 2 moduli formativi previsti e non si sono riscontrate criticità.</i></p> <p><i>In particolare:</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 illustrati i problemi che la riduzione dei livelli di sostanza organica sta oggi creando: compattamento dei terreni, riduzione della capacità di approfondimento delle radici, riduzione della capacità di ritenzione dell'acqua con frequenti ruscellamenti, e riduzione della microflora nel terreno. Queste tematiche sono importanti al fine di evitare anche una riduzione dello sviluppo della pianta, maggior sensibilità agli stress e minore produzione.</i></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

| Cognome e nome | Mansione/qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|--------------------|-------------------------------------------------------|---------|----------------|
| | Prof. UniFE | Coordinazione delle attività del progetto | 130 | 4.942,60 euro |
| | Prof. UniBO | Definizione delle attività di campionamento dei suoli | 34 | 1.385,36 euro |
| | Ricercatrice UniBO | Definizione delle attività di campionamento dei suoli | 18 | 527,32 euro |
| | Dip tempo ind CFR | Attività di divulgazione intra-GO | 281 | 8.224,87 euro |
| | | | Totale: | 15.080,15 euro |

AZIONE 2

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------|
| | Operatore agricolo di Az. Maccanti Vivai | Assistenza durante campionamenti e preparazione di parcelle aziendali dedite a tecniche non convenzionali. | 518 | 7.802,73 euro |
| | | | Totale: | 7.802,73 euro |

AZIONE 3

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------|---------------|
| | Assegnista di Ricerca UniFE | Campionamento terreni | 190 | 2.811,32 euro |
| | Borsista di UNIFE | Campionamento terreni | 573 | 2.200,00 euro |
| | Assegnista di Ricerca UniBO | Campionamento terreni | 203 | 2.883,27 euro |
| | | | Totale: | 7.894,59 euro |

AZIONE 4

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------|----------------|
| | Assegnista di Ricerca UniFE | Esecuzione di analisi di laboratorio | 667 | 9.417,92 euro |
| | Borsista di UNIFE | Esecuzione di analisi di laboratorio | 286 | 4.400,00 euro |
| | Borsista di UNIFE | Esecuzione di analisi di laboratorio | 573 | 6.000,00 euro |
| | | | Totale: | 19.817,92 euro |

AZIONE 5

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------|----------------|
| | Prof. UniBO | Esecuzione di analisi di laboratorio | 85 | 3.497,70 euro |
| | Prof. UniBO | Esecuzione di analisi di laboratorio | 86 | 2.489,16 euro |
| | Assegnista di Ricerca UniBO | Esecuzione di analisi di laboratorio | 992 | 14.400,04 euro |
| | | | Totale: | 20.386,90 euro |

AZIONE 6

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|-----------------------------|----------------------------------------------------|---------|---------------|
| | Prof. UniBO | Installazione e manutenzione dei rilevatori di CO2 | 96 | 3.941,12 euro |
| | Prof. UniBO | Installazione e manutenzione dei rilevatori di CO2 | 72 | 2.088,72 euro |
| | Assegnista di Ricerca UniBO | Installazione e manutenzione dei rilevatori di CO2 | 241 | 3.487,73 euro |
| | | | Totale: | 9.517,57 euro |

AZIONE 7

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|
| | Prof. UniFE | Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche. Ricerca di metodiche agricole innovative. Networking con realtà extra-GO per la definizione di best-practices. | 340 | 12.926,80 euro |
| | Assegnista di Ricerca UniFE | Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche | 600 | 8.574,51 euro |
| | Assegnista di Ricerca UniFE | Elaborazione ed interpretazione dati in relazione alle pratiche agronomiche | 1144 | 16.376,64 euro |
| | Operatore agricolo di Az. Maccanti Vivai | Stima delle ore e della tipologia di lavorazione in parcelle convenzionali e sperimentali | 38 | 572,93 euro |
| | | | Totale: | 38.450,88 euro |

AZIONE 8

| Cognome e nome | Mansione/ qualifica | Attività svolta nell'azione | Ore | Costo |
|----------------|------------------------|-------------------------------------|---------|----------------|
| | Dip tempo ind CFR | Realizzazione di eventi divulgativi | 518 | 15.161,86 euro |
| | | | Totale: | 15.161,86 euro |

AZIONE 9

Il costo totale delle attività di formazione corrisponde a 6070,40 euro e viene finanziato al 90% (5463,36 euro). Il 10% restante è stato coperto da quote pro-capite dei partecipanti.

2.3 Trasferte

AZIONE 1

| Cognome e nome | Descrizione | Costo |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| | Meeting a FierAgricola di Verona (29/01/2020) | 84,90 euro |
| | Meeting a Imola durante conferenza scientifica (06/06/2018) | 192,08 euro |
| | Meeting presso l'Azienda I Rodi di Fanano (15/10/2019) | 91,28 euro |
| | Meetings presso l'Azienda biologica Carla Tassinari (mattina) e l'Azienda Maccanti Vivai (pomeriggio) (07/11/2019) | 68,23 euro |

| | | |
|--|--------------------------------------------|-------------|
| | Visita in Azienda a Ostellato (19/10/2017) | 22,50 euro |
| | Riunione a Ferrara (04/10/2017) | 35,98 euro |
| | Totale: | 494,97 euro |

AZIONE 3

| Cognome e nome | Descrizione | Costo |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| | Campionamento a Ostellato (03/07/2018) | 39,00 euro |
| | Campionamento a Bondeno (23/05/2018) | 10,00 euro |
| | Campionamento a Ostellato (07/06/2018) | 44,74 euro |
| | Campionamento a Ostellato (04/06/2018) | 17,00 euro |
| | Campionamento a Fanano (02/11/2017) | 69,00 euro |
| | Campionamento a Ostellato (19/10/2017) | 22,50 euro |
| | Campionamento a Ostellato (19/10/2017) e Campionamento a Fanano (02/11/2017) | 74,66 euro |
| | Campionamento a Ostellato (19/10/2017) | 75,82 euro |
| | Totale: | 352,72 euro |

2.4 Attività di formazione

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

L'attività di formazione è stata condotta da DINAMICA con l'organizzazione del corso formativo intitolato "Il ruolo della sostanza organica per la salvaguardia del patrimonio agro-ambientale" (Proposta 5015709, sostegno 5150931).

L'attività formativa ha fornito indicazioni tecniche sul ruolo del sequestro del carbonio relativamente alle caratteristiche fisiche, chimiche e microbiologiche del terreno. Sono stati affrontati temi quali:

la riduzione dei livelli di sostanza organica che sta oggi creando problemi di compattamento dei terreni;

la riduzione della capacità di approfondimento delle radici;

la riduzione della capacità di ritenzione dell'acqua con frequenti ruscellamenti;

la riduzione della microflora nel terreno.

Tutto questo spesso determina anche una riduzione dello sviluppo della pianta, maggior sensibilità agli stress, minore produzione.

L'attività formativa ha dato informazioni 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 destinatari della proposta formativa sono stati operatori agricoli in linea con i requisiti di accesso al corso, che volevano approcciarsi al tema della sostanza organica per capire come gestire i propri terreni, quali lavorazioni mettere in atto, quali colture alternare, quali tipi di concimazione e quali pratiche agronomiche adottare.

I docenti hanno trasferito le proprie conoscenze con esempi pratici ben calati sulla realtà produttiva locale.

Gli argomenti trattati sono stati coerenti con le necessità del mondo produttivo, ma anche legati al rispetto dell'ambiente, al mantenimento della biodiversità, alla riduzione dell'emissione di CO₂.

L'attività ha previsto lezioni in cui i partners aziendali si sono confrontati a vicenda comprendendo le problematiche dei suoli in distinti contesti pedoclimatici. Di particolare interesse sono state anche le lezioni in campo durante le quali i partecipanti hanno osservato strumenti e tecnologie innovative per l'agricoltura conservativa per minimizzare il depauperamento della sostanza organica.

Il corso ha avuto una durata di 35 ore e si è articolato in:

lezioni in aula, analisi di casi pratici e lezioni in campo.

Modulo 1 – n. 14 ore N. proposta 5015709

Partecipanti 8

n. quote rendicontate 8

Spesa: € 2.428,16 – importo contributo richiesto: € 2.185,34 –importo quote ticket: 242,82

Modulo 2 – n. 21 ore N. proposta 5015709

Partecipanti 8

n. quote rendicontate 8

Spesa: € 3.642,24 – importo contributo richiesto: € 3.278,02 –importo quote ticket: 364,22

Per un totale di

Spesa: € 6.070,40 – importo contributo richiesto: € 5.463,36 –importo quote ticket: 607,04

3 - Criticità incontrate durante la realizzazione dell'attività

Lunghezza max 1 pagina

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Criticità tecnico-scientifiche | <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> |
| Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.) | <p>Dal punto di vista del personale una criticità è emersa quando il ricercatore Dr. (titolare di assegno di ricerca presso l'Università di Ferrara) ha consegnato le sue dimissioni in seguito alla vincita di un concorso presso un altro ateneo. È nata pertanto la necessità dell'assunzione di altri collaboratori che sono stati inquadrati con borse di studio selezionate attraverso appositi bandi e procedure concorsuali.</p> <p>Una figura tecnica adeguata (un secondo assegnista di ricerca previsto nel piano gestionale) è stato individuato solo nell'ultimo anno del progetto nella persona di Dr.ssa</p> <p>Difficile è risultato essere il periodo finale del progetto a causa dell'emergenza sanitaria COVID-19. In tale periodo il coordinamento del GO è avvenuto principalmente attraverso i video incontri, incluso l'evento finale che è stato realizzato in modalità webinar.</p> |
| Criticità finanziarie | <p>Non sono state riscontrate criticità finanziarie.</p> |

4 - Altre informazioni

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

È precisa intenzione dei membri del GO continuare la ricerca e la sperimentazione sulle tematiche di SaveSOC2 anche dopo la conclusione formale del progetto, attingendo da proprie risorse. In tale contesto il Dr. Gian Marco Salani ha iniziato un corso di dottorato con una tesi dal titolo "Studio geochimico della sostanza organica nei terreni agricoli dell'areale ferrarese: confronto con dati pregressi e stima del depauperamento" che si concluderà a Marzo 2023 e la Dr.ssa Valentina Brombin è titolare di un assegno di ricerca "Valutazione dei flussi di carbonio in distinti contesti pedogenetici nella Pianura Padana e nell'Appennino modenese" che si concluderà a Giugno 2022. Le risorse economiche per entrambi i ricercatori vertono su fondi di ricerca dell'Università di Ferrara. L'Università di Ferrara ha inoltre investito nel 2019 circa 400.000 euro per acquistare ulteriori strumenti funzionali all'analisi delle distinte forme di carbonio nei suoli.

I membri del GO sono inoltre inseriti in un gruppo di lavoro che promuove l'agricoltura conservativa e stanno co-organizzando un convegno sulla tematica del "vertical tillage", tecnica che risulta meno invasiva per i terreni al fine di preservare la relativa sostanza organica. Questo gruppo di lavoro intende 1) stilare un decalogo di best-practices che gli agricoltori dovrebbero perseguire per un'agricoltura più sostenibile e 2) promuovere un'associazione di agricoltori che aderiscano al protocollo conservativo, a cui venga riconosciuto un sostegno finanziario per il comportamento virtuoso nella gestione dei propri terreni.

Per quanto concerne la divulgazione dei risultati sono in preparazione due articoli scientifici il primo dei quali dal titolo "Soil carbon investigation in three pedo-climatic and agronomic settings of the Emilia-Romagna region (Northern Italy)" verrà a breve inviato alla rivista internazionale open access "Sustainability".

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

La ricerca e la sperimentazione hanno evidenziato il ruolo importantissimo che l'agricoltura riveste per il sequestro del carbonio e la minimizzazione del rilascio di gas serra. Vanno pertanto promosse tutte le possibili iniziative che spronino gli operatori del settore agricolo a perseguire tecniche agronomiche conservative. Fra le misure previste sarebbe auspicabile premiare le aziende che sottoposte a precisi controlli possano dimostrare un reale aumento della sostanza organica nei propri suoli. Un'iniziativa simile è già operativa in altri paesi europei quali l'Austria (https://www.oekoregion-kaindorf.at/70000_fuer_humusbauern.106.html) ed è oggetto di studio in altri gruppi di lavoro come quelli del progetto interreg GECO2 che vede come lead partner l'Arpa. In tale contesto sarebbe opportuno partecipare al workshop EIP-AGRI intitolato "Towards Carbon Neutral Agriculture" previsto per Settembre 2020 in Estonia, ma che è stato posticipato per l'emergenza COVID-19 alla primavera 2021 (<https://ec.europa.eu/eip/agriculture/en/event/>). Questa rappresenterebbe la sede ideale per riportare le riflessioni emersi dal progetto e i suggerimenti per promuovere opportune best-practices. Fra le situazioni pedo-climatiche investigate, i terreni in contesto montano sembrano essere quelli con indici di qualità della sostanza organica migliori, pertanto si suggerisce di incentivare sotto ogni forma l'attività di aziende montane, dove purtroppo condizioni di marginalità vedono una progressiva dismissione di molte aziende.

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 12/10/2020

Il progetto SaveSOC2, focus area 5E, per promuovere la conservazione e il sequestro di carbonio nel suolo agroforestale

1) Il contesto

Il suolo svolge funzioni ecosistemiche necessarie al sostentamento del genere umano: funzioni di approvvigionamento (prodotti alimentari, biomassa, materie prime, etc.); funzioni di regolazione (regolazione del clima, cattura e stoccaggio del carbonio, controllo dell'erosione e dei nutrienti, regolazione della qualità dell'acqua, protezione e mitigazione dei fenomeni idrologici estremi, etc.); funzioni di supporto (supporto fisico, decomposizione e mineralizzazione di materia organica, habitat delle specie, conservazione della biodiversità, etc.) e funzioni culturali (servizi ricreativi, paesaggio, patrimonio naturale, archeologico, etc.). Il suolo è considerato una risorsa non rinnovabile e quindi vulnerabile, dato che la sua formazione è un processo estremamente lento: si stima che siano necessari migliaia di anni per creare 1 cm di suolo (FAO, 2015). Nonostante ciò, il suolo viene spesso gestito con scarsa consapevolezza e attenzione, aumentando i rischi di perdita delle sue funzioni. Le pratiche agricole non sostenibili, così come le dinamiche insediative e il “consumo di suolo”, le variazioni d'uso e gli effetti locali dei cambiamenti ambientali, compresi i cambiamenti climatici globali possono innescare e far progredire gravi processi degradativi del suolo che ne limitano o inibiscono totalmente la eco-funzionalità. Inoltre, i molteplici processi di degradazione del suolo portano ad aumentare le emissioni in atmosfera di gas ad effetto serra (es.: CO₂, CH₄, NO_x) che incrementano il fenomeno del surriscaldamento globale. Dopo gli oceani, la sostanza organica contenuta nel suolo rappresenta, infatti, la più importante riserva di carbonio (C), sequestrandone circa 2400 miliardi di tonnellate (Minasny et al., 2017). Per cui, la sostanza organica, oltre ad avere proprietà chimiche, fisiche e biologiche essenziali per gli ecosistemi ambientali, può mitigare le emissioni antropiche. 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. 1). Infatti, 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).

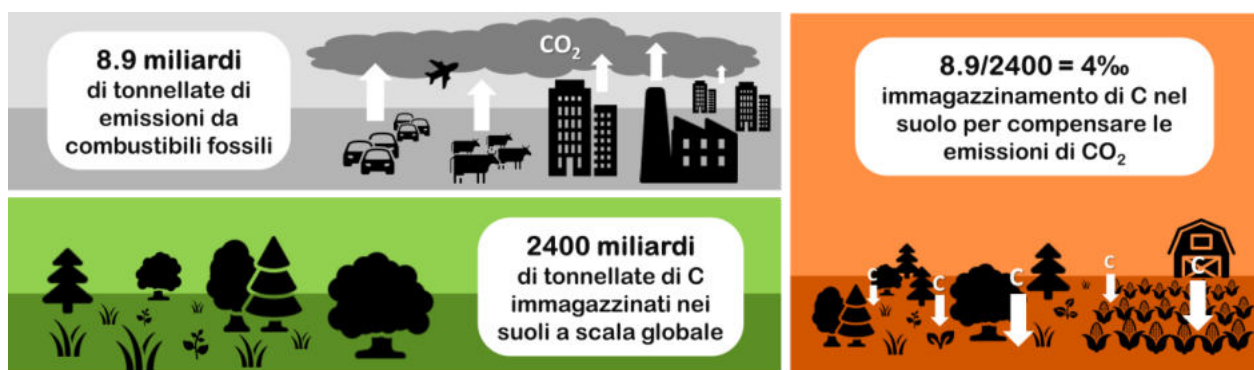


Fig. 1. Le attività antropiche ogni anno producono 8.9 miliardi di tonnellate di emissioni da combustibili fossili; allo stesso tempo si stima che 2400 miliardi di tonnellate di carbonio siano stoccate nei primi due metri di suolo. Il rapporto fra le emissioni di CO₂ prodotte dall'uomo e lo stoccaggio di carbonio nella materia organica del suolo (8.9/2400) risulta essere 0.4‰ o 4‰ (schema adattato da Minasny et al., 2017).

La *Soil Thematic Strategy* [EU-COM(2006) 231] ha individuato nella perdita di sostanza organica dei suoli (principalmente agrari) una forte minaccia che può innescare e portare alla sua completa degradazione, perdita di biodiversità, fino alla desertificazione. La perdita di C organico dai suoli è una realtà molto pressante per il comparto agricolo e in particolare, nel 2015 il Partenariato per l'Innovazione "EIP-AGRI Focus Group on *Soil Organic Matter content in Mediterranean regions*" ha individuato uno scarso contenuto di sostanza organica, soprattutto nelle aree dell'Europa meridionale. Già dai primi anni 2000 la letteratura del settore evidenziava come una serie di processi degradativi dei suoli agrari portassero alla diminuzione del contenuto della sostanza organica e della biodiversità, all'incidere dell'erosione idrica, eolica e meccanica, al compattamento, alla salinizzazione e altri fenomeni causati da una gestione non sostenibile del suolo. Per cercare di invertire questo trend, si stanno introducendo pratiche agricole virtuose (*best practices*, es. agricoltura conservativa, agroforestazione) volte a preservare e incrementare la sostanza organica all'interno dei suoli agrari, con il duplice obiettivo di ottenere prodotti agricoli di qualità, contribuendo alla sostenibilità ambientale e alla mitigazione del cambiamento climatico.

Consci che questi fenomeni di depauperamento della sostanza organica stiano interessando principalmente l'areale Mediterraneo, la Regione Emilia-Romagna, all'interno del Programma di Sviluppo Rurale (PSR) 2014-2020, ha concepito la focus area 5E specificatamente dedicata a PROMUOVERE LA CONSERVAZIONE E IL SEQUESTRO DI CARBONIO NEL SETTORE AGRICOLO E FORESTALE, declinando il compito di sviluppare iniziative a scala regionale a gruppi operativi (GO) formati da enti di ricerca e aziende agricole. In tale quadro, il GO SaveSOC2 (*Save Soil Organic Carbon*, <https://savesoc2.com/>) si è occupato di monitorare lo stato quantitativo e qualitativo della sostanza organica nei suoli regionali in tre distinti contesti pedo-climatici e agronomici, rappresentati da: **l'azienda biologica "I Rodi"** vocata alla coltura dei piccoli frutti sull'Appennino modenese, **l'azienda biologica/biodinamica orto-frutticola "Carla Tassinari"** nell'alta Pianura ferrarese e **l'azienda "Vivai Maccanti"** dedita a vivaismo di astoni in aree di recente bonifica della bassa Pianura ferrarese (Valle del Mezzano).

2) *Le metodologie analitiche*

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 si sono dotati di strumenti e protocolli, specificatamente dedicati alla quantificazione delle varie tipologie di carbonio presenti nel suolo (carbonio organico e carbonio inorganico), opportunamente discriminate su base termica, secondo la procedura proposta da Natali et al. (2018). La metodica prevede la determinazione del C organico (che contribuisce per il 58% alla sostanza organica) e del C inorganico (carbonati) attraverso la combustione del campione (accuratamente pesato) e la successiva determinazione della CO₂ rilasciata attraverso un rilevatore a infrarossi. Variando infatti 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 °C, dalle frazioni di carbonio inorganico (SIC - *Soil Inorganic Carbon*), legate ai minerali carbonatici che rilasciano CO₂ a temperature superiori a 600 °C (Fig. 2a). 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, attraverso un sistema analitico denominato EA-

IRMS (Elemental Analyser-Isotope Ratio Mass Spectrometer; Fig. 2b). 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).

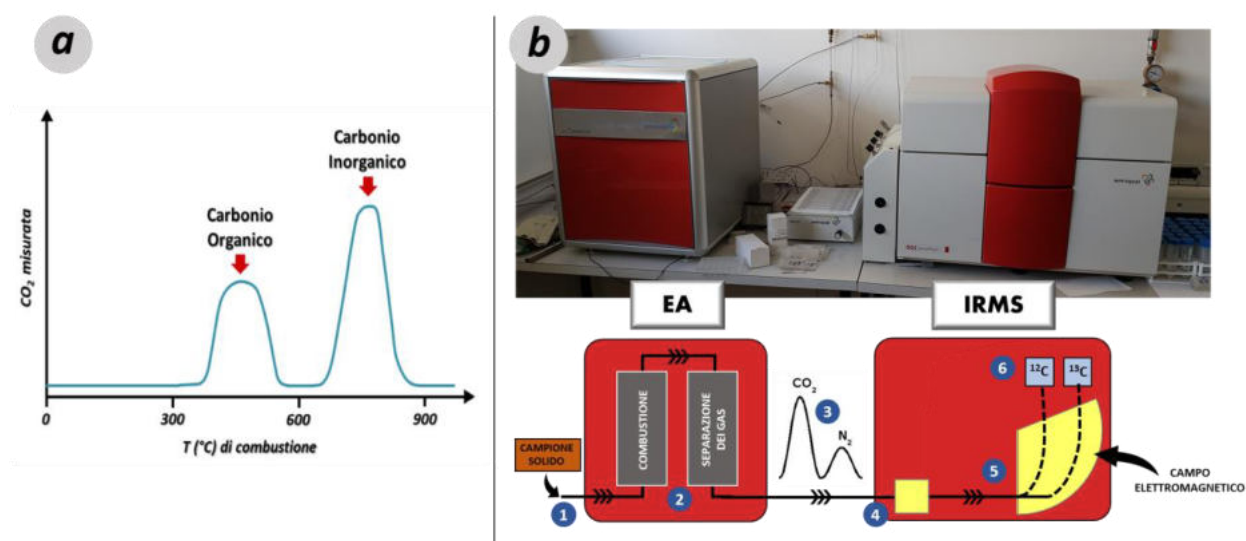


Figura 2. a) Diagramma di restituzione dello strumento che investiga la stabilità termica dei composti, discriminando in rampa di temperatura il carbonio organico (che destabilizza a $T < 600\text{ }^\circ\text{C}$) da quello inorganico (che destabilizza a $T > 600\text{ }^\circ\text{C}$) presente nei 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.

Parallelamente, i ricercatori del Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agro-Alimentari dell'Università di Bologna hanno studiato, nei suoli 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 microorganismi 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 microorganismi 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.

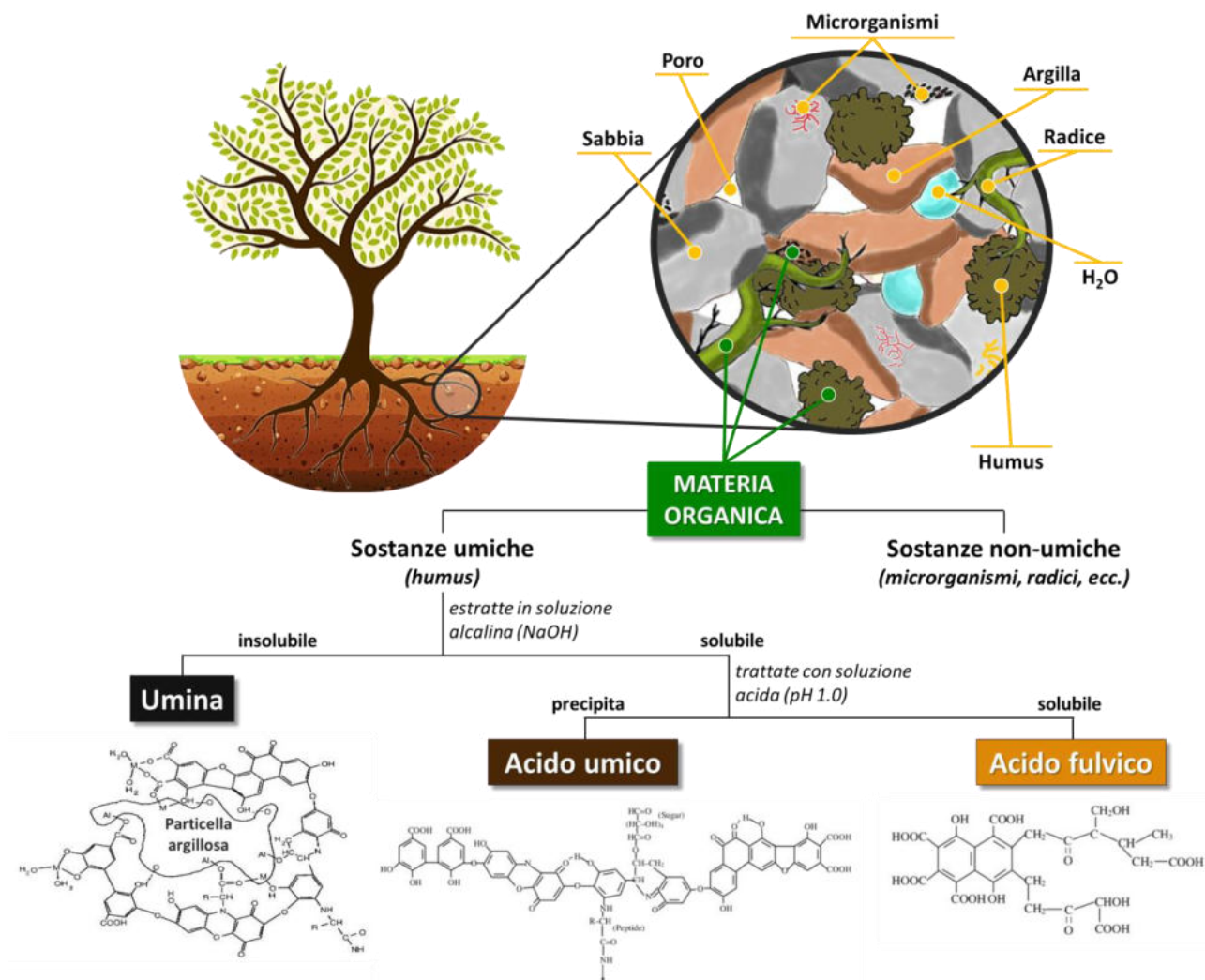


Fig. 3. Sopra: rappresentazione semplificata della composizione del suolo e della materia organica; sotto: schema per l'estrazione e il frazionamento chimico delle componenti della sostanza organica.

3) Parametri della qualità dei suoli

I microorganismi rappresentano, infatti, una componente di fondamentale importanza per la fertilità dei suoli e svolgono un ruolo insostituibile, in mancanza del quale il terreno rappresenterebbe semplicemente un inerte supporto meccanico. La presenza dei microorganismi nei diversi suoli è influenzata dai fattori ambientali, nonché dalle caratteristiche chimico fisiche del suolo stesso e dal suo grado di fertilità. È noto che la biomassa microbica diminuisca con la profondità, a causa principalmente del decremento della sostanza organica. Inoltre, la capacità delle diverse specie microbiche di utilizzare diversi composti organici e nutrienti porta ad una diversa distribuzione spaziale delle comunità stesse all'interno del terreno. La respirazione del suolo è uno dei parametri più usati per quantificare le attività microbiche dei suoli. L'assunto del metodo è che le cellule metabolicamente attive richiedono un apporto costante di nutrienti ed energia che, per la microflora eterotrofa, deriva dalla trasformazione della sostanza organica del suolo. Il tasso di respirazione

basale è una misura della respirazione microbica essenziale ed è comunemente considerata come decomposizione complessiva della sostanza organica (Anderson, 1982). Sono stati utilizzati diversi indici ecofisiologici che si basano sulle prestazioni fisiologiche (esempio respirazione) della biomassa microbica totale per unità di tempo. Qualsiasi impatto ambientale che influenzerà le comunità microbiche dovrebbe quindi essere rilevabile dall'indicatore.

Il rapporto tra C della biomassa microbica (C_{mic}) e C organico del suolo (C_{mic}/OC ; *qMIC* *quoziente microbico*) riflette il contributo della biomassa microbica al carbonio organico del suolo (Anderson e Domsch, 1989). Indica anche la disponibilità del substrato per la microflora del suolo o, al contrario, la frazione di materia organica recalcitrante nel suolo; in effetti questo rapporto diminuisce quando diminuisce la concentrazione di materia organica disponibile (Brookes, 1995). Il qCO_2 (la respirazione basale per unità di C di biomassa o *quoziente metabolico*) è stato ampiamente utilizzato in letteratura e si basa originariamente sulla teoria di Odum sulla successione degli ecosistemi. Sebbene la sua affidabilità come bioindicatore del disturbo o dello sviluppo dell'ecosistema sia stata recentemente criticata da alcuni autori, si riconosce che ha una preziosa applicazione come misura relativa dell'efficienza con cui la biomassa microbica del suolo utilizza risorse C e il grado di limitazione del substrato per i microbi del suolo (Wardle and Ghani, 1995, Dilly and Munch, 1998). Il *qM* (*quoziente di mineralizzazione*) esprime la frazione del carbonio organico totale mineralizzato durante il tempo di incubazione (Dommergues, 1960, Pinzari et al., 1999).

Gli indici microbici sopraelencati sono stati calcolati come segue:

$$qMIC = \mu\text{g di biomassa C} \times \mu\text{g carbonio organico totale}^{-1} \times 100 \text{ (Anderson e Domsch, 1989);}$$

$$qCO_2 = (\mu\text{g C-CO}_2 \text{ basale h}^{-1} \times \mu\text{g di biomassa C}^{-1}) \times 10^3 \text{ (Dilly and Munch, 1998);}$$

$$qM = \mu\text{g C-CO}_2 \text{ cumulativo} \times \mu\text{g carbonio organico totale}^{-1} \times 100 \text{ (Pinzari et al., 1999);}$$

Il rapporto C_{mic}/OC è sensibile agli "stress" nutrizionali e valori inferiori a 2 sono da considerare critici per terreni con pH neutro (Anderson, 2003). Inoltre, è ragionevole supporre che uno squilibrio nutrizionale tra C e N possa aver alterato lo stato fisiologico delle comunità microbiche con variazioni nel tempo della loro composizione. Anderson (2003) fa riferimento allo stesso valore critico, menzionato per C_{mic}/OC , anche con riferimento all'indicatore qCO_2 , affermando che valori superiori a 0.2 del quoziente metabolico indicano una comunità microbica energeticamente meno efficiente. I cambiamenti nella disponibilità di nutrienti possono modificare il fabbisogno energetico microbico di mantenimento. Il basso quoziente microbico (*qMIC*, C_{mic}/OC) e l'alto quoziente metabolico (qCO_2) riflettono un uso meno efficiente dei substrati organici da parte della biomassa microbica (Anderson, 2003, Pinzari et al., 1999).

Per i suoli investigati in questo progetto è stato applicato anche l'Indice di Fertilità Biologica (IBF), proposto per il monitoraggio della qualità dei suoli in Italia (Pompili et al., 2008; Renzi et al., 2017), che si basava sulla sostanza organica del suolo ($SOM=OC \times 1,724$), la respirazione basale media, che costituisce la respirazione potenziale della biomassa microbica del suolo (RB), respirazione cumulativa (C_{cum}), carbonio della biomassa microbica (C_{mic}), quoziente metabolico (qCO_2) e di mineralizzazione (*qM*). L'indicatore si è dimostrato sensibile ed è stato applicato per discriminare lo stato di fertilità biologica dei suoli (Pompili et al., 2008; Renzi e Benedetti, 2015; Renzi et al, 2017).

L'IBF è stato semplificato da ulteriori indagini (Vittori Antisari et al., submitted), togliendo alcuni termini ridondanti e variabili autocorrelate quali RB e Ccum e tiene quindi 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 (Tabella 1), come indicato da Francaviglia et al., 2017. La somma algebrica dei punteggi per ciascun parametro fornisce le classi proposte di fertilità biologica del suolo (Tabella 2).

Tabella 1. Punteggi dei diversi parametri dell'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 2. Classi di fertilità dell'Indice di Fertilità Biologica (IBF).

| Classe fertilità | I | II | III | IV | V |
|------------------|--------|------------|-------|-------|-------|
| | stress | Pre-stress | medio | buona | alta |
| Punteggio IBF | 4 | 5-8 | 9-12 | 13-16 | 17-20 |

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

Come accennato precedentemente, le aziende partner del progetto SaveSOC2 sono state: 1) **l'azienda biologica I Rodi**, 2) **l'azienda biologica/biodinamica di Carla Tassinari** e 3) **l'azienda Maccanti Vivai**, 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.

4.1 L'Azienda biologica I Rodi dell'Appennino modenese

L'Azienda "I Rodi", situata a Fanano nell'Appennino modenese (44°13'20''N, 10°47'37''E), è dedita alla coltivazione di piccoli frutti quali per esempio i lamponi.

Per lo sviluppo di questa azienda risulta prioritario verificare che le specifiche condizioni del delicato ecosistema non stiano mutando, pregiudicando la natura della sostanza organica che è essenziale per la crescita dei frutti di bosco. Infatti, alle problematiche legate al contesto pedo-climatico montano (particolarmente sfavorevole alla piena produttività di alcune colture) si possono sommare quelle che derivano dall'erosione dei suoli e dalla conseguente perdita di SOC.

I titolari hanno lamentato sofferenza fisiologica delle piante e perdite di produttività in una particolare parte dell'azienda dedicata alla coltura dei lamponi e accurate analisi sono state dedicate a comprenderne la motivazione.

4.1.1 Inquadramento geologico e pedologico

Gran parte dell'Azienda ricade nel tratto terminale di una lingua di materiale eterogeneo ed eterometrico accumulato per gravità e ruscellamento (a3-Depositi di versante, Fig. 4 e Fig. 5). L'origine dei materiali è da attribuire principalmente a marne e marne calcaree, grigie, con rare intercalazioni di siltiti ed arenarie fini grigio-chiare, giallastre per alterazione (MMA-Marne di Marmoreto) (Fig. 4 e Fig. 5).



Inquadramento geolitologico
Depositi quaternari
a2 = Frane quiescenti
a3 = Depositi di versante s.l. Liguridi.
Gruppo del Cervarola Liguridi.
SLT=Arenarie dello Scoltenna Liguridi.
Successione Modino
VLR= Arenaria di Vallorsara
MMA = Marne di Marmoreto
AVC = Unità argilloso calcarea

Fig. 4. Inquadramento dell'area dell'Azienda I Rodi.

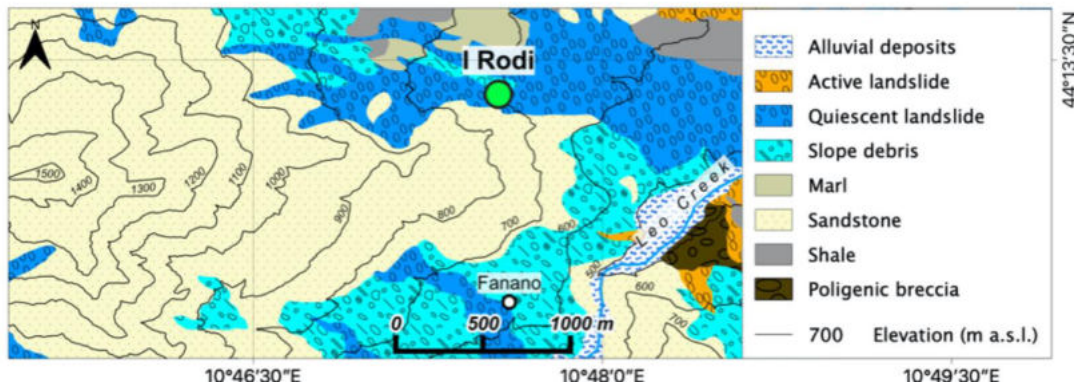


Fig. 5. Inquadramento geolitologico dell'area de dell'Azienda I Rodi. Particolare della cartografia della zona di Fanano. Modificato da: Carta Geologica Regionale 1:25.000 Regione Emilia-Romagna- Fanano – 236 SO Foglio 236-Pavullo nel Frignano.

I suoli aziendali investigati sono stati suddivisi in tre appezzamenti: un sito non coltivato (“incolto”), un sito con piante di lampone a bassa produttività (“piante sofferenti”) e un sito con piante di lampone ad alta produttività (“piante non in sofferenza”). Per ognuno di essi sono stati campionati i livelli superficiali di suolo (0- 15 e 15-30 cm), ovvero quelli più interessati da pratiche agricole (Fig. 6).



Fig. 6. Aree di indagine dell'Azienda de I Rodi

Nei due appezzamenti utilizzati per la coltivazione del lampone, sono stati aperti due profili (HEL 7 e HEL 8, rispettivamente per l'area "piante sofferenti" e "piante non in sofferenza"), per descrivere e campionare gli orizzonti genetici (Fig. 7 e Fig.8).

Le proprietà chimicofisiche degli orizzonti dei due profili sono presentati in Tabella 3.

Tabella 3. Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti dei due profili dell'Azienda I Rodi.

| Profilo | Orizzonte | Profondità cm | pH | EC μS/cm | CaCO ₃ g/kg | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg | TOC g/kg |
|--------------|-----------|------------------|------|-------------|---------------------------|----------------|--------------|-----------------|-------------|
| HEL 7 | A | 0-18/23 | 7.29 | 269 | 16.2 | 312 | 446 | 242 | 36.3 |
| | Bw | 18/35-50/60 | 8.21 | 187 | 68.2 | 250 | 479 | 271 | 16.6 |
| | BC1 | 50/60-80/90 | 8.25 | 166 | 10.0 | 324 | 398 | 278 | 24.1 |
| | BC2 | 80/90-100+ | 8.14 | 155 | 0.0 | 345 | 392 | 263 | 25.2 |
| HEL 8 | A | 0-11/17 | 6.58 | 356 | 0.0 | 386 | 224 | 391 | 83.7 |
| | Bw | 11/17-23/26* | 7.12 | 345 | 0.0 | 291 | 408 | 301 | 47.0 |
| | 2BC | 50-90+ | 8.11 | 233 | 14.2 | 238 | 409 | 353 | 18.7 |

* a profondità 23/26-50 cm presenza di orizzonte R non campionato (Fig. 8)

EC: conduttività elettrica; TOC: carbonio organico totale

È possibile notare come nel profilo HEL 7, classificato come Calcaric Terric Cambisol (Loamic) (IUSS, 2015) e Typic Eutrudept (Soil Survey Staff, 2014), i valori di pH siano tendenti all'alcalinità (da 7.3 a 8.3), con presenza di carbonato. Il profilo HEL 8, classificato come Eutric Colluvic Regosol (Loamic, Humic, Raptic) (IUSS, 2015) e Typic Udorthent (Soil Survey Staff, 2014), è decarbonatato negli orizzonti più superficiali, fino al contatto con un orizzonte R (23/26-50 cm) al di sotto del quale si nota una discontinuità litologica con la presenza dell'orizzonte 2BC che contiene carbonato (circa 1%).



A 0-18/23 cm. Grigio marroncino chiaro (10YR 6/2) colore secco, marrone grigiastro molto scuro (10YR 3/2) colore umido. Screziature comuni (10%), molto piccole (1-2mm), marrone giallognolo (10YR 5/6), colore secco. Struttura poliedrica sub angolare con aggregati di dimensioni fino a 3 cm. Aggregati mediamente resistenti. Duro quando secco, resistente quando umido. Non adesivo. Non plastico. Effervescenza nessuna. Radici comuni di dimensioni da 3mm a molto fine (1mm circa). Presenza di scheletro (10%) con materiale pelitico in alterazione di forma lamellare (da 2 a 5 cm) e materiale più chiaro inalterato. Limite chiaro. Presenza di lombrichi.

Bw 18/23-50/60 cm. Grigio marroncino chiaro (10YR 6/2) colore secco, marrone grigiastro scuro (10YR 4/2) colore umido. Screziature comuni (15%), piccole (2-5mm), giallo marroncino (10YR 6/6), colore secco. Struttura poliedrica sub-angolare con aggregati mediamente resistenti di dimensione fino a 3 cm. Duro quando secco, friabile quando umido. Non adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza notevole (5%). Presenza scarsa di radici, molto fini. Presenza di scheletro (5%) di dimensioni fino a 3cm di forma sia lamellare che non. Limite ondulato abrupto, disomogeneo al suo interno. Assenza di lombrichi.

BC1 50/60-80/90 cm. Grigio marroncino chiaro (10YR 6/2) colore secco, marrone grigiastro molto scuro (10YR 3/2) colore umido. Screziature comuni (5%), piccole (2-5mm), giallo marroncino (10YR 6/6), colore secco. Struttura poliedrica angolare con aggregati mediamente resistenti di dimensione fino a 3cm. Duro quando secco, friabile quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza notevole (>10%). Radici molto scarse. Presenza di scheletro (10%) di dimensione fino a 2cm, con materiale pelitico in alterazione di forma lamellare e materiale più chiaro inalterato. Limite chiaro ondulato.

BC2 80/90-100+. Marrone giallastro chiaro (2.5Y 6/3) colore secco, marrone oliva (2.5Y 4/3) colore umido. Presenza abbondante di screziature (30%), piccole (5mm), giallo marroncino (10YR 6/8), colore secco. Struttura poliedrica sub-angolare con aggregati deboli fino a 3cm. Duro quando secco, molto friabile quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza molto debole (0.5%). Radici assenti. Presenza di scheletro (15%) di dimensioni tra 6 e 10 cm, con materiale pelitico in alterazione di forma lamellare e materiale più chiaro inalterato. Limite sconosciuto.

Fig. 7. Scheda descrittiva del profilo di suolo HEL 7.

La presenza di un orizzonte R in HEL 8 a profondità limitata è dovuto alla natura del materiale litoide su cui il suolo in quest'area si sviluppa, trattandosi infatti di depositi di versanti con posizionamento caotico di materiale eterogeneo ed eterometrico.

Le due aree indagate evidenziano come il suolo HEL 7 non sia assolutamente vocato ad ospitare la coltura del lampone. Il lampone desidera infatti un suolo subacido e privo di carbonato. Inoltre, lungo tutto il profilo HEL 7 si evidenzia la presenza di screziature (Fig. 7) indicative di condizioni di ristagno idrico, mal tollerato dal lampone.



A 0-11/17 cm. Marroncino grigiastro (10YR 5/2) colore secco, marrone grigiastro scuro (10YR 4/2) colore umido. Screziature assenti. Struttura granulare con aggregati di dimensioni fino a 3 cm. Aggregati mediamente resistenti. Leggermente duro quando secco, molto friabile quando umido. Non adesivo. Non plastico. Effervescenza nessuna. Radici abbondanti di dimensioni da 1 a 3 mm. Presenza di scheletro minuto (10%) con materiale pelitico in alterazione di dimensioni da 2 a 3 cm. Limite ondulato abrupto. Presenza di lombrichi

Bw 11/17-23/26 cm. Grigio marroncino chiaro (2.5Y 6/2) colore secco, marrone grigiastro molto scuro (2.5Y 3/2) colore umido. Screziature scarse (2-5 %), estremamente piccole, giallo (2.5Y 7/6), colore secco. Struttura poliedrica sub-angolare con aggregati resistenti di dimensione fino a 3 cm. Duro quando secco, friabile quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza nessuna. Presenza scarsa di radici, fini. Presenza di scheletro (10 %) di dimensioni fino a 5 cm. Nella Limite ondulato abrupto, appoggiato su roccia. Presenza di lombrichi.

R 23/26-50 cm. Roccia dura, compatta, non scalfibile da coltello. Non campionato

2BC 50-90 cm. Grigio marroncino chiaro (2.5Y 6/2) colore secco, marrone grigiastro scuro (2.5Y 4/2) colore umido. Screziature molte (25 %), piccole (2-5 mm), giallo oliva (2.5Y 6/8), colore secco. Struttura poliedrica angolare con aggregati mediamente resistenti di dimensioni fino a 3 cm. Duro quando secco, friabile quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza molto debole (0,5 %). Alcuni aggregati hanno un'effervescenza notevole (5 %). Assenza di radici. Presenza di scheletro (15 %), con massi di grosse dimensioni fino a 20 cm appoggiati su limite inferiore. Limite sconosciuto.

Fig. 8. Scheda descrittiva del profilo di suolo HEL 8.

4.1.2 Indagine sulla qualità dei suoli

Come indicato precedentemente, sono state svolte indagini di approfondimento della sostanza organica e dello stato ecofisiologico dei suoli campionando minipit a 0-15 e 15-30 cm in tre diverse aree, con tre repliche: 1) sito non coltivato (“incolto”), 2) sito con piante di lampone in sofferenza e 3) sito con piante di lampone non in sofferenza (Fig. 6 e 9).



“Incolto”



“In sofferenza”



“Non in sofferenza”

Fig. 9. Panorama delle aree indagate nell’Azienda I Rodi.

In Tabella 4 sono presentate le proprietà chimicofisiche dei minipit alle due profondità di campionamento (0-15 e 15-30 cm).

Tabella 4. Valori medi delle caratteristiche chimicofisiche dei suoli campionati nei minipit dell’Azienda I Rodi.

| | Profondità cm | pH | EC μS/cm | CaCO ₃ g/kg | SK % | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg |
|----------------------|------------------|-----|-------------|---------------------------|---------|----------------|--------------|-----------------|
| Incolto | 0-15 | 6.8 | 115 | 0 | 20 | 203 | 665 | 132 |
| | 15-30 | 7.1 | 141 | 0 | 32 | 240 | 636 | 124 |
| Sofferenza | 0-15 | 7.9 | 259 | 16.5 | 27 | 92 | 799 | 109 |
| | 15-30 | 8.0 | 250 | 25.3 | 28 | 94 | 784 | 123 |
| No-sofferenza | 0-15 | 7.0 | 293 | 0 | 22 | 114 | 761 | 126 |
| | 15-30 | 6.5 | 328 | 0 | 33 | 134 | 748 | 118 |

EC: conduttività elettrica; SK contenuto di scheletro

Come già osservato dalle caratteristiche chimicofisiche dei profili è possibile osservare che l’appezzamento di suolo dove le piante erano in sofferenza presenta valori di pH subalcalini, con presenza dell’1-2% di carbonato di calcio, proprietà limitati per la coltura del lampone. In questo caso si consiglia di aggiungere zolfo, per acidificare e decarbonatare il suolo e renderlo più idoneo ad ospitare il lampone, oppure costruire trincee di torba in cui inserire le piante.

In Tabella 5 sono presentati i dati che riguardano il carbonio organico totale (OC), l’azoto totale (NT), il C e N della biomassa microbica (Cmic e Nmic), 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, IBF) riconosciuti a livello internazionale.

Tabella 5. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto, C e N della biomassa microbica e indicatori di qualità del suolo.

| | Profondità cm | OC g/kg | NT g/kg | C/N | Cmic mg/kg | Nmic mg/kg | Clab mg/kg | Nlab mg/kg |
|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Incolto | 0-15 | 28.49 | 3.07 | 9.29 | 539 | 65 | 119 | 41 |
| | 15-30 | 17.72 | 2.02 | 8.76 | 322 | 43 | 104 | 27 |
| Sofferenza | 0-15 | 24.74 | 3.00 | 8.24 | 550 | 66 | 148 | 42 |
| | 15-30 | 12.97 | 1.65 | 7.34 | 435 | 56 | 151 | 40 |
| No-sofferenza | 0-15 | 44.22 | 4.45 | 9.94 | 505 | 58 | 209 | 53 |
| | 15-30 | 41.60 | 4.00 | 10.40 | 499 | 63 | 273 | 76 |

| | Profondità cm | Cmic/Nmic | C-CO₂cum mg/kg | RB mg/kg/h | qCO₂ µg 10³/h/µgCmic | qM % | qMIC % | IBF |
|----------------------|--------------------------|------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|-----------------|-------------------|------------|
| Incolto | 0-15 | 8.21 | 499 | 0.63 | 0.12 | 1.8 | 1.89 | 15 (IV) |
| | 15-30 | 7.55 | 552 | 0.53 | 0.16 | 3.1 | 1.82 | 16 (V) |
| Sofferenza | 0-15 | 9.16 | 826 | 0.86 | 0.16 | 3.3 | 2.23 | 17 (V) |
| | 15-30 | 7.80 | 652 | 0.72 | 0.17 | 5.0 | 3.35 | 16 (V) |
| No-sofferenza | 0-15 | 8.57 | 581 | 0.64 | 0.13 | 1.3 | 1.14 | 15 (IV) |
| | 15-30 | 8.42 | 1053 | 0.80 | 0.16 | 2.5 | 1.20 | 16 (V) |

OC: carbonio organico; NT: azoto totale; C/N: rapporto OC/TN; Cmic e Nmic: carbonio e azoto microbico; Clab e Nlab: carbonio e azoto labile; C-CO₂cum: valore cumulato di C-CO₂ emesso in 28 g di incubazione; RB: respirazione basale; qCO₂: quoziente metabolico; qM: quoziente di mineralizzazione; qMIC quoziente microbico; IBF: indice di fertilità biologica.

I valori trovati indicano una buona dotazione di C organico nei suoli, dovuto alle pratiche di spandimento di letame, che deriva dall'azienda zootecnica biologica confinante. La velocità di degradazione della sostanza organica dipende sia dal tipo di attacco microbico sia dalla consistenza fisica e dalle caratteristiche chimiche del composto organico (Sequi, 1989), in particolare il rapporto C/N influenza la velocità di decomposizione: tanto più alto è il rapporto tanto più lenta è la decomposizione o mineralizzazione, in quanto è necessario reperire N nel suolo da parte dei batteri, che diventa un elemento limitante. I valori riscontrati nei suoli de "I Rodi" indicano una buona presenza di N e una prevalenza di processi di mineralizzazione. Si può evidenziare anche una buona dotazione di C e N della biomassa microbica, anche se il quoziente microbico (qMic) in quasi tutti i campioni è al di sotto della soglia di 2, invece il quoziente metabolico (qCO₂) indica una buona risposta dell'attività microbica, in tutte le condizioni. L'indice di fertilità biologica (IBF) dei suoli indica infatti condizioni da classe da classe IV a V, cioè da "buona" a "ottima".

4.2 Azienda agricola biologica/biodinamica di Carla Tassinari di Bondeno nell'alta Pianura ferrarese

L'Azienda agricola biologica/biodinamica di Carla Tassinari è ubicata nella nell'alta Pianura ferrarese, nel comune di Bondeno, via per San Biagio 30, Località Ospitale in provincia di Ferrara (44°53'16"N, 11°25'53"E).

È una piccola realtà imprenditoriale (1 ha a frutteto e 2 ha per l'orticoltura) che si caratterizza per la produzione biologica e biodinamica di frutta e ortaggi (albicocche, pesche, susine, mele, ciliegie, piccoli frutti, fragole, meloni, angurie, cipolle, patate, zucche, pomodoro da industria, ortaggi di stagione), in armonia con gli indirizzi di politica agricola comunitaria e della programmazione nazionale e regionale in conformità al Regolamento C.E.E. 2092/91.

L'azienda è inserita in un'area che ha subito nel 2012 un'intensa attività sismica (20 e 29 maggio) con fenomeni correlati quali risorgenza di fluidi profondi a carattere salino (processi di liquefazione) che potrebbero avere depauperato la sostanza organica dei suoli.

4.2.1 Inquadramento geologico e pedologico

Dalla Carta dei Suoli (1:50.000) della Regione Emilia-Romagna, si evince che i suoli dell'Azienda biologica Tassinari appartengono ai suoli ASCENSIONE, franco argilloso limosi, di aree golenali (Fig. 10). Questi tipi di suolo sono molto profondi, molto calcarei, moderatamente alcalini, a tessitura franca argillosa limosa nella parte superiore e franca limosa o franca argillosa limosa in quella inferiore. Il substrato è costituito da alluvioni a tessitura media o moderatamente fine, talvolta caratterizzati dalla presenza di sottili strati a tessitura contrastante. Questi suoli sono ubicati nella pianura alluvionale in ambiente di argini naturali prossimali (Fig. 11). In queste terre la pendenza è generalmente compresa fra 0.1 - 0.2%. L'uso del suolo è a seminativi, subordinatamente frutteti. In queste aree golenali, sono necessarie arginature artificiali in quanto si tratta di terre soggette a frequenti inondazioni di breve durata.



Fig. 10. Delineazioni pedologiche della Carta dei Suoli della Regione Emilia-

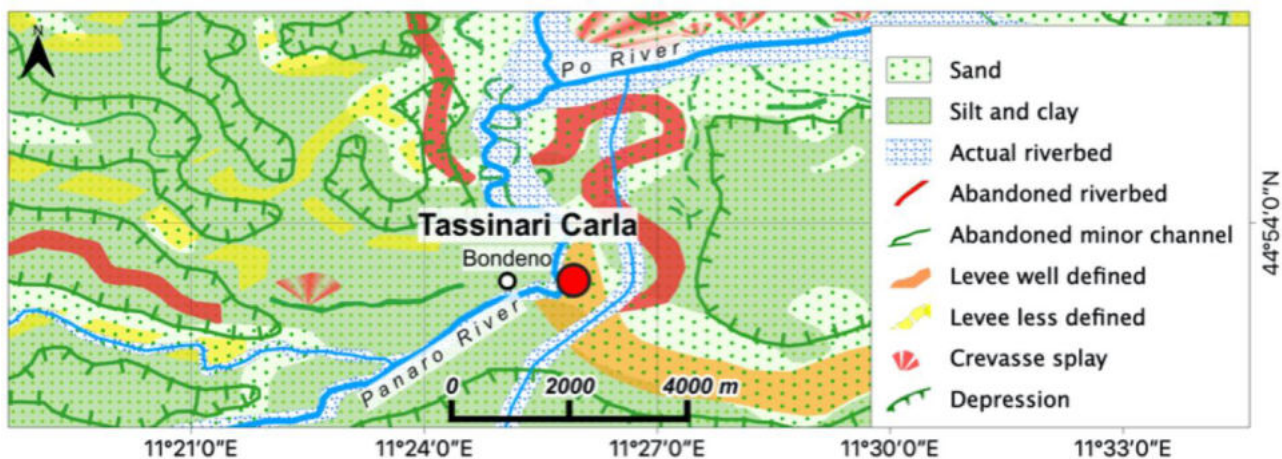


Fig. 11. . Inquadramento geolitologico dell'area de dell'Azienda Carla Tassinari. Particolare della cartografia della zona di Bondeno. Modificato da: Carta geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000 (Castiglioni et al. 1997)

Nell'area dell'Azienda biologica di Tassinari è stato aperto un profilo di suolo (BON-P1), classificato come Calcaric Regosol (Siltic, Humic) (IUSS, 2015) e Typic Ustorthent (Soil Survey Staff, 2014), la cui descrizione è riportata in Fig. 12.



WGM84 32T 692072 mE 4973343 mN

A 0-5/8 Bruno grigiastro (10YR 5/2) colore secco, bruno molto scuro (10YR 2/2) colore umido. Assenza di screziature. Struttura granulare con aggregati di max. dimensione 0,5 cm (alcuni aggregati di 2 cm). Aggregati mediamente resistenti. Leggermente duro quando secco, molto friabile quando umido. Debolmente adesivo. Molto plastico. Effervescenza notevole (5%). Radici abbondanti di dimensioni da 2-3mm a più fine. Limite abrupto con andamento ondulato motivato dai cespi radicali.

AC 5/8-38 Bruno giallastro chiaro (2.5Y 6/2) colore secco, bruno olivastro (2.5Y 4/4) colore umido. Assenza di screziature. Struttura poliedrica sub-angolare con aggregati resistenti di dimensione fino a 5cm resistenti. Duro quando secco, resistente quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza violenta (>10%). Presenza scarsa di radici fini, presenza abbondante di laterizi (5%). Limite lineare, transizione chiara.

C1 38-51 Grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2) colore secco, bruno olivastro (2.5Y 4/3) colore umido. Assenza di screziature. Struttura poliedrica angolare con aggregati resistenti di dimensioni fino a 3cm. Duro quando secco, resistente quando umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza violenta (>10%). Radici molto fini e scarse. Presenza comune di laterizi (3%). Limite lineare, transizione chiara rispetto a quello di sotto.

C2 51-70+ Grigio brunastro chiaro (2.5Y 6/2) colore secco, bruno olivastro (2.5Y 4/3) colore umido. Assenza di screziature. Struttura poliedrica angolare con aggregati resistenti di dimensione 1-2cm. Duro quando secco, resistente quando umido. Adesivo. Plastico. Effervescenza violenta (>10%). Radici molto fini e scarse. Scarsi laterizi.

Fig. 12. Descrizione del Profilo BON-P1 aperto e studiato nell'azienda biologica Carla Tassinari

In Tabella 6 sono presentati le caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti del profilo BON-P1.

Tabella 6. Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti genetici del profilo BON-P1.

| Profilo | Orizzonte | Profondità cm | pH | EC μS/cm | CaCO ₃ g/kg | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg |
|---------|-----------|------------------|------|-------------|---------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| BON-P1 | A | 0-5/8 | 7.47 | 429 | 76.3 | 412 | 89 | 499 |
| | AC | 5/8-38 | 8.45 | 141 | 102.7 | 331 | 608 | 62 |
| | C1 | 38-51 | 8.66 | 135 | 113.0 | 122 | 692 | 185 |
| | C2 | 51-70 | 8.73 | 148 | 102.7 | 283 | 523 | 194 |

EC: conduttività elettrica

Il suolo dell'Azienda non è molto evoluto, presentando una sequenza di orizzonti molto semplice del tipo A-AC-C. Il valore di pH varia da neutro nell'orizzonte superficiale a subalcalino in profondità. Il suolo risulta essere molto argilloso nell'orizzonte A e franco limoso nei sottostanti. Il suolo ha elevate concentrazioni di carbonato dal 7 all'11%. I valori di conduttività elettrica (EC) sono bassi, sempre ampiamente al di sotto di 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e indicativi di suoli non salini. I suoli coltivati hanno visto un rimescolamento dell'orizzonte A e AC, mitigando l'elevata percentuale di argilla.

4.2.2 Indagine sulla qualità dei suoli

Nella ortofoto di Google sottostante sono stati evidenziati gli appezzamenti oggetto di studio (Fig. 13), con la caratterizzazione dei siti di indagine presentata in Tabella 7.



Fig. 13. Apprezzamenti oggetti di studio nell'Azienda agricola biologica di Carla Tassinari

Tabella 7. Localizzazione geografica della aree di studio dell'Azienda agricola biologica di Carla Tassinari

| Sito | Coordinate 32T mE | Coordinate 32T mN | Descrizione |
|------|-------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| BON1 | 692145,091 | 4973555,005 | Coltivato a frutteto dal 1992 |
| BON3 | 692031,513 | 4973572,603 | Destinato a orto dal 1992 |
| BON4 | 692056,891 | 4973663,547 | Coltivato a frutteto (ex fornace) |
| BON5 | 692068,165 | 4973521,813 | Destinato a orto dal 2007 |
| BON6 | 692218,104 | 4973661,586 | Terreno arato al momento della campionatura e destinato ad orto dal 1996 |
| BON7 | 692208,456 | 4973675,813 | Terreno erpicato per coltivazione patate |
| BON8 | 692196,822 | 4973719,628 | coltivazione della fragola dal 1996 |

In Figura 14 sono riportati le fotografie dei diversi siti oggetto di indagine.

Nei diversi appezzamenti sono stati eseguiti i campionamenti aprendo dei minipit a 0-15 e 15-30 cm. Le caratteristiche chimicofisiche sono riportate in Tabella 8. Similmente al profilo di riferimento BON-P1, i suoli dell'Azienda agraria biologica di Carla Tassinari hanno valori di pH subalcalini

compresi tra 7.9 e 8.7. I terreni dell'Azienda sono inoltre ricchi di carbonato (6-12%), hanno tessitura prevalente limoso-argillosa e non sono salini (valore massimo di EC pari a 227 $\mu\text{S}/\text{cm}$).



Fig. 14. Fotografie dei siti di indagine dell'Azienda agricola biologica di Carla Tassinari. Da sinistra in alto: sito BON1, BON3, BON4, BON5, BON6, BON7, BON8. La descrizione dei siti è riportata in Tabella 5.

Tabella 8. Caratteristiche chimicofisiche dei campioni di suolo campionati nei minipit dei diversi appezzamenti dell'Azienda agricola biologica di Carla Tassinari.

| Sito | Profondità cm | pH | EC μS/cm | CaCO₃ g/kg | SK % | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg |
|-------------|--------------------------|-----------|---------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|-------------------------|
| BON1 | 0-15 | 8.2 | 227 | 102.1 | no | 208 | 612 | 180 |
| | 15-30 | 7.9 | 195 | 124.3 | no | 173 | 637 | 190 |
| BON3 | 0-15 | 8.3 | 227 | 93.2 | no | 101 | 798 | 201 |
| | 15-30 | 8.3 | 187 | 102.1 | no | 118 | 699 | 183 |
| BON4 | 0-15 | 8.3 | 166 | 97.7 | no | 256 | 545 | 199 |
| | 15-30 | 8.5 | 141 | 104.3 | no | 246 | 539 | 215 |
| BON5 | 0-15 | 8.4 | 138 | 86.6 | no | 230 | 562 | 208 |
| | 15-30 | 8.7 | 124 | 86.6 | no | 241 | 535 | 224 |
| BON6 | 0-15 | 8.5 | 171 | 73.3 | no | 254 | 555 | 191 |
| | 15-30 | 8.3 | 197 | 71.0 | no | 276 | 556 | 168 |
| BON7 | 0-15 | 8.4 | 156 | 73.3 | no | 356 | 451 | 193 |
| | 15-30 | 8.3 | 190 | 84.4 | no | 344 | 344 | 312 |
| BON8 | 0-15 | 8.4 | 135 | 59.9 | no | 376 | 435 | 189 |
| | 15-30 | 8.4 | 134 | 60.0 | no | 345 | 469 | 186 |

EC: conduttività elettrica; SK contenuto di scheletro

In Tabella 9 sono presentati i dati che riguardano il carbonio organico totale (OC), l'azoto totale (NT), il C e N della biomassa microbica (Cmic e Nmic) 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), e gli indici di qualità del suolo, quali qM, qMIC, qCO₂ e IBF.

Tabella 9. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto, C e N della biomassa microbica e indicatori di qualità del suolo.

| Sito | Profondità cm | OC g/kg | NT g/kg | C/N | Cmic mg/kg | Nmic mg/kg | Clab mg/kg | Nlab mg/kg |
|-------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| BON1 | 0-15 | 11.35 | 1.17 | 9.7 | 140.0 | 24.4 | 105.5 | 31.2 |
| | 15-30 | 7.73 | 0.82 | 9.5 | 87.5 | 15.6 | 77.0 | 23.0 |
| BON3 | 0-15 | 11.60 | 1.30 | 8.9 | 94.9 | 15.9 | 78.8 | 30.0 |
| | 15-30 | 11.35 | 1.36 | 8.4 | 64.1 | 14.9 | 90.0 | 30.1 |
| BON4 | 0-15 | 10.07 | 1.10 | 9.1 | 99.6 | 18.6 | 99.0 | 25.5 |
| | 15-30 | 10.60 | 1.06 | 10.0 | 62.4 | 12.2 | 77.7 | 17.5 |
| BON5 | 0-15 | 10.15 | 1.09 | 9.3 | 41.9 | 9.7 | 102.9 | 19.6 |
| | 15-30 | 9.21 | 1.02 | 9.0 | 35.0 | 6.2 | 78.2 | 18.6 |
| BON6 | 0-15 | 8.89 | 0.96 | 9.3 | 53.5 | 8.7 | 85.9 | 21.3 |
| | 15-30 | 10.16 | 1.21 | 8.4 | 86.3 | 15.4 | 89.7 | 32.1 |
| BON7 | 0-15 | 8.19 | 0.87 | 9.4 | 60.3 | 9.7 | 70.8 | 17.1 |
| | 15-30 | 7.42 | 0.99 | 7.5 | 51.8 | 7.2 | 75.4 | 29.6 |
| BON8 | 0-15 | 9.07 | 0.95 | 9.5 | 47.6 | 11.9 | 78.9 | 21.3 |
| | 15-30 | 8.95 | 0.92 | 9.8 | 42.4 | 6.6 | 75.9 | 20.0 |
| | | Cmic/Nmic | C-CO₂cum | RB | qCO₂ | qM | qMIC | IBF |

| | | | mg/kg | mg/kg/h | $\mu\text{g } 10^3/\text{h}/\mu\text{gCmic}$ | % | % | |
|-------------|-------|-----|-------|---------|----------------------------------------------|-----|-----|----------|
| BON1 | 0-15 | 5.7 | 464.1 | 0.4 | 0.3 | 4.1 | 1.2 | 11 (III) |
| | 15-30 | 5.6 | 429.2 | 0.5 | 0.5 | 5.5 | 1.1 | 9 (III) |
| BON3 | 0-15 | 6.0 | 326.1 | 0.5 | 0.5 | 2.8 | 0.8 | 8 (II) |
| | 15-30 | 4.3 | 358.7 | 0.5 | 0.7 | 3.2 | 0.6 | 9 (III) |
| BON4 | 0-15 | 5.3 | 593.5 | 0.8 | 0.8 | 5.9 | 1.0 | 10 (III) |
| | 15-30 | 5.1 | 190.0 | 0.3 | 0.5 | 1.8 | 0.6 | 7 (II) |
| BON5 | 0-15 | 4.3 | 359.9 | 0.5 | 1.1 | 3.5 | 0.4 | 9 (III) |
| | 15-30 | 5.7 | 232.3 | 0.4 | 1.2 | 2.5 | 0.4 | 8 (II) |
| BON6 | 0-15 | 6.2 | 205.9 | 0.3 | 0.5 | 2.3 | 0.6 | 8 (II) |
| | 15-30 | 5.6 | 235.6 | 0.4 | 0.5 | 2.3 | 0.8 | 9 (III) |
| BON7 | 0-15 | 6.2 | 269.9 | 0.2 | 0.4 | 3.3 | 0.7 | 7 (II) |
| | 15-30 | 7.2 | 155.2 | 0.2 | 0.5 | 2.1 | 0.7 | 7 (II) |
| BON8 | 0-15 | 4.0 | 291.1 | 0.3 | 0.6 | 3.2 | 0.5 | 9 (III) |
| | 15-30 | 6.4 | 426.6 | 0.7 | 1.7 | 4.8 | 0.5 | 10 (III) |

OC: carbonio organico; NT: azoto totale; C/N: rapporto OC/TN; Cmic e Nmic: carbonio e azoto microbico; Clab e Nlab: carbonio e azoto labile; C-CO₂cum: valore cumulato di C-CO₂ emesso in 28 g di incubazione; RB: respirazione basale; qCO₂: quoziente metabolico; qM: quoziente di mineralizzazione; qMIC quoziente microbico; IBF: indice di fertilità biologica

I valori di OC e TN sono molto bassi in quanto la percentuale di sostanza organica in alcuni casi è inferiore al 2%, valore che è stato indicato come soglia di massima attenzione per la degradazione dei suoli dalla Regione Emilia-Romagna. I valori di C/N sono quasi tutti inferiori a 10, indicando quindi una prevalenza dei processi di mineralizzazione rispetto a quello di immobilizzazione.

I valori di C e N microbico sono molto bassi (<100 mg/kg) e gli indici legati all'attività delle popolazioni microbiche evidenziano situazioni di stress, dovuto da alti valori del qCO₂ (>0.4 mg CO₂ × 10³ /h/mgCmic) e bassi valori del quoziente microbico (qMIC) inferiore al 2%, in alcuni casi molto inferiore a 1. L'indice di fertilità biologica (IBF) è compreso tra la classe III e la classe II, cioè tra la "media fertilità" e la "situazione di pre-stress".

4.3 Azienda agricola Maccanti Vivai nella bassa Pianura ferrarese

L'Azienda agricola Maccanti Vivai si trova nella bassa Pianura ferrarese in via Imola 35/a nel comune di Ostellato in provincia di Ferrara (44°43'27"N, 11°58'16"E). L'attività produttiva (partita nel 1958) si sviluppa nelle Valli del Mezzano, un'ex area palustre particolarmente vocata per la produzione di vivai nella quale è di primaria importanza tutelare l'abbondante materia organica dei suoli che ne conferisce fertilità e produttività.

Dal 1979 l'indirizzo produttivo dell'Azienda si rivolge alla produzione vivaistica di astoni da frutto di pomacee, configurandosi quindi come centro di moltiplicazione attraverso campi di piante madri di gemme e portinnesti. Questo spinge gli operatori del settore ad aprirsi verso ricerche che amplino l'attuale quadro conoscitivo per comprendere i processi in atto, anche in relazione ai cambiamenti climatici, per suggerire soluzioni articolate in relazione a problematiche concrete, grazie all'innovazione, a nuove tecnologie e diversi processi produttivi integrati a nuove modalità organizzative.

L'Azienda Maccanti Vivai si inserisce in una delle aree più vulnerabili della Regione Emilia-Romagna in termini di depauperamento del SOC per ossidazione della materia organica e rilascio di gas serra in atmosfera.

4.3.1 Inquadramento geologico e pedologico

L'Azienda Maccanti Vivai è posizionata nell'area delle Valli del Mezzano, un'ex area palustre, la cui bonifica fu compiuta tra il 1964 e il 1966. In seguito alle operazioni di bonifica, gli strati torbosi andarono incontro ad un forte processo ossidativo e la colonna sedimentaria subì una grave compattazione superficiale, generando in tal modo un ulteriore cedimento dell'area che si può quantificare in circa 2 m in 20 anni (1965-1985). Ora l'elevazione della superficie topografica locale è di circa -2.4 m s.l.m.

Il nucleo della vecchia pianura alluvionale è caratterizzato da una complessa rete di paleoalvi stretti e sabbiosi e di corsi minori dell'antico sistema alluvionale del Po, nonché da canali di marea lagunari che si stavano espandendo, aggravando lentamente la pianura verso l'antica area costiera (Fig. 15).



Fig. 15. Inquadramento geologico dell'area. Modificato da: Carta Geologica Regionale 1:50.000 Regione Emilia-Romagna-Foglio 204-Portomaggiore

I suoli dell'Azienda Maccanti Vivai ricadono all'interno della delineazione pedologica LCO1_CDS2 n 14058, che presenta suoli chiamati «LE CONTANE» (LCO1), classificati come Sulfic Endoaquepts fine, misto, superattivo, calcareo, mesico (IUSS, 2010) e Humic Thionic Fluvisols Thapthohistic (WRB, 1998), e «CANALE DEL SOLE» (CDS2) Typic Fluvaquepts fini, limosi, misti, attivi, calcarei, mesici (IUSS, 2010) e Gpiscici iposalici (calcarici, silici) (WRB2007) (Fig. 16).



Fig. 16. Inquadramento pedologico dell'area, dal database geologico della Regione Emilia-Romagna (1:50.000)

Nell'Azienda Maccanti Vivai sono stati aperti, descritti e campionati nei loro orizzonti genetici due profili, MAC1 e MAC2 rispettivamente.

Nelle Figure 17 e 18 sono riportate le schede di descrizione e in Tabella 10 le proprietà chimicofisiche dei diversi orizzonti dei due profili.

Tabella 10. Caratteristiche chimicofisiche degli orizzonti campionati dai profili MAC1 e MAC2.

| Profilo | Orizzonte | Profondità cm | pH | EC μS/cm | CaCO ₃ g/kg | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg |
|-------------|-----------|------------------|-------|-------------|---------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| MAC1 | A1 | 0-16 | 7.80 | 307 | 77.0 | 127 | 537 | 336 |
| | A2 | 15-30 | 8.24 | 283 | 79.2 | 102 | 503 | 396 |
| | AB | 30-45 | 8.31 | 257 | 68.2 | 82 | 499 | 419 |
| | Bg1 | 45-62 | 8.14 | 336 | 83.6 | 108 | 529 | 364 |
| | Bg2 | 62-76/78 | 8.15 | 413 | 50.6 | 22 | 452 | 526 |
| | Ob | 76/78-90 | 7.46 | 852 | 0.0 | ND | ND | ND |
| | Bgb | 90-120+ | 7.47 | 1426 | 0.0 | 55 | 632 | 314 |
| MAC2 | Ap1 | 0-33 | 7.64 | 1393 | 33.4 | 255 | 330 | 416 |
| | Ap2 | 33-50 | 7.54 | 1593 | 33.0 | 222 | 382 | 396 |
| | Ob | 50-57 | 7.13 | 2098 | 0.0 | 250 | 485 | 265 |
| | Cgk | 57-76 | 7.80 | 2352 | 147.0 | 30 | 648 | 322 |
| | Ob1 | 76-81 | 6.11 | 4512 | 11.0 | 799 | 172 | 29 |
| | Ob2 | 81-90 | 6.45 | 5208 | 0.0 | 265 | 453 | 281 |
| | Cg | 90-120 | 8.53 | 2944 | 19.8 | 68 | 431 | 501 |
| Ob3 | 120-140+ | 7.01 | 23890 | 0.0 | 811 | 67 | 122 | |

EC: conduttività elettrica

Le caratteristiche chimicofisiche evidenziano valori di pH neutri e subalcalini compresi tra 7.4 a 8.3 in MAC1 tra 6.1 e 8.5 in MAC2, in particolare in questo ultimo profilo si evidenzia la vulnerabilità di questi suoli bonificati, che presentano elevata conducibilità elettrica (EC) e diversi orizzonti organici (orizzonti O) di torbe che acidificano il suolo. Il profilo MAC 1 è stato classificato come Calcaric Sodic Orthofluvic Fluvisol (Loamic, Humic) (IUSS, 2015) e Typic Fluvaquent (Soil Survey

Staff, 2014). Il profilo MAC 2 è stato classificato come Sodic Pantofluvic Fluvisol (Clayic, Aric, Protocalcic, Drainic, Hyperhumic, Oxyaquic) (IUSS, 2015) e Typic (Thapto-Histic) Fluvaquent (Soil Survey Staff, 2014)



A1: 0-16 cm - Colore grigio (5YR 5/1) secco e grigio molto scuro 5YR 3/1 (umido). Screziature molto scarse <1 mm visibili solo sulla matrice a secco, non visibili sulla matrice umida. Struttura poliedrica subangolare con aggregati da 2,5 a 1 cm, gli aggregati di 2,5 cm sono moderatamente sviluppati, mentre gli aggregati di 1 cm sono debolmente sviluppati. Porosità 2-3% Ø 4 mm e 3-2% Ø < 1 mm. Consistenza estremamente duro a secco e resistente a umido. Debolmente adesivo. Non plastico. Effervescenza notevole (5 %). In alcuni casi sulle pareti dei pori si osserva sostanza organica di colore bruno, radici ormai decomposte, con frammenti di conchiglie

A2: 16-30 cm - Colore grigio (7.5YR 6/1) secco e grigio molto scuro (7,5YR 3/1) umido. Screziature non visibile nella matrice umida, a secco molto scarse < 1mm di colore bruno intenso. (7,5YR 5/8). Struttura poliedrica angolare con aggregati di 1,5-2 cm fortemente sviluppati. Porosità 3-5% Ø 5 mm e 1% Ø 2-3 mm. Consistenza estremamente dura a secco e resistente umido. Debolmente adesivo. Non plastico. Effervescenza notevole 5-10%. Presenza molto scarsa di radici e conchiglie

AB: 30-46 cm - Colore grigio (7,5YR 6/1) secco e grigio molto scuro 7,5YR 3/1 (umido). Screziature comuni < 1 m a secco, colore rosso giallastro (5YR 5/8). Struttura poliedrica angolare con aggregati di 2-3 cm fortemente sviluppati. Porosità: 2-3% Ø<1 mm. Consistenza estremamente dura a secco e resistente a umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza violenta (10%). Presenza di frammenti di conchiglie.

Bg1: 46-62 cm - Colore grigio (7,5YR 6/1) secco e grigio molto scuro. (7,5YR 3/1) umido. Screziature non molto visibili nella matrice umida <1 mm, visibili in quella a secco <1mm di colore rosso giallastro (5YR 5/8). Struttura poliedrica angolare con aggregati di 2-3 cm fortemente sviluppati. Porosità 1% Ø <1 mm . Consistenza estremamente dura a secco e resistente a umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza violenta (10 %).

Bg2: 62-76/78 cm – Colore grigio (7,5YR 6/1) secco e grigio scuro (7,5YR 4/1) umido. Screziature molte sia nella matrice a secco < 1mm di colore rosso giallastro (5YR 5/8) che in quella a umido di colore bruno intenso (7,5YR 5/6). Struttura poliedrica angolare con aggregati di 2-3 cm fortemente sviluppati. Porosità 1% Ø <1 mm. Consistenza estremamente dura a secco e molto resistente a umido. Debolmente adesivo e debolmente plastico. Effervescenza violenta (10 %). Presenza di radici.

Ob: 76/78-90 cm - Colore grigio (7.5YR 5/1) secco e grigio molto scuro (5 YR 3/1) umido. Screziature molte nella matrice <1mm di colore rosso giallastro (5YR 5/8) a secco che a umido (5YR 4/6). Struttura massiva con porosità 1% Ø <1 mm 1% Ø ≈5 mm. Consistenza estremamente dura a secco e molto resistente a umido.

Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza assente 0 %.

Bgb: 90-120 cm. Colore grigio (7.5YR 5/1) secco e grigio molto scuro (7.5YR 3/1) umido.

Screziature abbondanti nella matrice <1mm di colore rosso giallastro (7.5 YR 5/8) a secco e a umido (5YR 4/6). Struttura massiva. Porosità 1-2 % $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente duro secco ed estremamente resistente umido. Estremamente resistente. Debolmente plastico. Effervescenza nessuna 0 %

Fig. 17. Descrizione del profilo MAC1



Ap1: 0-33 cm - Colore grigio (7,5YR 5/1) secco e grigio molto scuro (7.5YR 3/1) umido. Screziature molto scarse <1mm rosso giallastre (5YR 4/6). Struttura massiva. Porosità 1-2% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente duro a secco e resistente a umido. Debolmente adesivo. Non plastico. Effervescenza notevole (5%). Abbondante presenza di conchiglie e presenza di radici vegetali a tracce.

Ap2: 33-50 cm – Colore grigio (7.5 YR 5/1) secco e grigio molto scuro (7.5 YR 3/1). Screziature molto scarse <1mm rosso giallastre (5YR 5/8). Struttura massiva. Porosità 1-2% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza resistente a secco e resistente a umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza notevole (5%).

Ob: 50-57 cm – Colore grigio scuro (7.5 YR 4/1) secco e grigio molto scuro (10 YR 3/1). Screziature molto scarse <1mm rosso giallastre (5YR 4/6) e bruno intenso (7.5YR 4/6) a umido. Struttura massiva. Porosità 1% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza Estremamente duro secco Resistente umido. Adesivo. Plastico. Effervescenza assente.

Cgk: 57-76 cm - Colore grigio (10YR 6/1) secco grigio scuro (10 YR 4/1) umido. Screziature scarse <1mm giallo rossastre (5YR 6/8) a secco e bruno intenso (7.5YR 4/6) a umido. Struttura massiva. Porosità 1% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente duro a secco ed estremamente resistente a umido. Molto adesivo. Molto plastico. Effervescenza notevole (5%). Presenza di sostanza organica.

Ob1: 76-81 cm – Colore nero (GLEYS 2.5/N) a secco e a umido. Screziature assenti. Struttura massiva. Porosità 1% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente duro a secco e friabile ad umido. Adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza assente. Presenza di sostanza organica.

Ob2: 81-90 cm – Colore nero (GLEYS 2.5/N) a secco e a umido. Screziature assenti. Struttura massiva. Porosità 1% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente duro a secco e friabile ad umido. Adesivo. Plastico. Effervescenza assente. Presenza di sostanza organica.

Cg: 90-120 cm - Colore grigio (10YR 5/1) secco e grigio scuro (10 YR 4/1) umido. Screziature assenti. Struttura massiva. Porosità 1% $\emptyset < 1$ mm. Consistenza estremamente



duro a secco ed estremamente resistente a umido. Non adesivo. Non plastico. Effervescenza assente. Presenza di conchiglie.

Ob3: 120-140 cm – Colore nero (10YR 2/1) a secco e a umido. Screziature assenti. Struttura massiva. Porosità $1\% \varnothing < 1$ mm. Consistenza molto resistente a secco e molto friabile ad umido. Debolmente adesivo. Debolmente plastico. Effervescenza assente. Significativa presenza di sostanza organica e residui vegetali

Fig. 18. Descrizione del profilo MAC2

4.3.2 Indagine sulla qualità dei suoli

I campionamenti sono stati effettuati a due profondità, 0-15 cm e 15-30 cm, prendendo in considerazione le diverse età degli impianti degli astoni (MAC3, MAC4, MAC5; Tabella 11). Nel caso del sito MAC6, lo strato di suolo compreso tra 0 e 30 cm al momento del campionamento era stato omogeneizzato, in quanto arato per la preparazione del suolo per il nuovo impianto, per cui si è raccolto un unico campione riferito a 0-30 cm di profondità.

In ogni sito campionato sono state eseguite tre repliche. La localizzazione dei siti e la descrizione dell'uso del suolo al momento del campionamento sono indicati in Tabella 11.

Tabella 11. Siti campionati nell'Azienda Maccanti Vivai

| Sito | Coordinate 32T mE | Coordinate 32TmN | Descrizione |
|------|-------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------|
| MAC3 | 735318 | 4957842 | Impianto di astoni al terzo anno, fine ciclo |
| MAC4 | 735876 | 4957753 | Piante da innesto al secondo anno |
| MAC5 | 735455 | 4957786 | Impianto al primo anno |
| MAC6 | 735496 | 4957801 | Terreno arato, preparato per nuovo impianto di astoni (anno zero) |

In Tabella 12 sono presentate i valori medi delle diverse caratteristiche chimicofisiche delle parcelle oggetto di studio.

Tabella 12. Valori medi delle caratteristiche chimicofisiche dei campionamenti dei minipt dell'Azienda agricola Maccanti Vivai.

| Sito | Profondità cm | pH | EC $\mu\text{S/cm}$ | CaCO ₃ g/kg | SK % | Sabbia g/kg | Limo g/kg | Argilla g/kg |
|------|------------------|------|------------------------|---------------------------|---------|----------------|--------------|-----------------|
| MAC3 | 0-15 | 7.99 | 460 | 65 | No | 100 | 687 | 213 |
| | 15-30 | 7.70 | 950 | 72 | No | 94 | 736 | 170 |
| MAC4 | 0-15 | 7.63 | 1552 | 43 | No | 149 | 661 | 190 |
| | 15-30 | 7.46 | 2017 | 43 | No | 124 | 706 | 171 |
| MAC5 | 0-15 | 7.54 | 1397 | 35 | No | 148 | 679 | 173 |
| | 15-30 | 7.46 | 1816 | 35 | No | 151 | 669 | 181 |
| MAC6 | 0-30 | 7.53 | 1589 | 33 | No | 55 | 755 | 191 |

EC: conduttività elettrica; SK% scheletro

I suoli indagati hanno valori di pH compresi tra 7.5 e 8.0, quantità alta di limo e di valori di conducibilità elettrica (EC) superiori a 1 dS/m (1000 μ S/cm). L'appezzamento MAC3, dove era presente un impianto di astoni al III anno, presenta valori di EC leggermente inferiori, in particolare nel caso dello strato più superficiale (0-15 cm).

La Tabella 13 presenta i valori medi ottenuti dalle analisi che riguardano i pool di C organico e di N. I valori di C organico sono alti, come aspettato, dovuti alla recente bonifica e alla presenza di torbe. In proporzione al quantitativo di C organico, i valori di biomassa microbica sono molto bassi, come indicato dal valore di qMIC. Il carbonio di biomassa microbica del suolo e l'azoto costituiscono <0.3% del carbonio organico e dell'azoto totale del suolo. Essi fungono da fonte di nutrienti disponibili per l'assorbimento delle colture e svolgono quindi un ruolo importante nella formazione della produttività del suolo negli agroecosistemi. Interessante notare come il valore di qMIC decresca con il tempo dell'impianto (da MAC3 a MA6). I valori di C labile (Clab), il pool di C organico più solubile, sono invece alti in tutti i siti, indipendentemente dall'età dell'impianto, evidenziando come il sistema abbia C organico disponibile che non serve per la crescita delle comunità microbiche. Il rapporto Cmic/Nmic può indicare la prevalenza di batteri e funghi nel suolo, infatti il C/N dei batteri ha un intervallo tra 4 e 8, mentre quello dei funghi ha un intervallo tra 8 e 29 (Paul, 2007). È interessante quindi vedere che nei suoli torbosi di Maccanti Vivai, l'appezzamento 4, con le piante innestate al II anno, ha una prevalenza di popolazioni fungine molto spiccate.

Il quoziente metabolico (qCO₂) mostra valori variabile tra i siti, e particolarmente elevati nel sito MAC3 (impianto al III anno) confermando un certo livello di stress ecofisiologico già in parte suggerito dal basso valore di qMIC in questo sito. Condizioni generali di media fertilità biologica sono comunque evidenti in tutti i siti, come espresso dal valore dell'IBF che colloca i suoli in classe intermedia (III). Questo valore, comunque, appare basso rispetto all'atteso, dato l'elevato tenore in C organico di questi suoli e quindi l'alta disponibilità potenziale di substrato per l'attività microbica.

Tabella 13. Parametri legati al ciclo del carbonio e dell'azoto, C e N della biomassa microbica e indicatori di qualità del suolo.

| Sito | Profondità cm | OC g/kg | NT g/kg | C/N | Cmic mg/kg | Nmic mg/kg | Clab mg/kg | Nlab mg/kg |
|------|------------------|------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| MAC3 | 0-15 | 67.4 | 5.7 | 11.8 | 43.1 | 9.8 | 422.1 | 60.6 |
| | 15-30 | 68.2 | 5.8 | 11.8 | 17.5 | 13.0 | 443.4 | 58.0 |
| MAC4 | 0-15 | 71.1 | 6.4 | 11.2 | 129.8 | 2.7 | 434.7 | 164.0 |
| | 15-30 | 73.7 | 6.1 | 12.2 | 131.3 | 7.7 | 389.5 | 118.8 |
| MAC5 | 0-15 | 70.5 | 6.5 | 11.0 | 115.4 | 14.0 | 442.5 | 124.4 |
| | 15-30 | 64.3 | 6.8 | 9.5 | 137.7 | 14.0 | 393.4 | 99.8 |
| MAC6 | 0-30 | 69.6 | 5.5 | 12.7 | 187.2 | 14.8 | 419.5 | 52.7 |
| | | Cmic/Nmic | C-CO ₂ cum mg/kg | RB mg/kg/h | qCO ₂ μ g 10 ³ /h/ μ gCmic | qM % | qMIC % | IBF |
| MAC3 | 0-15 | 5.8 | 796.4 | 0.9 | 2.1 | 1.2 | 0.06 | 9 (III) |
| | 15-30 | 1.4 | 1035.0 | 1.0 | 5.9 | 1.5 | 0.03 | 9 (III) |
| MAC4 | 0-15 | 47.3 | 596.9 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.18 | 9 (III) |
| | 15-30 | 20.8 | 860.7 | 1.1 | 0.8 | 1.2 | 0.18 | 10 (III) |
| MAC5 | 0-15 | 9.9 | 796.3 | 1.0 | 0.9 | 1.1 | 0.16 | 10 (III) |
| | 15-30 | 9.9 | 773.4 | 1.0 | 0.7 | 1.2 | 0.21 | 10 (III) |

| | | | | | | | | |
|-------------|------|------|-------|-----|-----|-----|------|---------|
| MAC6 | 0-30 | 12.7 | 572.9 | 0.7 | 0.4 | 0.8 | 0.27 | 9 (III) |
|-------------|------|------|-------|-----|-----|-----|------|---------|

OC: carbonio organico; NT: azoto totale; C/N: rapporto OC/TN; Cmic e Nmic: carbonio e azoto microbico; Clab e Nlab: carbonio e azoto labile; C-CO₂cum: valore cumulato di C-CO₂ emesso in 28 g di incubazione; RB: respirazione basale; qCO₂: quoziente metabolico; qM: quoziente di mineralizzazione; qMIC quoziente microbico; IBF: indice di fertilità biologica

5) Speciazione di C e N

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 SaveSOC2, 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 ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) espressa come “ $\delta^{13}\text{C}$ ”, 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 $\delta^{13}\text{C}$ 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 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ del campione

R_{standard} = rapporto isotopico $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ dello standard di riferimento
($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 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 C₃ e C₄, seguono due vie metaboliche differenti (Farquhar et al., 1989; Kohn, 2010; Fry e Sherr, 1989). Entrambe generano sostanza organica caratterizzata da valori di δ¹³C più negativi rispetto a quello dell'anidride carbonica (~ -7‰), in quanto durante la fotosintesi la sostanza organica prodotta accumula l'isotopo leggero rispetto a quello pesante. Le piante C₃, 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 C₄, 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 (¹⁵N/¹⁴N) espressa come “δ¹⁵N” 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 ¹⁵N/¹⁴N del campione

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

6.1 Speciazione del C e N nell'Azienda I Rodi

Per i terreni de I Rodi la caratterizzazione delle frazioni inorganiche e organiche di carbonio è stata effettuata analizzando e confrontando i campioni di suolo provenienti dai siti “incolto”, “piante sofferenti” e “piante non in sofferenza” (Tabella 4). I valori medi per ogni sito dei contenuti elementari di C totale, inorganico e organico e di N totale e i rispettivi rapporti isotopici sono riportati in Tabella 15. In generale, si evince che nei terreni dell'Azienda I Rodi la quantità di C decresce con la profondità nei primi 30 cm di suolo.

I contenuti di C totale, inorganico e organico variano fra i tre siti (Tabella 15; Fig. 19). I contenuti di C totale e organico elementare sono maggiori nel topsoil del sito “piante non in sofferenza” rispetto al topsoil dei siti “incolto” e “piante sofferenti”. Invece, il carbonio inorganico, indicatore della presenza di sedimenti carbonatici, è concentrato maggiormente nel topsoil del sito “piante sofferenti”. Questa diversa distribuzione delle forme di C si riflette anche nelle firme isotopiche dei rispettivi siti: i valori δ¹³C_{TC} più negativi si ritrovano nei siti “piante non in sofferenza” e “incolto”, a indicare il pressoché totale contributo isotopico di OC rispetto a IC in questi terreni, mentre nel sito “piante sofferenti” si registrano δ¹³C_{TC} meno negativi, a conferma di una presenza più cospicua di carbonato rispetto agli altri due siti (Fig. 19). Proprio la presenza di carbonato sembra essere la causa della scarsa produttività delle piante di lampone in quest'ultimo sito, dato che questo tipo di coltura è acidofila e pertanto preferisce suoli subacidi e privi di carbonato, il quale tende a innalzare il pH del terreno dove è contenuto. A conferma di ciò, dalle analisi isotopiche condotte sulle frazioni inorganiche e organiche dei terreni, i campioni del sito delle “piante sofferenti” sono gli unici a

registrare dei valori per il rapporto isotopico $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$, mentre per gli altri due siti, non è stato possibile misurare il rapporto $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$, a causa della scarsa quantità di carbonio inorganico nei campioni investigati. Infine, entrambi i siti “incolto” e “piante non in sofferenza” hanno un rapporto isotopico $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ leggermente più negativo (~ -28) rispetto al sito “piante sofferenti” (~ -26‰). Per tutti i siti dell’Azienda comunque i valori del rapporto isotopico $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ sono riconducibili alla decomposizione di piante C_3 .

Eseguendo le analisi si osserva che N è maggiormente concentrato nella frazione organica del suolo in tutti i siti, ma è comunque più abbondante nel sito “piante non in sofferenza”. Nonostante ciò, il rapporto C/N, variando da 8 a 10, indica una prevalenza del processo di mineralizzazione del suolo in tutti i siti.

Tabella 15. Medie dei contenuti elementari e dei rapporti isotopici di C totale, inorganico e organico e di N totale e organico del topsoil dei siti dell’Azienda I Rodi. In tabella è riportato anche il rapporto C/N calcolato come il rapporto fra C e N presenti nella frazione organica.

| Sito | Profondità cm | Frazione totale | | | | Frazione inorganica | | Frazione organica | | | |
|----------------------|------------------|-----------------|-----------|----------------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------|-------|----------------------------------------|
| | | N wt% | TC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ ‰ | $\delta^{15}\text{N}$ ‰ | IC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$ ‰ | N wt% | OC wt% | C/N | $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ‰ |
| Incolto | 0-15 | 0.32 | 2.88 | -26.98 | 2.99 | 0.03 | n. d. | 0.31 | 2.85 | 9.29 | -27.32 |
| | 15-30 | 0.22 | 1.82 | -26.29 | 3.88 | 0.05 | n. d. | 0.20 | 1.77 | 8.76 | -27.00 |
| Sofferenza | 0-15 | 0.32 | 2.87 | -22.77 | 4.38 | 0.40 | -3.19 | 0.30 | 2.47 | 8.24 | -26.06 |
| | 15-30 | 0.27 | 2.44 | -21.91 | 4.59 | 0.39 | -3.40 | 0.26 | 2.05 | 7.99 | -25.56 |
| No-sofferenza | 0-15 | 0.50 | 4.52 | -27.54 | 4.70 | 0.10 | n. d. | 0.44 | 4.42 | 9.94 | -28.13 |
| | 15-30 | 0.46 | 4.27 | -27.49 | 4.55 | 0.11 | n. d. | 0.40 | 4.16 | 10.40 | -28.21 |

N: azoto; TC: carbonio totale; IC: carbonio inorganico; OC: carbonio organico; C/N: rapporto OC/TN; wt%: percentuale peso

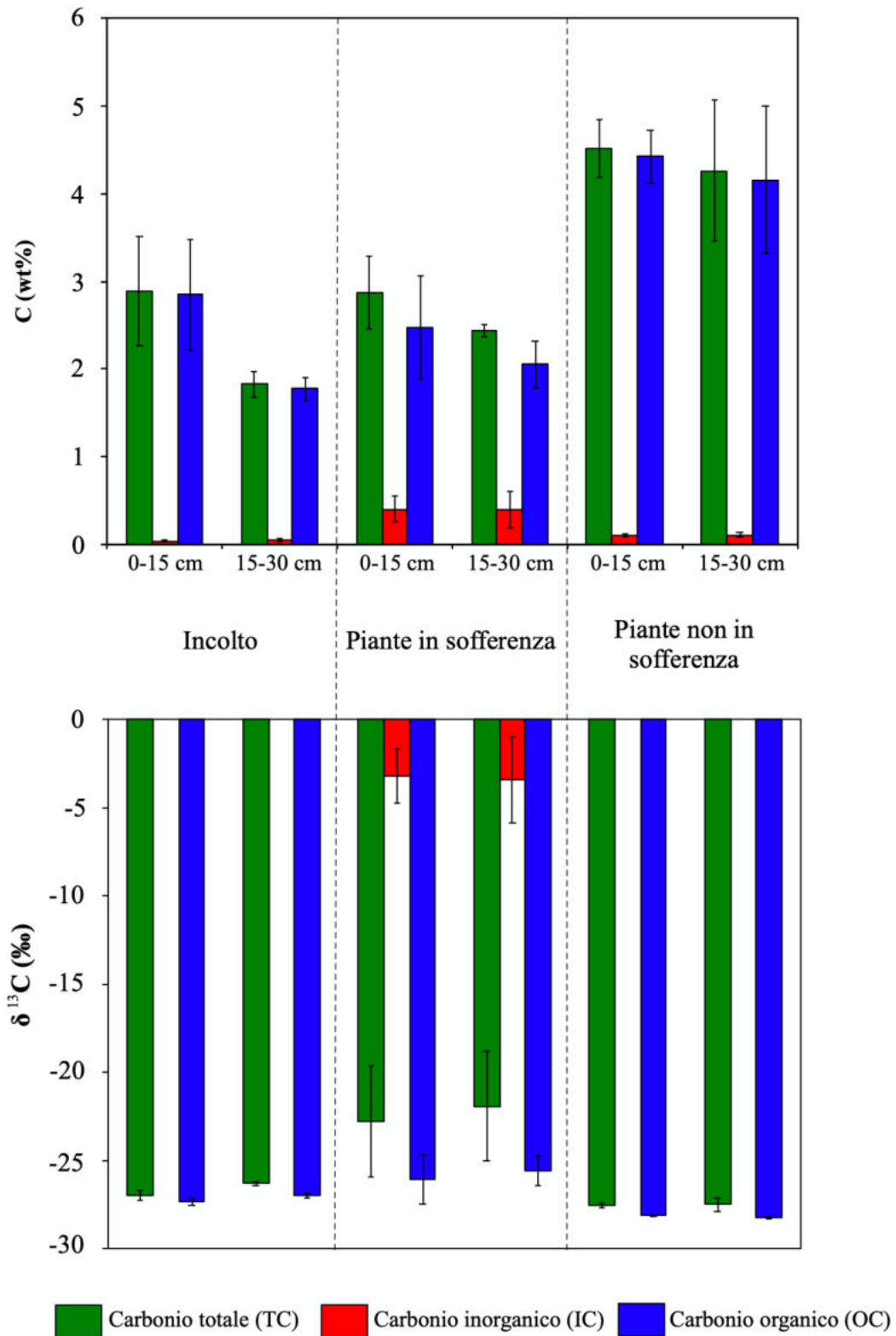


Fig. 19. Istogrammi relativi alla speciazione del carbonio contenuto nei topsoil campionati nei siti dell'Azienda I Rodi. Nel grafico superiore sono riportati i valori del carbonio e relative componenti (TC, IC e OC); in quello inferiore sono riportati i valori dei rapporti isotopici del carbonio e relative componenti ($\delta^{13}C_{TC}$, $\delta^{13}C_{IC}$ e $\delta^{13}C_{OC}$).

5.2 Speciazione del C e N nell'Azienda Carla Tassinari

La caratterizzazione delle frazioni inorganiche e organiche di carbonio dei suoli dell'Azienda Carla Tassinari è stata effettuata analizzando e confrontando i campioni di suolo provenienti dai sette siti

oggetto di indagine (Tabella 7). I valori dei contenuti elementari di C totale, inorganico e organico e di N totale e i rispettivi rapporti isotopici sono riportati in Tabella 16 e in Figura 20. In generale, non si osservano sostanziali differenze di quantità elementare di C fra il livello più superficiale (0-15 cm) e il livello più profondo (15-30 cm) dello stesso sito. Inoltre, la quantità elementare di C totale è pressoché simile in tutti i siti (TC: 1.93-2.79 wt%). In tutti i siti i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ sono relativamente poco negativi, variando da -8 a -12, indicando un maggiore contributo isotopico di IC rispetto a OC. Infatti, in tutti i siti il contenuto elementare di carbonio inorganico supera il contenuto di carbonio organico. Il $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$ ha valori poco negativi e prossimi allo 0, a conferma della cospicua presenza di carbonato tipica dei suoli di quest'area e come già osservato durante la descrizione del profilo BON P-1. Invece il $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ha valori molto negativi (-21 a -25) tipici di piante C3.

Il contenuto elementare di N è scarso e concentrato nella materia organica. Il rapporto C/N varia da 8 a 9, indicando una prevalenza ai processi di mineralizzazione.

Tabella 16. Contenuti elementari e dei rapporti isotopici di C totale, inorganico e organico e di N totale e organico del topsoil dei siti dell'Azienda Carla Tassinari. In tabella è riportato anche il rapporto C/N calcolato come il rapporto fra C e N presenti nella frazione organica.

| Sito | Profondità cm | Frazione totale | | | | Frazione inorganica | | Frazione organica | | | |
|------|------------------|-----------------|-----------|----------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------|------|----------------------------------------|
| | | N wt% | TC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ ‰ | $\delta^{15}\text{N}$ ‰ | IC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$ ‰ | N wt% | OC wt% | C/N | $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ‰ |
| BON1 | 0-15 | 0.14 | 2.76 | -9.8 | 5.5 | 1.63 | -1.2 | 0.12 | 1.14 | 9.75 | -22.0 |
| | 15-30 | 0.11 | 2.52 | -7.9 | 6.0 | 1.75 | -1.4 | 0.09 | 0.78 | 9.49 | -22.7 |
| BON3 | 0-15 | 0.15 | 2.79 | -10.1 | 6.8 | 1.63 | -1.4 | 0.13 | 1.16 | 8.93 | -22.4 |
| | 15-30 | 0.16 | 2.85 | -10.2 | 6.3 | 1.71 | -1.4 | 0.14 | 1.14 | 8.36 | -23.7 |
| BON4 | 0-15 | 0.13 | 2.62 | -10.7 | 7.1 | 1.62 | -2.9 | 0.12 | 1.01 | 9.14 | -23.3 |
| | 15-30 | 0.12 | 2.59 | -10.3 | 6.2 | 1.53 | -2.9 | 0.11 | 1.07 | 9.97 | -21.0 |
| BON5 | 0-15 | 0.14 | 2.53 | -10.3 | 6.2 | 1.51 | -1.4 | 0.11 | 1.03 | 9.42 | -23.3 |
| | 15-30 | 0.12 | 2.44 | -9.0 | 6.8 | 1.51 | -1.1 | 0.11 | 0.94 | 9.15 | -21.8 |
| BON6 | 0-15 | 0.12 | 2.19 | -11.1 | 7.0 | 1.30 | -1.9 | 0.10 | 0.89 | 9.26 | -24.6 |
| | 15-30 | 0.14 | 2.24 | -12.2 | 7.3 | 1.22 | -1.7 | 0.13 | 1.02 | 8.39 | -24.8 |
| BON7 | 0-15 | 0.11 | 2.05 | -10.1 | 6.9 | 1.23 | -1.8 | 0.09 | 0.82 | 9.39 | -22.5 |
| | 15-30 | 0.11 | 2.04 | -10.3 | 5.8 | 1.30 | -1.7 | 0.10 | 0.75 | 7.48 | -25.6 |
| BON8 | 0-15 | 0.13 | 2.03 | -12.1 | 6.8 | 1.16 | -2.9 | 0.10 | 0.88 | 9.27 | -24.4 |
| | 15-30 | 0.11 | 1.93 | -11.1 | 7.3 | 1.04 | -2.0 | 0.10 | 0.90 | 9.77 | -21.7 |

N: azoto; TC: carbonio totale; IC: carbonio inorganico; OC: carbonio organico; C/N: rapporto OC/TN; wt%: percentuale peso

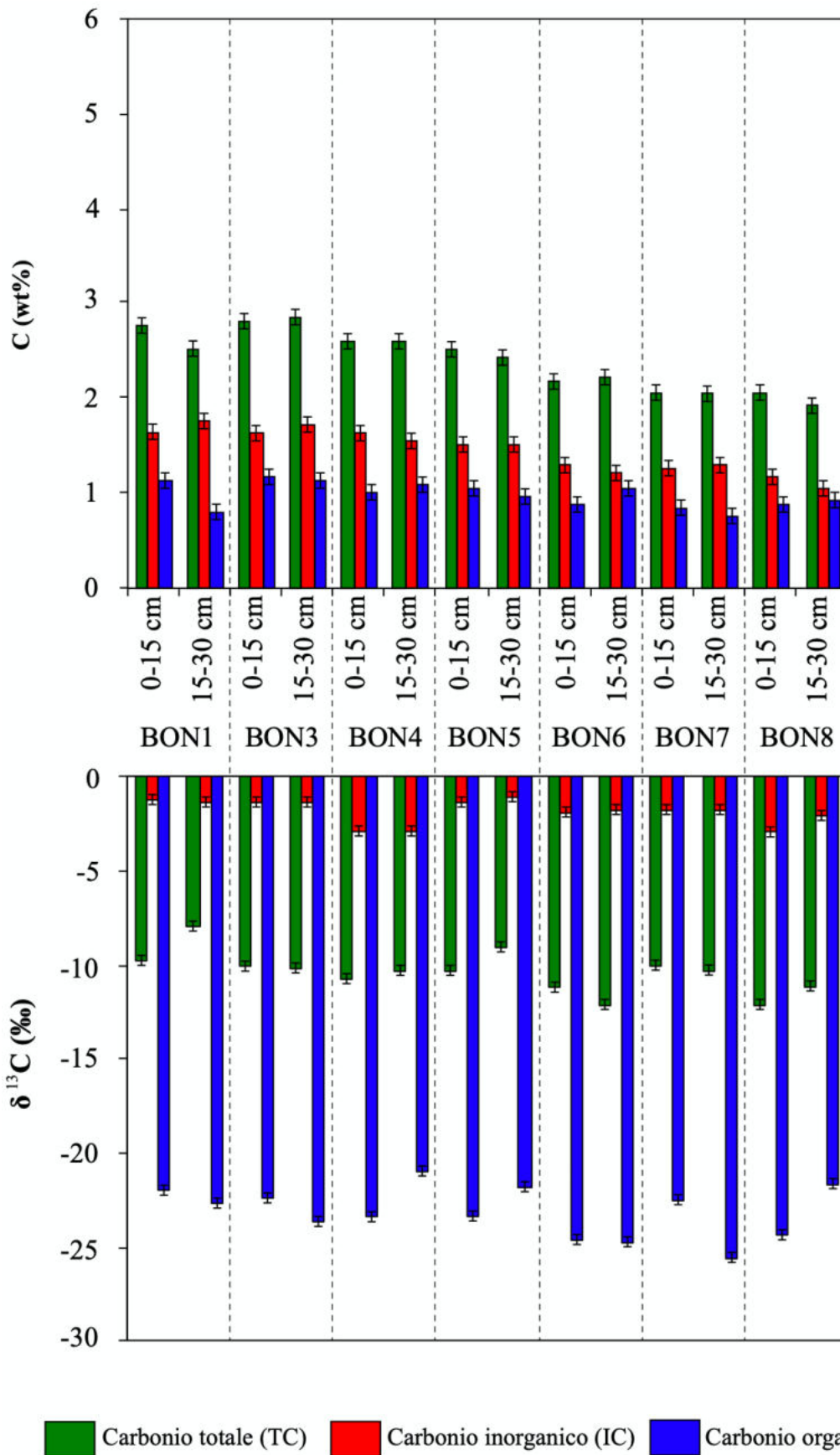


Fig. 20. Istogrammi relativi alla speciazione del carbonio contenuto nei topsoil campionati nei siti dell'Azienda agricola biologica Carla Tassinari. Nel grafico superiore sono riportati i valori del carbonio e relative componenti (TC, IC e OC); in quello inferiore sono riportati i valori dei rapporti isotopici del carbonio e relative componenti ($\delta^{13}C_{TC}$, $\delta^{13}C_{IC}$ e $\delta^{13}C_{OC}$).

5.3 Speciazione del C e N nell'Azienda Maccanti Vivai

Per i terreni de Maccanti Vivai la caratterizzazione delle frazioni inorganiche e organiche di carbonio è stata effettuata analizzando e confrontando i campioni di suolo provenienti dai siti con impianti di astoni di diversa età (tre anni, due anni e un anno) e un terreno preparato (arato) per ospitare un nuovo impianto (Tabella 11). I valori medi per ogni sito dei contenuti elementari di C totale, inorganico e organico e di N totale e i rispettivi rapporti isotopici sono riportati in Tabella 17 e in Figura 21. In generale si osserva che la quantità di C aumenta con la profondità nei primi 30 cm di suolo.

Il contenuto di carbonio totale nel suolo dei quattro siti rimane pressoché costante, tuttavia i valori di $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ diventano meno negativi andando dal sito arato al sito con i peri di tre anni, passando per i siti con i peri di un anno e due anni. Quindi è evidente che fra i siti dell'Azienda deve esserci una variazione di contenuti di carbonio inorganico e/o organico e nelle rispettive firme isotopiche. Infatti, la quantità di carbonio inorganico aumenta andando dal sito arato e procedendo verso il sito con le piante di tre anni, passando per i siti con le piante di un anno e due anni. Parallelamente i rispettivi valori isotopici ($\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$) diventano meno negativi. Invece, la quantità di carbonio organico rimane pressoché stabile fra il sito arato e i siti con le piante di pero più giovani (un anno e due anni); si assiste ad un depauperamento di OC solo nel sito con le piante di pero di tre anni. Il rapporto isotopico $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ha un valore pressoché costante nei vari siti pari a $\sim -25\%$, tipico di sostanza organica prodotta dalla decomposizione di piante C_3 .

Il contenuto elementare di N è simile nei siti con le piante di pero, diminuendo leggermente solo nel sito arato. In tutti i siti, comunque, N rimane concentrato nella frazione organica del suolo. Il rapporto C/N è compreso fra 11 e 13, presentando quindi valori più elevati rispetto ai rapporti C/N delle aziende de I Rodi e Carla Tassinari. Questo perché l'area in cui sorge l'Azienda Maccanti ha un alto contenuto di carbonio organico OC, essendo un'area di recente bonifica con presenza di torbe.

Tabella 17. Medie dei contenuti elementari e dei rapporti isotopici di C totale, inorganico e organico e di N totale e organico del topsoil dei siti dell'Azienda Maccanti Vivai. In tabella è riportato anche il rapporto C/N, calcolato come il rapporto fra C e N presenti nella frazione organica.

| Sito | Profondità cm | Frazione totale | | | | Frazione inorganica | | Frazione organica | | | |
|------|------------------|-----------------|-----------|----------------------------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------------------|-------------------|-----------|-------|----------------------------------------|
| | | N wt% | TC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{TC}}$ ‰ | $\delta^{15}\text{N}$ ‰ | IC wt% | $\delta^{13}\text{C}_{\text{IC}}$ ‰ | N wt% | OC wt% | C/N | $\delta^{13}\text{C}_{\text{OC}}$ ‰ |
| MAC3 | 0-15 | 0.62 | 7.57 | -22.48 | 5.43 | 0.92 | -5.33 | 0.60 | 6.66 | 11.25 | -24.88 |
| | 15-30 | 0.62 | 7.82 | -22.70 | 5.93 | 1.06 | -5.23 | 0.60 | 6.76 | 11.33 | -25.47 |
| MAC4 | 0-15 | 0.67 | 7.52 | -23.53 | 6.40 | 0.69 | -5.53 | 0.64 | 7.11 | 11.33 | -25.20 |
| | 15-30 | 0.64 | 8.02 | -23.35 | 3.58 | 0.65 | -5.58 | 0.61 | 7.37 | 12.00 | -24.95 |
| MAC5 | 0-15 | 0.67 | 7.57 | -23.85 | 7.15 | 0.53 | -6.30 | 0.65 | 7.05 | 11.00 | -25.15 |
| | 15-30 | 0.65 | 8.35 | -24.30 | 3.95 | 0.43 | -6.20 | 0.65 | 8.11 | 13.00 | -25.20 |
| MAC6 | 0-30 | 0.58 | 7.58 | -24.45 | 3.70 | 0.39 | -6.10 | 0.55 | 6.96 | 13.00 | -25.20 |

N: azoto; TC: carbonio totale; IC: carbonio inorganico; OC: carbonio organico; C/N: rapporto OC/TN; wt%: percentuale peso

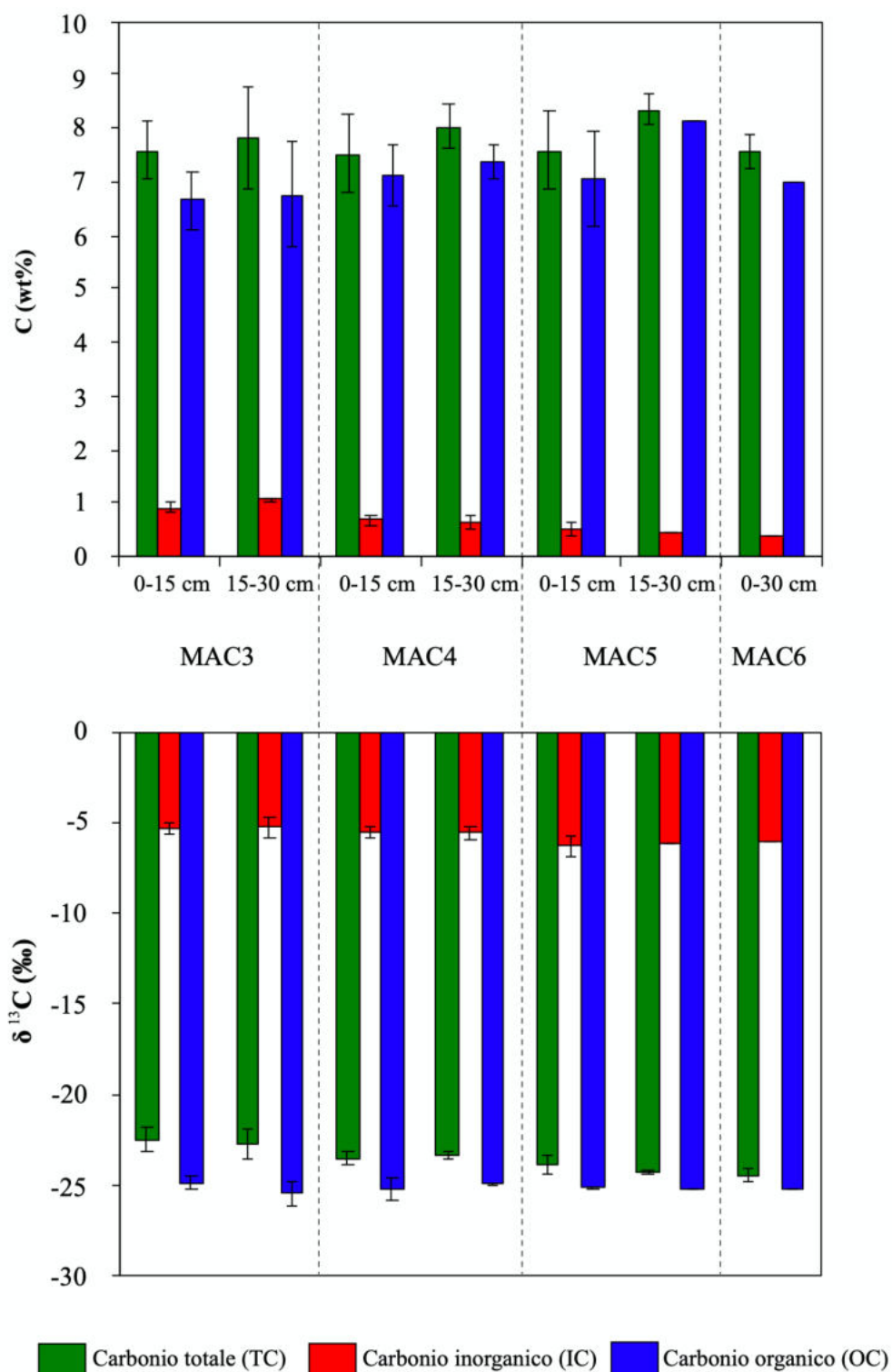


Fig. 21. Istogrammi relativi alla speciazione del carbonio contenuto nei topsoil campionati nei siti dell'Azienda Maccanti Vivai. Nel grafico superiore sono riportati i valori del carbonio e relative componenti (TC, IC e OC); in quello inferiore sono riportati i valori dei rapporti isotopici del carbonio e relative componenti ($\delta^{13}C_{TC}$, $\delta^{13}C_{IC}$ e $\delta^{13}C_{OC}$).

6) Effetto delle condizioni pedo-climatiche sul rapporto C/N dei suoli

Il rapporto tra il carbonio organico e l'azoto totale (i.e., C/N) può essere un valido indice della qualità del suolo. Tale rapporto è influenzato non solo dai processi ecologici naturali, ma anche da diversi fattori tra cui il clima, il tipo di suolo, la topografia, il tipo di vegetazione, l'uso e la gestione del

suolo. Per cui il rapporto C/N può essere impiegato per discriminare la qualità dei suoli delle tre aziende investigate dal progetto, dato che queste sono caratterizzate da diverse condizioni pedoclimatiche e pratiche agricole. Confrontando le tre aziende, il rapporto C/N aumenta nell'ordine Carla Tassinari < I Rodi < Maccanti Vivai (Tabelle 15-17; Figura 22a). Tuttavia, secondo i valori C/N (7.5-13.0; Tabelle 15-17), nei suoli di tutte le aziende investigate i processi di mineralizzazione della materia organica prevalgono su quelli di immobilizzazione, inclusi i suoli dell'Azienda Maccanti Vivai, il cui rapporto C/N (11.0-13.0; Tabella 17) è più basso di quello che ci si aspetterebbe considerando l'abbondanza di SOM (e quindi SOC) nell'area per la presenza di torbe. È infatti necessario tener conto anche di fattori naturali come le condizioni climatiche e il pH dei suoli. Il clima caldo della pianura ferrarese e il pH moderatamente alcalino dei suoli dell'Azienda Maccanti Vivai (Tabella 10) tendono infatti ad accelerare i processi di mineralizzazione portando alla decomposizione della SOM (Figura 22b; Wiesmeier et al., 2019; Abbas et al., 2020). Tale situazione si registra anche nei suoli dell'Azienda Carla Tassinari. Nonostante quest'ultima eviti le pratiche agricole convenzionali a favore di un approccio biodinamico, i suoli registrano i più bassi valori di C/N (7.5-10.0; Tabella 16), oltre che i valori più negativi di $\delta^{13}C_{OC}$ (-21.0 - -25.6‰; Tabella 16), indicando un elevato grado di trasformazione della SOM. Questo è dovuto i) alla scarsità di OC, che abbassa il rapporto C/N, ii) al clima secco e caldo e iii) al pH moderatamente alcalino dei suoli (Tabella 8; Figura 22b). A differenza delle altre due aziende, l'Azienda I Rodi è in ambiente montano, perciò le temperature relativamente basse che caratterizzano questo territorio tendono a preservare la SOM dalla decomposizione. Tuttavia, il suolo del sito delle piante in sofferenza, caratterizzato da pH moderatamente alcalino (~8; Tabella 4), ha i valori di C/N più bassi (8.0-8.2; Tabella 15; Figura 22a) e i $\delta^{13}C_{OC}$ meno negativi (-25.6 - -26.1‰; Tabella 15) dell'area, a causa dell'alto pH ha un ruolo predominante nei processi di mineralizzazione della sostanza organica (Figura 22b).

Nonostante il clima più freddo e il pH dei suoli tendenzialmente più acido, anche il terreno dell'Azienda I Rodi è caratterizzato da contenuti di OC medio-bassi a causa di processi erosivi tipici di quest'area, che portano alla rimozione fisica di particelle di suolo, incluse quelle di materia organica.

Per poter analizzare con maggiore dettaglio l'evoluzione (processi di mineralizzazione e umificazione) della materia organica nei suoli delle diverse Aziende si sono eseguite le analisi elementari e isotopiche di C anche nelle frazioni che compongono la SOM.

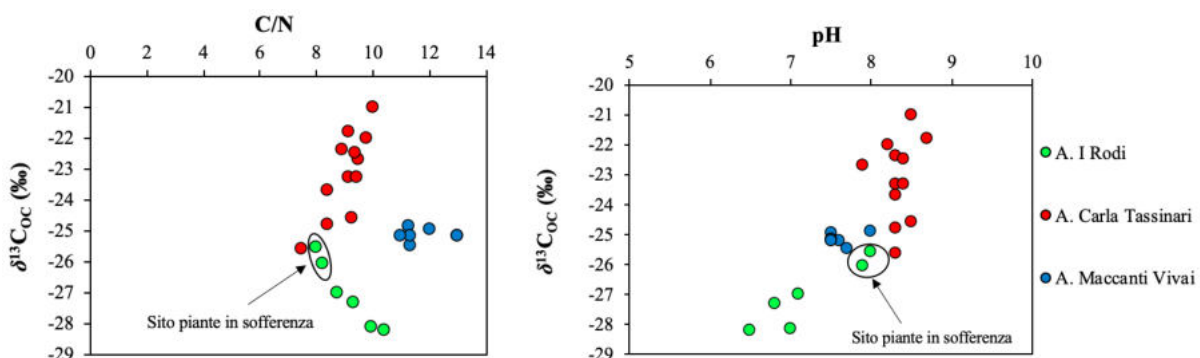


Fig. 22. Diagrammi binari di $\delta^{13}C_{OC}$ vs (a) C/N e (b) vs pH dei topsoil campionati nei siti delle Aziende I Rodi, Carla Tassinari e Maccanti Vivai.

7) Frazioni umiche e sequestro di C nei suoli delle aziende

La SOM è un importante indicatore chimico di qualità dei suoli, infatti, pur rappresentando una percentuale minoritaria tra tutte le componenti solide del suolo, assume un ruolo estremamente importante nella definizione di fertilità dei suoli. Infatti, la SOM svolge un ruolo chiave sulla formazione e protezione degli aggregati e condiziona molte proprietà fisico meccaniche del suolo, costituisce una riserva di elementi nutritivi ed energetici per i microrganismi del suolo e di elementi nutritivi per le piante, attraverso meccanismi di scambio, adsorbimento, complessazione e chelazione. La SOM è la parte più reattiva dal punto di vista chimico, contribuendo, insieme ai minerali argillosi, alla superficie specifica totale.

Il contenuto di sostanza organica dei suoli agrari è spesso inferiore al 2%, valore che si aggrava in ambiente mediterraneo e soprattutto se la sostanza organica non viene reintegrata con pratiche agricole sostenibili nei suoli. Si stima che 86.4% della superficie di suolo totale in Italia sia caratterizzata da valori di C organico $\leq 2\%$, mentre solo 12.4% ne contenga più di 2% (Zdruli et al., 2004).

La SOM è formata per circa 60-80% dalle sostanze umiche, che si originano durante i processi degradativi prima, e successivamente durante i processi di sintesi e risintesi di nuove molecole derivate dall'attività metabolica dei microrganismi. I prodotti che si formano tendono ad associarsi in strutture organiche complesse, maggiormente stabili alla degradazione chimica e biologica, definite come "sostanze umiche". L'insieme di tali reazioni complesse, condizionate sia da fattori biotici (popolazioni microbiche) e abiotici (ad esempio, il clima), viene indicato come processo di umificazione. Il restante 20-40% della SOM può essere assimilato a composti biochimici ben conosciuti quali proteino-simili, polisaccaridi, acidi e alcani, lipidi, cere ed altri e viene solitamente denominato "sostanze non-umiche".

L'estrazione chimica delle sostanze umiche avviene in funzione alla loro solubilità in soluzioni alcaline e/o acide. Pertanto le sostanze umiche possono essere divise in (Fig. 3):

- Acidi umici (HA): frazione umica solubile in alcali ma che precipita in seguito all'acidificazione dell'estratto.
- Acidi fulvici (FA): frazione umica che rimane in soluzione sia in alcali che in acidi
- Umina: frazione umica che non può essere estratta da terreno per mezzo di alcali e acidi.

Gli acidi umici e fulvici sono stati oggetto di studi volti alla loro caratterizzazione chimico-strutturale (Nannipieri et al., 1993; Landi et al., 2000) e alla definizione della loro funzione all'interno del suolo. Una delle caratteristiche più importanti delle sostanze umiche è la loro capacità di interagire con ioni metallici, ossidi, idrossidi, minerali argillosi e formare composti e associazioni che possono essere sia solubili che insolubili in acqua e avere stabilità chimica e biologica diversa da quella originaria. In particolare, l'assorbimento dei composti umici sulle superfici argillose e negli interstrati dei minerali argillosi svolge un'azione di stabilizzazione delle sostanze umiche stesse, proteggendo la sostanza organica dalla decomposizione chimica e biologica per lunghi periodi di tempo, aumentando il turnover e la residenza delle molecole nel suolo. Inoltre, la formazione di complessi argillo-umici, metallo-umati e metallo-fulvati è importante per avere una buona struttura del suolo e assicurare la disponibilità dei nutrienti, principalmente i microelementi.

La ricerca è molto attiva per identificare uno o più metodi che possano essere accurati per determinare: 1) la "frazione attiva", composta da biomassa e C labile, può indicare la velocità con cui i nutrienti siano rilasciati e 2) la "frazione recalcitrante", composta da sostanze umiche, la sua formazione e la sua stabilità nel suolo.

La SOM dei suoli agrari è principalmente influenzata dalle pratiche di gestione (lavorazioni, rotazioni colturali, fertilizzazione, pratiche irrigue, apporti di ammendanti) che possono modificare il turnover e il tempo di residenza delle diverse frazioni umiche.

In Tabella 18 sono riportati i valori di C delle diverse frazioni della SOM estratte dai campioni di suolo a 0-15 cm nelle aziende investigate dal progetto SaveSOC2.

Tabella 18. Valori medi di C delle diverse frazioni della SOM separati dai campioni di suoli a 0-15 cm dei diversi appezzamenti delle aziende investigate dal progetto SaveSOC2.

| Azienda | Sito | POM g/kg | FA g/kg | HA g/kg | Umina g/kg |
|------------------------|---------------------------------|-------------|------------|------------|---------------|
| I Rodi | Incolto | 0.14 | 1.8 | 2.8 | 23.4 |
| | Piante in sofferenza | 0.08 | 1.1 | 2.0 | 21.3 |
| | Piante non in sofferenza | 0.26 | 1.9 | 4.9 | 31.7 |
| Carla Tassinari | BON1 | 0.22 | 0.4 | 0.2 | 10.3 |
| | BON3 | 0.02 | 0.4 | 0.1 | 10.8 |
| | BON5 | 0.07 | 0.8 | 0.1 | 9.1 |
| | BON6 | 0.03 | 0.8 | 0.1 | 8.7 |
| | BON7 | 0.02 | 0.3 | 0.1 | 8.1 |
| | BON8 | 0.07 | 0.4 | 0.1 | 7.6 |
| Maccanti Vivai | MAC3 | 0.22 | 1.2 | 3.9 | 38.3 |
| | MAC4 | 0.06 | 0.9 | 4.7 | 48.4 |
| | MAC5 | 0.10 | 1.8 | 4.8 | 52.9 |
| | MAC6 | 0.21 | 1.3 | 3.4 | 43.9 |

POM: sostanza organica particolata; FA: acidi fulvici; HA: acidi umici

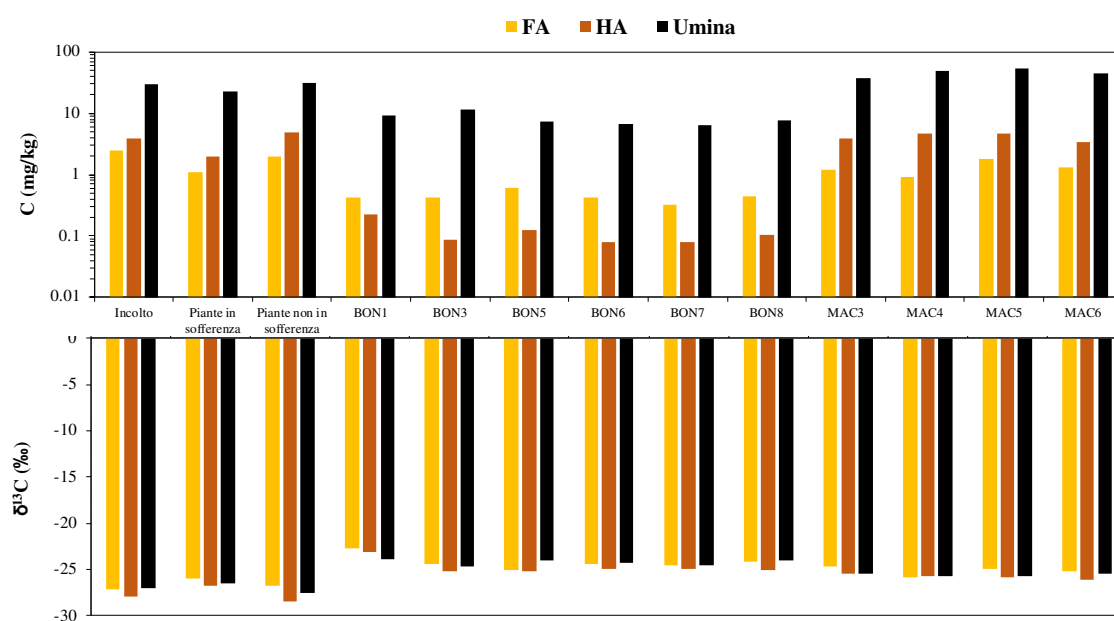


Fig. 23. Istogrammi relativi alle frazioni umiche (acidi fulvici-FA; acidi umici-HA; umina) contenute nei topsoil campionati nei siti delle Aziende I Rodi, Carla Tassinari e Maccanti Vivai. Nel grafico superiore sono riportati, in scala logaritmica, i contenuti di carbonio nelle frazioni umiche; in quello inferiore sono riportati i valori dei rapporti isotopici del carbonio.

La quantità totale di C delle diverse frazioni di SOM separata nei suoli è influenzata dal contenuto di C organico totale dei siti (Tabelle 3, 7 e 11) e, come si osserva in Tabella 18, è maggiore nei suoli della bassa pianura ferrarese sottoposta a bonifica dell'Azienda Maccanti Vivai (MAC) e inferiore nei suoli dell'alta pianura ferrarese caratterizzati di basso tenore di C organico dell'Azienda Carla Tassinari (BON). Indipendentemente dalla quantità totale di C delle diverse frazioni, in tutti i siti la frazione di C dell'umina, cioè di quella frazione fortemente legata alla fase minerale e quindi non estraibile, è predominante rappresentando sempre oltre l'80% delle frazioni estratte. La POM, la sostanza organica particolata costituita da residui organici molto poco trasformati, costituisce invece sempre meno dell'1%, eccetto che nel sito BON1, gestito a frutteto con inerbimento, in cui 0.22 g/kg della POM costituiscono circa il 2% delle frazioni estratte. In tutti i siti, comunque, la SOM è presente principalmente in forma umificata e stabilizzata attraverso interazione con la frazione minerale. Ciò garantisce turnover lento ed elevati tempi di residenza del C attualmente presente nei suoli.

Andando più in dettaglio, nei suoli delle Aziende I Rodi e Maccanti Vivai, la distribuzione di C nelle frazioni umiche segue l'ordine: Umina > HA > FA, con la predominanza delle frazioni umiche a più alto turnover (Tabella 18; Figura 23). Nell'Azienda I Rodi Umina e HA hanno anche le firme isotopiche più negative ($\delta^{13}\text{C}_{\text{Umina}}$: -26.4 - -27.5‰; $\delta^{13}\text{C}_{\text{HA}}$: -26.8 - -28.5‰; Tabella 18; Figura 23), indicando che l'OC si stabilizza rapidamente nelle frazioni più recalcitranti. Al contrario, nel suolo dei frutteti di Maccanti Vivai, Umina e HA hanno valori $\delta^{13}\text{C}$ indistinguibili (~ -25‰; Tabella 18; Figura 23), suggerendo che l'OC viene trasformato da processi di mineralizzazione prima di essere stabilizzato in composti più recalcitranti. La situazione pedo-climatica delle due Aziende ha un ruolo cruciale nella diversa stabilizzazione della SOM: i valori $\delta^{13}\text{C}$ più negativi delle frazioni umiche dell'Azienda I Rodi indicano che qui i processi di mineralizzazione sono particolarmente lenti, probabilmente inibiti dal clima montano più freddo e dai suoli meno alcalini. Al contrario il clima più caldo della pianura e il suolo con carattere più alcalino sono le cause naturali della maggiore mineralizzazione nei suoli dell'Azienda di Maccanti Vivai. Inoltre, bisogna tenere in considerazione che quest'Azienda pratica *conventional tillage*, che induce processi ossidativi che favoriscono la degradazione di materia organica.

Tra le tre aziende investigate i suoli dell'Azienda Carla Tassinari registrano le più basse proporzioni di C in tutte le frazioni umiche. Inoltre, questo è l'unico caso dove i rapporti HA/FA sono più bassi di 1, a causa della più grande abbondanza di C_{FA} su C_{HA} . Rispetto agli FA, gli HA hanno una struttura più complessa, un peso molecolare più alto e sono fra i componenti più stabile dell'humus. Perciò il rapporto HA/FA riflette il grado di umificazione del suolo. Nell'Azienda di Carla Tassinari il basso rapporto HA/FA e la scarsa abbondanza di materia organica (HA e Umina) indicano che i processi di umificazione sono particolarmente scarsi, mentre dominano quelli di mineralizzazione della SOM a causa delle condizioni climatiche calde e del pH alcalino del suolo. Oltre alle condizioni pedo-climatiche, il continuo apporto di materiale organico fresco (macerato) nei terreni dell'Azienda potrebbe aver innescato la perdita di OC recalcitrante a causa del "*priming effect*", ovvero un aumento della decomposizione microbica della SOM dovuto al continuo apporto di C meno stabile (Fontaine et al., 2007). Quest'ultimo viene infatti usato come fonte di energia dalle popolazioni microbiche per la loro crescita, dissipando energia decomponendo anche i composti del carbonio organico delle frazioni maggiormente recalcitranti, depauperando il suolo di C organico stabile. Altra ipotesi è che i processi di condensazione che portano alla formazione di molecole di più grosse dimensioni, tipiche degli HA, sembrano limitati e che la formazione di molecole più piccole (FA) sia favorita. Per

entrambi i casi ipotizzati si associano le condizioni di stress ecofisiologico del suolo, che portano ad una dissipazione dell'energia sottoforma di C immagazzinato e apportato dal suolo e di bassa fertilità biologica evidenziati dai valori degli indici metabolici qCO_2 e IBF di questi suoli (Tabella 7). Coerentemente, le frazioni umiche registrate nei suoli dell'Azienda Carla Tassinari sono caratterizzate da firme isotopiche meno negative, dato che durante il metabolismo microbico il ^{12}C , più leggero, è principalmente rimosso dal suolo e la materia organica risulta arricchita in ^{13}C , più pesante.

8) *Stock di Carbonio organico*

L'immagazzinamento di OC nei suoli dipende da diversi fattori: clima (temperatura e precipitazioni), caratteristiche dei suoli (es. pH), uso del suolo (agricolo o forestale), tipo e gestione del suolo (Wiesmeier et al., 2019). Pertanto, in questo progetto che investiga i contenuti di OC nei suoli agricoli di distinti contesti pedo-climatici e soggetti a pratiche agricole differenti, sono stati registrati diversi OC stocks nei topsoil (0-30 cm), i quali aumentano nell'ordine: Tassinari Carla < I Rodi < Maccanti Vivai (Tabella 19; Figura 24). Nonostante l'Azienda Carla Tassinari eviti pratiche agricole convenzionali, a favore di un approccio biodinamico, i rispettivi suoli immagazzinano piccole quantità di OC (33-48 Mg/ha; Tabella 19; Figura 24). Al contrario, l'Azienda I Rodi, che predilige anch'essa una gestione biologica, ha più alti OC stocks nei suoli (69-160 Mg/ha; Tabella 19; Figura 24). Questo gap è legato alle diverse condizioni pedo-climatiche che interessano le due aree. Il tasso di mineralizzazione dei suoli dell'Azienda Carla Tassinari è accelerato dal clima della Pianura Padana, tipicamente più caldo e secco, e dal pH moderatamente alcalino dei suoli; al contrario nell'Azienda I Rodi, il clima più caldo e umido e il pH neutro del suolo tendono a rallentare il processo di mineralizzazione e perciò a preservare l'OC. L'Azienda Maccanti Vivai, sebbene usi il *conventional tillage*, registra alti valori medi di OC stock (228-257 Mg/ha; Tabella 19; Figura 24) a causa dell'abbondanza di materia organica contenuta nelle torbe presenti nei suoli dell'area, che derivano da bonifiche più o meno recenti. Sia nell'Azienda di Carla Tassinari che in quella di Maccanti Vivai evidenti differenze fra i diversi siti delle aziende sono limitate, mentre nell'Azienda I Rodi i siti dell'incolto e delle piante in sofferenza registrano valori più bassi di OC (69-86 Mg/ha; Tabella 19; Figura 24) rispetto a quello delle piante non in sofferenza (160 Mg/ha Tabella 19; Figura 24). Il contenuto relativamente scarso di OC (e OC stock) del sito delle piante in sofferenza rispetto al sito delle piante non in sofferenza può derivare da molti fattori, tra cui il differente quantitativo di ammendanti apportati al suolo, il pH del suolo e anche la sua umidità. La presenza di figure redoximorfe, che indicano un maggiore ristagno di acqua, era presente nelle aree in cui le piante di lampone erano in sofferenza. L'Azienda I Rodi evita le pratiche convenzionali a favore del minimum tillage e dell'inerbimento. Queste ultime pratiche conservano o persino portano all'aumento di OC nei suoli. Ciò è probabilmente dovuto alla riduzione e alla distruzione degli aggregati e della porosità del suolo e quindi alla conservazione degli habitat in cui è favorita la crescita delle popolazioni microbiche. Questa tecnica è anche adottata dall'Azienda Carla Tassinari che, tuttavia, registra i più bassi valori di OC stock (Tabella 19; Figura 24), dovuto come riportato sopra ai processi di innesco (priming effect) e di dissipazione metabolica del suolo.

Tabella 19. Valori medi di stock di C organico dei topsoil 0-30 cm campionati nei siti delle Aziende I Rodi, Carla Tassinari e Maccanti Vivai. I valori di Bulk density sono stati misurati in campo da campioni indisturbati a volume noto.

| Azienda | Sito | Bulk density g/cm³ | OC Stock Mg/ha |
|------------------------|---------------------------------|------------------------------------------|---------------------------|
| I Rodi | Incolto | 1.24 | 85.9 |
| | Piante in sofferenza | | 69.0 |
| | Piante non in sofferenza | | 159.6 |
| Carla Tassinari | BON1 | 1.40 | 40.3 |
| | BON3 | | 48.3 |
| | BON4 | | 43.7 |
| | BON5 | | 41.4 |
| | BON6 | | 40.1 |
| | BON7 | | 33.0 |
| | BON8 | | 37.4 |
| | Maccanti Vivai | MAC3 | 1.13 |
| MAC4 | | | 245.4 |
| MAC5 | | | 257.0 |
| MAC6 | | | 235.9 |

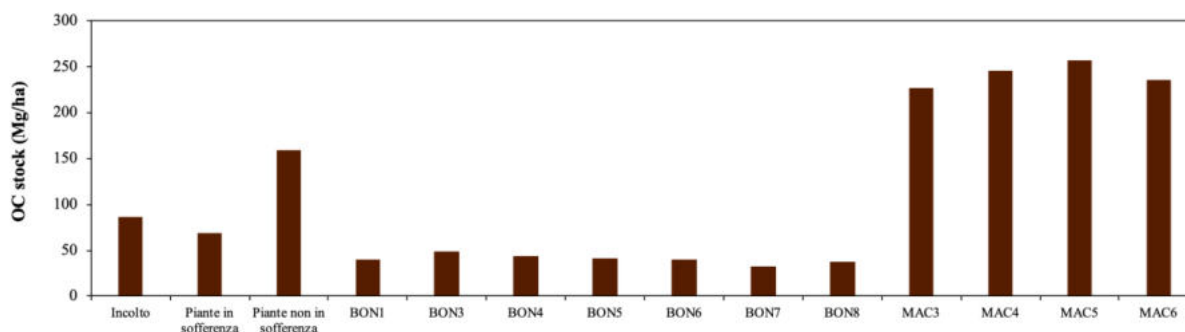


Fig. 24. Istogrammi relativi ai valori medi di stock di C organico dei topsoil 0-30 cm campionati nei siti delle Aziende I Rodi, Carla Tassinari e Maccanti Vivai.

9) Monitoraggio del rilascio di CO₂ dal suolo

La respirazione del suolo è il secondo più grande flusso di carbonio tra gli ecosistemi terrestri e l'atmosfera ed è sostanzialmente sensibile ai cambiamenti climatici. I flussi di CO₂ evidenziano una elevata variabilità spaziale e temporale, in quanto sono influenzati dalla temperatura e dal contenuto di acqua del suolo (Lellei-Kovacs et al., 2011) e dall'attività fotosintetica delle piante (Hogberg et al., 2001). Inoltre i flussi di CO₂ del suolo sono influenzati e strettamente associati alle proprietà del suolo e dell'ambiente quali per esempio la quantità di biomassa radicale (Čater e Ogrinc, 2011), la quantità di sostanza organica (Tang et al., 2005) ed eventualmente di lettiera fogliare (Fang et al.,

1998), il rapporto di C/N del suolo (Ngao et al., 2012), la densità apparente (Saiz et al., 2006) e il contenuto di argilla (Balogh et al., 2011).

La fluttuazione del tasso di respirazione del suolo, correlata alle variazioni del contenuto idrico o della temperatura, muta a seconda della stagione (Curiel Yuste et al., 2003); inoltre, le precipitazioni, oltre ad avere un effetto umettante, determinano la rottura dei microaggregati, entro i quali la SOM è protetta dall'attacco dei microorganismi, determinando quindi un incremento dei tassi di respirazione del suolo non costantemente correlati al contenuto idrico (Casals et al., 2009).

Nell'arco di due stagioni (estate 2018 ed inverno 2018) si è provveduto a monitorare l'emissione di CO₂ dai suoli attraverso misura diretta in campo tramite l'analizzatore portatile all'infrarosso (EGM4-PP system). Tale misura permette di considerare sia la respirazione eterotrofa che autotrofa della sostanza organica. Poiché la respirazione del suolo è fortemente condizionata dalle caratteristiche pedoclimatiche, in particolare temperatura ed umidità del suolo, contemporaneamente alle misure di CO₂ si è provveduto a misurare per ciascun punto di campionamento questi due parametri. Per ogni azienda, sono stati selezionati diversi appezzamenti rappresentativi della conduzione aziendale, per un totale di otto appezzamenti che sono stati monitorati sia in estate che in inverno (Tabella 20). Per l'Azienda Maccanti Vivai sono stati inoltre monitorati nel periodo invernale tre appezzamenti aggiuntivi in cui sono state testate diverse modalità di preparazione del suolo per l'installazione di un nuovo impianto di astoni, al fine di confrontare l'effetto sull'emissioni di CO₂ dal suolo.

Tabella 20. Elenco degli appezzamenti rappresentativi della conduzione aziendale selezionati

| Azienda | Appezzamento | Descrizione |
|------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Carla Tassinari | BON1 | vedi Tabella 5 |
| | BON3 | vedi Tabella 5 |
| | BON5 | vedi Tabella 5 |
| | BON6 | vedi Tabella 5 |
| | BON8 | vedi Tabella 5 |
| Maccanti Vivai | MAC 4new | età impianto tra 2 e 3 anni |
| | MAC 6new | età impianto tra 0 e 1 anno |
| | MAC 3ar | suolo arato dopo raccolta astoni |
| | MAC 3sov | suolo arato dopo raccolta astoni e successivamente sovesciato (monitoraggio invernale) |
| | MAC 7mt | suolo lavorato minimum tillage (monitoraggio invernale) |
| | MAC 8ar | suolo arato (monitoraggio invernale) |
| I Rodi | Incolto | vedi Tabella |
| | Sofferenza | |
| | No-sofferenza | |

In ogni Azienda oggetto di studio sulla superficie del suolo di ogni appezzamento sono stati installati tre collari distanziati fra loro di 1 m (Figura 25), su cui al momento dell'esecuzione della misura dell'emissione di CO₂ dal suolo è stata posizionata la camera di accumulo dell'analizzatore portatile (<https://www.youtube.com/watch?v=OySPQf0I9-c>).

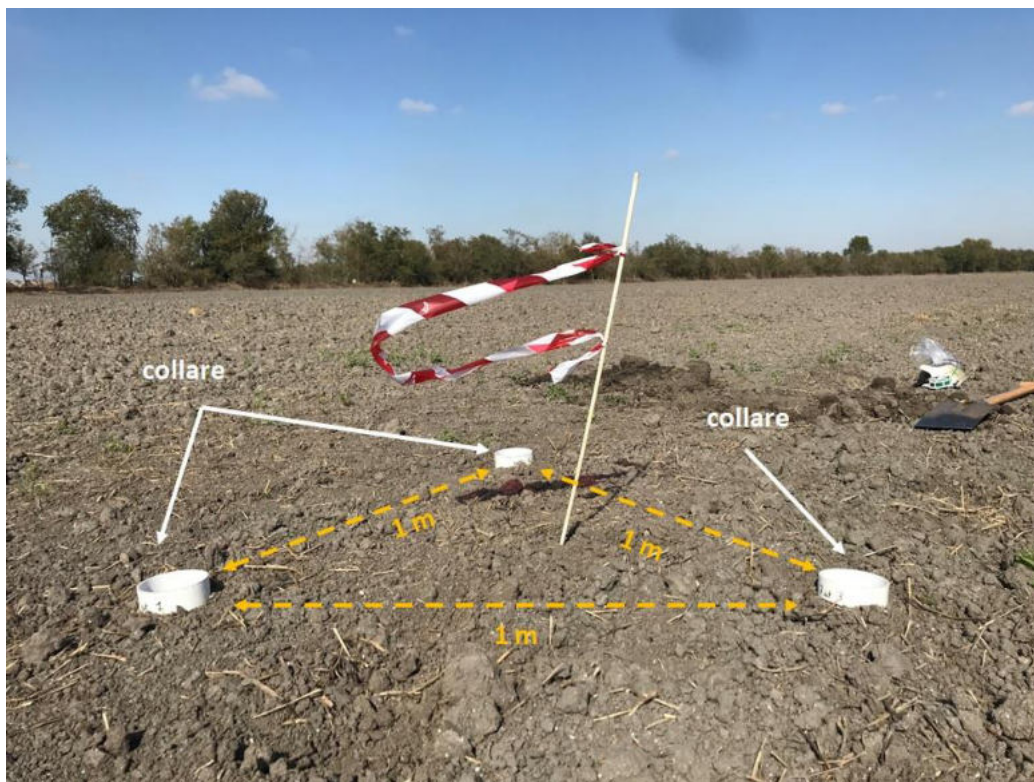


Fig. 25. Collari per il monitoraggio delle emissioni di CO₂ dal suolo posizionati sulla superficie di un appezzamento.

Nelle Tabelle 21, 22 e 23 sono riportati i valori di CO₂ emessa, temperatura e umidità del suolo misurati nel corso del periodo estivo ed invernale del 2018, rispettivamente per le aziende Carla Tassinari, Maccanti Vivai e I Rodi.

Tabella 21. Valori di CO₂ emessa, temperatura (T) e umidità (H) del suolo misurati nel corso del periodo estivo ed invernale del 2018 negli appezzamenti dell'Azienda Carla Tassinari.

| Sito | 27/06/2018 | | | 12/07/2018 | | | 25/07/2018 | | |
|------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| BON1 | 1.18 | 26.5 | 0.112 | 0.80 | 25.1 | 0.090 | 0.59 | 27.5 | 0.067 |
| BON3 | 0.52 | 31.4 | 0.215 | 0.49 | 26.3 | 0.124 | 0.42 | 34.4 | 0.088 |
| BON5 | 1.34 | 25.4 | 0.181 | 0.98 | 23.9 | 0.111 | 0.75 | 26.1 | 0.095 |
| BON6 | 0.66 | 28.7 | 0.164 | 0.51 | 24.5 | 0.109 | 0.43 | 27.3 | 0.083 |
| BON8 | 1.08 | 30.5 | 0.143 | 1.00 | 25.0 | 0.089 | 0.76 | 28.3 | 0.077 |
| Sito | 20/11/2018 | | | 04/12/2018 | | | 13/12/2018 | | |
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| BON1 | 0.33 | 8.1 | 0.229 | 0.23 | 8.3 | 0.246 | 0.20 | 3.1 | 0.246 |
| BON3 | 0.13 | 7.1 | 0.344 | 0.26 | 8.0 | 0.340 | 0.12 | 2.5 | 0.327 |
| BON5 | 0.22 | 7.4 | 0.275 | 0.14 | 6.8 | 0.267 | 0.07 | 2.4 | 0.287 |
| BON6 | 0.13 | 7.9 | 0.324 | 0.15 | 7.7 | 0.269 | 0.08 | 3.2 | 0.278 |

| | | | | | | | | | |
|-------------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|
| BON8 | 0.18 | 8.0 | 0.343 | 0.28 | 8.2 | 0.289 | 0.17 | 3.8 | 0.284 |
|-------------|------|-----|-------|------|-----|-------|------|-----|-------|

Tabella 22. Valori di CO₂ emessa (CO₂), temperatura (T) e umidità (H) del suolo misurati nel corso del periodo estivo ed invernale del 2018 negli appezzamenti dell'azienda Maccanti Vivai.

| Sito | 05/07/2018 | | | 20/07/2018 | | | 02/08/2018 | | |
|-------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| MAC 4A new | 0.61 | 28.0 | 0.198 | 1.49 | 33.2 | 0.205 | 1.31 | 28.8 | 0.191 |
| MAC 6Aew | 1.35 | 33.1 | 0.266 | 1.31 | 33.7 | 0.281 | 0.13 | 29.8 | 0.380 |
| MAC 3A ar | 0.51 | 26.6 | 0.173 | 1.04 | 35.2 | 0.177 | 0.50 | 30.7 | 0.172 |
| Sito | 16/11/2018 | | | 28/11/2018 | | | 10/12/2018 | | |
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| MAC 4 A new | 0.33 | 13.0 | 0.299 | 0.24 | 11.7 | 0.367 | 0.21 | 8.9 | 0.333 |
| MAC 6 A new | 0.53 | 13.5 | 0.338 | 0.18 | 10.8 | 0.368 | 0.29 | 8.2 | 0.392 |
| MAC 3A ar | 0.45 | 13.1 | 0.296 | 0.18 | 10.3 | 0.379 | 0.11 | 8.8 | 0.357 |

Tabella 23. Valori di CO₂ emessa (CO₂), temperatura (T) e umidità (H) del suolo misurati nel corso del periodo estivo ed invernale del 2018 negli appezzamenti dell'azienda I Rodi.

| Sito | 02/07/2018 | | | 15/07/2018 | | | 02/08/2018 | | |
|---------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|-------------------------------------|
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| incolto | 1.12 | 22.3 | 0.266 | 0.91 | 25.5 | 0.232 | 1.31 | 27.4 | 0.165 |
| soff | 0.72 | 23.4 | 0.312 | 0.65 | 26.2 | 0.303 | 0.13 | 27.8 | 0.258 |
| no-soff | 1.11 | 23.7 | 0.207 | 0.98 | 25.7 | 0.198 | 0.51 | 27.2 | 0.124 |
| Sito | 08/11/2018 | | | 20/11/2018 | | | 15/12/2018 | | |
| | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ | CO ₂ gCO ₂ /m ² /h | T °C | H m ³ /m ³ |
| incolto | 0.09 | 8.8 | 0.254 | 0.12 | 5.4 | 0.287 | 0.09 | 4.3 | 0.289 |
| soff | 0.12 | 7.4 | 0.312 | 0.16 | 5.7 | 0.345 | 0.07 | 4.1 | 0.301 |
| no-soff | 0.13 | 7.2 | 0.335 | 0.17 | 5.8 | 0.356 | 0.05 | 4.3 | 0.314 |

I valori di CO₂ emessa dai suoli dell'azienda Carla Tassinari variano da 0.42 a 1.34 gCO₂/m²/h nel periodo estivo, e da 0.07 a 0.33 gCO₂/m²/h nel periodo invernale (Tabella 21). I suoli dell'Azienda Maccanti Vivai emettono invece tra 0.13 e 1.42 gCO₂/m²/h nel periodo estivo e tra 0.11 e 0.53 gCO₂/m²/h nel periodo invernale (Tabella 22). I valori di CO₂ ottenuti dalla respirazione eterotrofa nell'Azienda I Rodi nella stagione estiva oscillano tra 0.13 e 1.31 gCO₂/m²/h mentre 0.07 e 0.13 gCO₂/m²/h nel periodo invernale. La temperatura del suolo invernale scende tra 8.8°C e 4.1°C (Tabella 23). Come atteso, i valori di CO₂ emessa dai suoli di entrambe le aziende sono molto più bassi durante la stagione invernale rispetto a quella estiva. Ciò avviene a causa delle basse temperature che limitano l'attività microbica ed inducono il riposo vegetativo delle piante. Il valore medio del periodo invernale può essere preso quindi come valore di fondo naturale di emissioni di CO₂ tipico del suolo di ogni appezzamento monitorato. Interessante notare che, all'interno di ogni azienda, il valore medio invernale di CO₂ emessa dai suoli non differisce; il valore medio dei suoli dell'Azienda Carla Tassinari (siti BON) è pari a 0.18±0.05 gCO₂/m²/h mentre per l'Azienda Maccanti Vivai (siti MAC) è 0.28±0.05 gCO₂/m²/h e 0.11±0.04 gCO₂/m²/h.

10) Calcolo della carbon footprint

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

In conformità al Protocollo di Kyoto, i gas ad effetto serra da includere nel calcolo sono:

- anidride carbonica (CO₂)
- metano (CH₄)
- protossido d'azoto (N₂O)
- idrofluorocarburi (HFCs)
- esafluoruro di zolfo (SF₆)
- perfluorocarburi (PFCs)

La CO₂e (CO₂ equivalente) è l'unità di misura utilizzata per misurare il GWP (Global Warming Potential) dei gas serra, ovvero il loro potenziale di riscaldamento globale. La CO₂ è il gas di riferimento usato per misurare tutti gli altri, quindi il GWP della CO₂=1. Il metano, invece ha un potenziale serra 21 volte superiore rispetto alla CO₂, pertanto una tonnellata di metano viene contabilizzata come 25 tonnellate di CO₂ equivalente. Di seguito sono riportati i CO₂e degli altri gas serra:

- N₂O = 310 CO₂e
- SF₆ =23.900 CO₂e
- PFC = 6.500 - 9.200 CO₂e
- HFC = 140 - 11.700 CO₂e

Per il calcolo della carbon footprint si richiede di calcolare:

- emissioni dirette: provenienti da fonti proprie dell'azienda o controllate dall'azienda (es. utilizzo di energia, veicoli aziendali, combustibili per il processo di produzione)
- emissioni indirette: sono emissioni che sono conseguenza delle attività dell'azienda, ma la cui fonte/sorgente è controllata da altre aziende (es. utilizzo di combustibili per viaggi aziendali o per veicolo non aziendali per lo spostamento dei dipendenti casa/lavoro).

Per il progetto SaveSOC2 si è calcolata la differenza di carbon footprint di quattro parcelle di 1,3 ha ciascuna presso l'Azienda Maccanti Vivai: due parcelle sono state lavorate con modalità convenzionale e due sono state lavorate a scopo sperimentale, utilizzando lavorazioni minime (minimum tillage) o miste tra convenzionali e minime, interrimento degli sfalci arborei e vegetali o asportazione degli stessi. Utilizzando lo stesso trattore nelle parcelle si è calcolato il contributo alla diversa carbon footprint utilizzando uno strumento di calcolo disponibile in rete: "The Greenhouse Gas Protocol" e nello specifico la parte dedicata alle emissioni di veicoli Transport Tool (Version 2.6) inserendo nella casella tipologia di dati di attività il tipo di combustibile usato: Gasoline/Petrol. Con tale strumento è stato evidente verificare che tra le due tipologie di lavorazioni si ha una emissione di GHG doppia nel caso della lavorazione tradizionale (2,38 teq CO₂) rispetto a quella "minimum tillage" (1,136 teq CO₂). L'attività condotta ha consentito 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, oltre alle diverse emissioni di gas a effetto serra.

11) Conclusioni

In Figura 26 sono illustrate le quantità di OC e IC rilevate nei suoli delle tre aziende. Le maggiori percentuali di carbonio organico si registrano nei suoli dell'Azienda Maccanti Vivai (6.8 wt%) mentre nei suoli dell'Azienda Carla Tassinari si rilevano le minori (1.0 wt%); nell'azienda I Rodi i valori di carbonio organico si attestano attorno al 3 wt%. Per quanto riguarda il carbonio inorganico il valore più alto appartiene invece all'Azienda Carla Tassinari (1.4 wt%), seguita dall'Azienda Maccanti Vivai (0.8 wt%) e dall'Azienda I Rodi (0.2 wt%). Le quantità di OC si riflettono di conseguenza anche sui valori di *carbon stock*, parametro che esprime la quantità di carbonio organico immagazzinato dal suolo per unità di superficie. Infatti, come riportato in Figura 26, i suoli dell'Azienda I Rodi dell'Appennino modenese hanno un *carbon stock* di 10.7 kg/m², con la presenza di una significativa frazione di natura microbica (C_{mic} : 464 mg/kg) che incrementa la bioattività e garantisce un progressivo accumulo di carbonio nel suolo. Meno rosea è la situazione riscontrata nei terreni delle aziende della Pianura ferrarese. L'Azienda Maccanti Vivai, che insiste su suoli a natura torbosa, di recente bonifica, nella bassa Pianura ferrarese, ha un notevole *carbon stock* (25.1 kg/m²), ma in proporzione la frazione microbica risulta totalmente deficitaria (C_{mic} : 117 mg/kg). L'azienda Carla Tassinari, nell'alta Pianura ferrarese, registra esigui valori sia del *carbon stock* (4.2 kg/m²) che del C_{mic} (69 mg/kg).

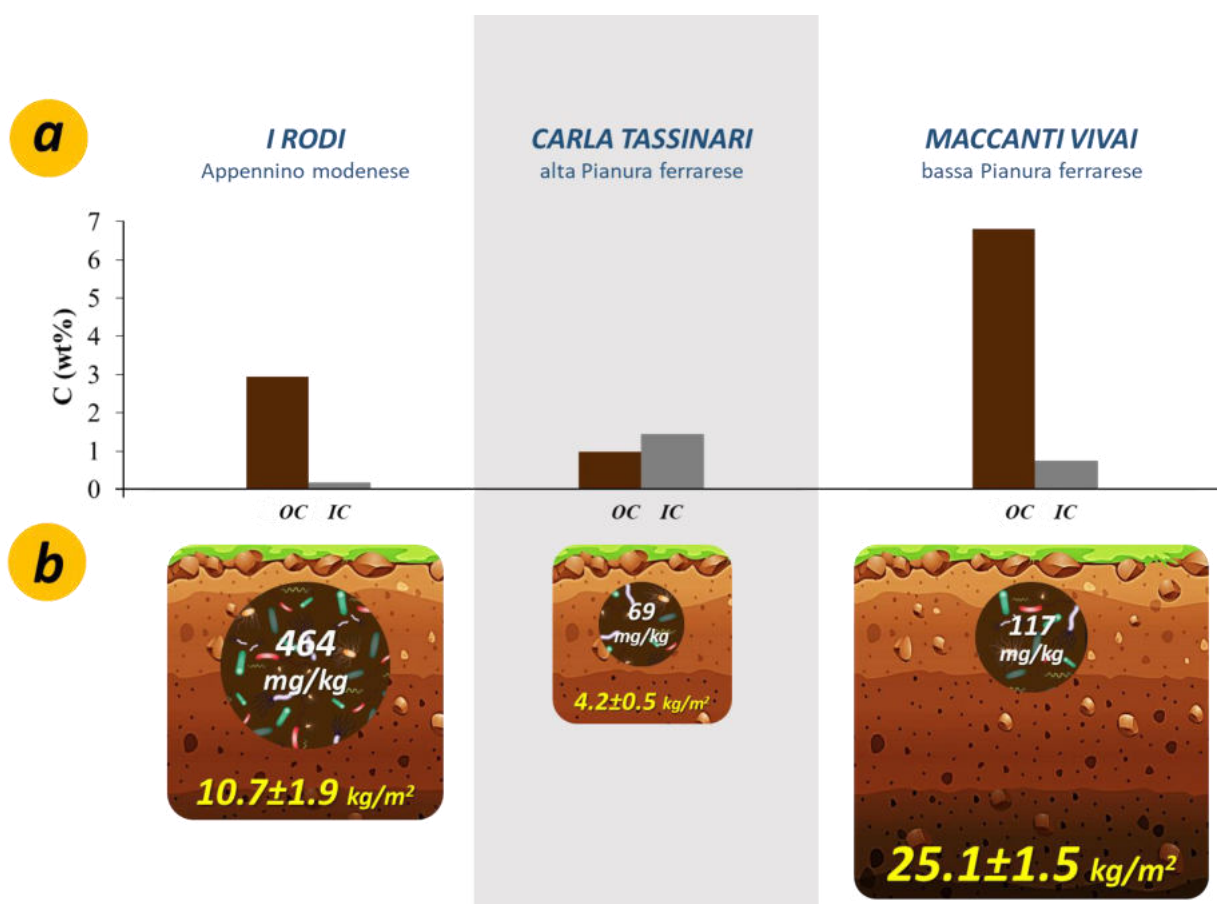


Fig. 26. **a)** valori medi di OC e IC (wt%) presenti nei primi 30 cm di suolo delle tre aziende; **b)** illustrazione semplificata della carica microbica (C_{mic}) rapportata al carbon stock nei primi 30 cm di suolo delle tre aziende studiate.

Quanto riscontrato nei suoli dell'Azienda I Rodi rivela l'importanza del ruolo dell'agricoltura in zone montane, che va incoraggiata allo scopo di evitare spopolamento delle zone, rilanciare prodotti di nicchia e garantire un effettivo sequestro di carbonio nei suoli.

Diversamente, nelle due aziende in pianura si rileva un progressivo impoverimento di sostanza organica. Per invertire tale trend è necessario promuovere pratiche agricole virtuose (GAP - *Good Agricultural Practices*) volte al ripristino dello stato di salute del suolo e al miglioramento delle sue qualità. A tale scopo è necessario attenersi alle seguenti linee guida:

- **Gestione della materia organica.** Le aggiunte regolari di materia organica migliorano la struttura del suolo, migliorano la capacità di ritenzione dell'acqua e dei nutrienti, proteggono il suolo dall'erosione e dalla compattazione e sostengono una comunità sana di microrganismi al suo interno. Pratiche che aumentano la quantità di materia organica includono: lasciare i residui delle colture sul campo, scegliere rotazioni delle colture che includono piante ad alto residuo, coltivare colture di copertura, applicare letame o compost, applicare la pacciamatura, utilizzare sistemi a lavorazione minima o nulla.
- **Gestione della lavorazione del terreno.** La riduzione della lavorazione riduce al minimo la perdita di materia organica e protegge la superficie del terreno grazie ai residui vegetali. Per questo motivo le attrezzature di nuova generazione consentono la produzione del raccolto con il minimo disturbo del terreno. Invece le pratiche convenzionali di lavorazione, benché smuovano e arieggino il terreno, preparino il letto di semina e controllino la crescita delle infestanti, spesso

tendono a: distruggere la struttura del suolo, accelerare la decomposizione e la perdita di materia organica, aumentare la minaccia di erosione e causare compattazione.

- **Gestione della compattazione.** La compattazione riduce la quantità di aria, acqua e spazio a disposizione delle radici e degli organismi del suolo, ed è causata da traffico ripetuto, traffico pesante, o transito quando il suolo è umido. Poiché la compattazione profonda da parte di attrezzature pesanti è difficile o impossibile da correggere, risulta essenziale prevenire eccessive pressioni sul terreno mediante: applicazione di dispositivi atti a limitare la massa applicata sugli assali delle attrezzature, riduzione della pressione specifica esercitata sul suolo con aumento della superficie di contatto di pneumatici e cingoli, aumento della velocità di avanzamento, concentrazione della compattazione in apposite corsie di transito (traffico controllato), dissodamento e arieggiamento del terreno in profondità mediante attrezzature che evitano di rimescolare gli strati superficiali.

Una delle pratiche agronomiche che si basa su questi principi è l'agricoltura conservativa (CA – *Conservative Agriculture*). La CA è un approccio alla gestione degli agroecosistemi che mira a incrementare e valorizzare la produttività, aumentare i profitti e la sicurezza alimentare, preservando e migliorando la risorsa suolo e l'ambiente. L'agricoltura conservativa è caratterizzata da tre principi:

1. Minimo disturbo meccanico del suolo con le lavorazioni (lavorazione ridotta o *minimum tillage*, semina su sodo o *no tillage*; Figura 27).
2. Mantenimento di copertura vegetale del suolo (residui colturali, colture di copertura).
3. Diversificazione nel tempo e nello spazio delle specie coltivate (adozione di adeguati avvicendamenti colturali e/o consociazioni.)

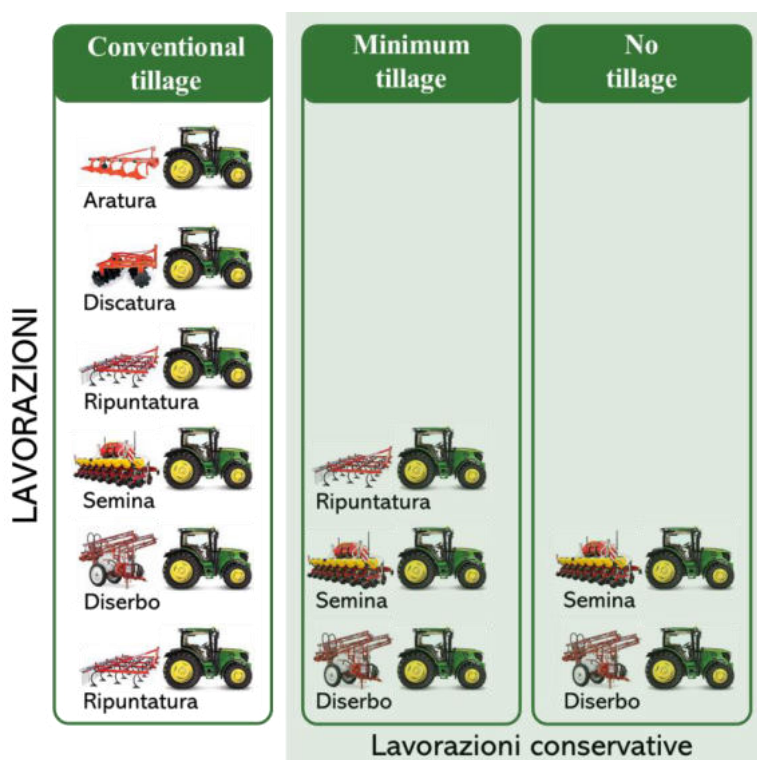


Fig. 27. Illustrazione schematica che mostra le tipologie di operazioni adottate nei regimi di lavorazione convenzionale, di lavorazione ridotta e di lavorazione nulla.

Per evitare i problemi che derivano dalle pratiche di coltivazione convenzionali (es. lunghi tempi per la preparazione del letto di semina, costipamento del terreno, mineralizzazione spinta della sostanza organica, incremento dei costi di lavorazione dovuti a lavorazioni energetiche prolungate e ripetute) le lavorazioni conservative praticano la semina o la piantumazione sui residui della coltura precedente, appositamente lasciati sulla superficie del suolo. Lasciare le stoppie nel campo aiuta infatti a proteggere il terreno dall'erosione da impatto della pioggia e a prevenire la formazione di croste superficiali; inoltre, più residui vengono lasciati sul campo, più nutrienti e carbonio organico rimangono nel terreno. Grazie a tecniche di lavorazione adeguate è

possibile ridurre la perdita di umidità (diminuendo così l'uso dell'acqua per l'irrigazione) e la

compattazione nel terreno, migliorare la qualità del suolo e aumentare la produzione agricola. La CA favorisce anche gli agricoltori riducendo consumo di carburante, usura dei macchinari, tempi di lavoro e manodopera. In futuro, i processi meccanici utilizzati in agricoltura saranno sempre più sostituiti da metodi biologici mirati. Negli ultimi dieci anni, i costi di macchinari e parti di ricambio, carburante, fertilizzanti e altri prodotti a uso agricolo sono raddoppiati, mentre i prezzi di granaglie, prodotti ortofrutticoli e prodotti d'allevamento sono rimasti pressoché stazionari. Per tale motivo, è molto importante che gli agricoltori effettuino indagini comparabili a quelle presentate in questo lavoro, in modo tale da ampliare lo stato conoscitivo del carbonio organico nei suoli e, di conseguenza, poter operare nel miglior interesse delle loro aziende e dell'ambiente. In aggiunta, ogni campo deve essere valutato in base a pendenza, dimensione e tipo di terreno, così come al contesto pedoclimatico in cui ricade. L'insieme di tutti questi fattori determinerà le modalità di preparazione del terreno, l'applicazione di fertilizzanti, nonché la frequenza e il tipo di colture da coltivare in ciascun campo. Se effettuata nel modo corretto, la collaborazione sinergica tra ricercatori scientifici e operatori del settore potrà aiutare non solo a ottenere prodotti migliori, ma anche a ridurre al minimo i costi di produzione e a supportare l'agricoltura sostenibile.

La tematica è stata recepita e discussa a livello comunitario anche a seguito della presentazione all'Europarlamento (Gennaio 2020) del *Green Deal*, che punta a trasformare l'Europa nel primo continente "neutro" dal carbonio entro il 2050 e dove l'agricoltura è chiamata a svolgere un ruolo importante per il clima. Su tale base, le nuove Politiche Agricole Comunitarie (PAC) incentiveranno gli agricoltori all'uso di pratiche eco-sostenibili (es. agricoltura di precisione, agricoltura biologica, agrosilvicoltura) volte all'accumulo e alla conservazione della sostanza organica nei suoli e alla mitigazione dei cambiamenti climatici o all'adattamento a essi. Studi comparabili a quelli presentati vanno pertanto promossi per aumentare lo stato conoscitivo del carbonio organico nei suoli, nonché reiterati nel tempo per monitorare trends in atto, in accordo alle indicazioni del Ministro dell'Agricoltura Teresa Bellanova che, a latere della Conferenza EU2019.FI di Helsinki (settembre 2019), ha affermato che l'Italia vuole essere in prima linea con un modello di agricoltura sostenibile a livello economico, sociale e ambientale, che mira a proteggere e valorizzare i suoli nazionali poiché questi sono preziosi alleati contro i cambiamenti climatici.

12) Partecipazione del gruppo SaveSOC2 alle Tavole rotonde sul “vertical tillage” (21/05/2020 e 07/07/2020 - Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra) e future collaborazioni

La Fondazione per l'Agricoltura Fratelli Navarra (Ferrara), ente che si occupa di ricerca e sperimentazione in agricoltura, ha tenuto il giorno 21/05/2020 presso la propria sede un convegno riguardante la costituzione di un comitato tecnico-scientifico volto alla promozione dell'agricoltura conservativa nella provincia ferrarese.

L'evento, promosso dal geom. Alberto Cavallini (già vicepresidente dell'Associazione Italiana per la Gestione Agronomica e Conservativa del Suolo - A.I.G.A.Co.S.), ha visto coinvolti, oltre al responsabile scientifico del gruppo operativo SaveSOC2 (prof. Gianluca Bianchini), gli esponenti di svariati ambiti professionali, quali: dott. Claudio Scalise, managing partner di SG Marketing Agroalimentare S.r.l.; dott. Paolo Mantovi, ricercatore presso Centro Ricerche Produzioni Animali – CRPA, ing. Filippo Zanella, rappresentante di BiokW; dott. Luigi Fenati e dott. Marco Rivaroli,

rispettivamente presidente e direttore della Fondazione Navarra; Francesco Pastò, direttore generale della Pastò Agricoltura S.r.l.; dott. agr. Guido Garbellini, capo Ufficio Strutture Confagricoltura Ferrara.

Durante l'incontro si è discusso degli aspetti ambientali ed economici dell'agricoltura conservativa e, in particolare, delle tecniche di lavorazione verticali (*vertical tillage*). Il vertical tillage, oltre alle classiche lavorazioni contemplate in agricoltura conservativa, ricorre a operazioni che non creano alcuna forma di compattazione del suolo, lavorando i primi centimetri di suolo mediante utensili a disco (3 - 10 cm) o ad àncora (15 - 20 cm). In questo modo si riescono a ottenere: un aumento della capacità di conservazione della SOM e dell'umidità del terreno; un aumento della biodiversità sopra e sotto la superficie del suolo; una migliore gestione dell'avvicendamento colturale e più appropriata gestione dei fertilizzanti; un aumento dell'efficienza della produzione agricola tramite la riduzione del tempo di lavoro nella preparazione del terreno; una diminuzione delle emissioni di CO₂ da parte del suolo e delle macchine agricole.

Durante l'incontro si è parlato inoltre della mancanza di un punto di aggregazione fra i diversi attori del panorama agricolo provinciale e regionale, che possa occuparsi degli aspetti della gestione della risorsa suolo, promuovendo il trasferimento delle tecniche che ne favoriscono la conservazione a coloro che operano sul campo e, al contempo, facilitando la divulgazione dei risultati della ricerca scientifica in maniera innovativa e intuitiva. Lo sviluppo sostenibile, in Italia come in Europa, è un obiettivo raggiungibile grazie all'introduzione dell'agricoltura conservativa quale nuovo sistema di produzione che protegge l'ambiente e salvaguarda il reddito degli operatori agricoli. Inoltre, l'applicazione di questa serie di tecniche potrà essere facilmente monitorata in modo da permettere l'individuazione e la conseguente valorizzazione degli agricoltori più virtuosi.

Le idee e i contenuti sviluppati durante l'esperienza SaveSOC2 hanno fornito notevoli spunti d'interesse al dibattito, a testimonianza del fatto che la visibilità offerta da simili progetti PSR è fondamentale per promuovere nuovi rapporti sinergici e cooperazioni tra gli organismi regionali e gli operatori del settore agricolo. In particolare, è in corso una collaborazione fra il gruppo operativo di SaveSOC2, il dott. Luigi Fenati e il dott. Alberto Confalonieri, coordinatore comitato tecnico del CIC (Consorzio Italiano Compostatori), per verificare l'efficacia di nuovo compost, al fine di sostituire la concimazione minerale con quella organica. Le competenze e le tecnologie messe a disposizione da SaveSOC2 saranno necessarie per investigare il ciclo del C e le emissioni di CO₂ generate dai suoli fertilizzati con il compost sperimentale.

13) Pubblicazioni di SaveSOC2 e attività di divulgazione e formazione

13.1 Pubblicazioni su riviste divulgative

- Mistri E., De Feudis M. *Una corretta gestione del suolo promuove l'accumulo di carbonio organico e la lotta al cambiamento climatico in corso*. Sapere, in pubblicazione nel 2021.
- Bianchini G., Vittori Antisari L., Falsone G., De Feudis M., Forti C., Natali C., Mistri E., Brombin V., Salani G.M. *Agricoltura, suolo e clima, casi studio in Emilia-Romagna*. Ecoscienza, Aprile 2020, 2, 30-31.

- Mistri E., Bianchini G., Vittori Antisari L., Falsone G., De Feudis M., Forti C., Natali C., Brombin V., Salani G.M. *Fertilità del suolo e mitigazione dei cambiamenti climatici-Sostanza organica, ruolo chiave nel climate change*. Terra e Vita, 28 Febbraio 2020, 8, 60-62.
- Bianchini G., Natali C., Cremonini S., Falsone G., Ferronato C., Vittori Antisari L. *SaveSOC2-Evaluation of carbon fluxes in agricultural soils and strategies to save the Soil Organic Carbon*. Depliant divulgativo.

13.2 Materiale divulgativo digitale

- Sito del progetto SaveSOC2: <https://savesoc2.com>
- Intervista “Open Distal” della prof.ssa Livia Vittori Antisari (Università di Bologna) di spiegazione del progetto SaveSOC2: <https://www.youtube.com/watch?v=OySPQf0I9-c>

13.3 Pubblicazioni internazionali e atti di convegno

- Brombin V., Mistri E., De Feudis M., Forti C., Salani G.M., Natali C., Falsone F., Vittori Antisari L., Bianchini G. in pubblicazione. *Soil carbon investigation in three pedo-climatic and agronomic settings of the Emilia-Romagna region (Northern Italy)*. Sustainability.
- Natali C., Bianchini G., Carlino P. 2020. *Thermal stability of soil carbon pools: Inferences on soil nature and evolution*. *Thermochimica Acta* 683, 178478. DOI: 10.1016/j.tca.2019.178478
- Brombin V., Bianchini G., Natali C., Vittori Antisari L., Falsone G., De Feudis M., Salani G.M., Mistri E., Malavasi F. *Carbon speciation and carbon isotopic characterization of agricultural soils in Emilia-Romagna Region (Northeastern Italy)*. (EGU2020-7325; EGU-European Geosciences Union; Vienna, Austria; 04-08 Maggio, 2020).
- Mistri E., Bianchini G., Natali C., Vittori Antisari L., Falsone C., De Feudis M., Brombin V. *Organic matter investigation in agricultural Apennine topsoils (Emilia-Romagna Region): carbon pools and isotopic C signature*. (EGU2020-7646; EGU-European Geosciences Union; Vienna, Austria; 04-08 Maggio, 2020).
- Brombin V., Calore E., D’Onofrio R., Lauro C., Marchina C., Pelorosso B. *Scienchy-catchy science with IBSE approach*. (EGU2020-18081; EGU-European Geosciences Union; Vienna, Austria; 04-08 Maggio, 2020).
- Bianchini G., Natali C., Vittori Antisari L., Falsone G., Malavasi F., Mistri E. *Carbon speciation and isotopic characterization of agricultural terrains from distinct pedo-climatic settings of the Emilia-Romagna region (Northern Italy)*. (SoWaSe 2018 ESSC International Conference – Imola, Italy – June 6-8, 2018)

13.4 Convegni nazionali e internazionali, scuole a cui ha partecipato SaveSOC2

- 31/08/2020 – 04/09/2020 – Scuola Estiva (Modalità telematica) “I Suoli dell’Appennino e Sequestro di Carbonio: casi di studio utilizzando R e GIS” organizzato da: Università di Bologna e Società Italiana di Scienza del Suolo e Società Italiana di Pedologia, Ente Parco dell’Emilia Centrale
- 04/05/2020 – 08/05/2020 - Congresso internazionale (modalità telematica) “*EGU-European Geosciences Union Congress*”
- 29/04/2020 - Webinar “*Speciazione del carbonio - Dalla fase preparativa alla determinazione del TOC e Carbonio Elementare (ROC/EC)*” organizzato da: EMME3
- 10/02/2020 – 13/02/2020 - Scuola Invernale a Torino “*Agricultural Chemistry Winter School - Plant-soil-microbe interactions and ecosystem dynamics in a changing environment*”
- 31/01/2020 - Convegno a Fieragricola di Verona “*Strategie per riportare il carbonio nei terreni agricoli*”
- 28/11/2019 – 30/11/2019 - Partecipazione a FuturPera - “Salone Internazionale della Pera” (Ferrara)
- 18/09/2019 – 20/09/2019 - Attività di divulgazione a Ferrara presso “*RemTech Expo - International Networking, Exhibition, Conferences and Training*”
- 01/07/2019 – 05/07/2019 - Scuola Estiva a Sestola (MO) “*Sviluppo Sostenibile della Montagna- Statistica ambientale con R*” organizzato da: Società Italiana di Pedologia (SIPe) e Dipartimento di Scienze Statistiche “Paolo Fortunati” (Università di Bologna)
- 05/04/2019 - Convegno “*Il Bel Paesaggio*” Sala Congressi FICO di Bologna
- 08/06/2019 - Escursione in campo presso Azienda Maccanti Vivai per il congresso “*SoWaSe- Soil and Water Security: challenges for the next 30 years!*”

13.5 Partecipazioni a meeting e giornate di formazione

- 13/07/2020 - Webinar “*Valutazione dei flussi di carbonio in terreni agricoli della Pianura Ferrarese e dell’Appennino Modenese e di strategie sostenibili per favorirne il sequestro nella sostanza organica dei suoli di sintesi*”, discussione dei risultati e dei futuri scenari del progetto SaveSOC2.
- 07/07/2020 - 2^a Tavola rotonda su “*Vertical Tillage*” (Fondazione Navarra)
- 21/05/2020 - 1^a Tavola rotonda su “*Vertical Tillage*” (Fondazione Navarra)
- 29/01/2020 - 4^a giornata di formazione - Visita alla 114^o Fieragricola di Verona
- 28/11/2019 - 3^a giornata di formazione - Visita a FuturPera - “Salone Internazionale della Pera”
- 07/11/2019 - 2^a giornata di formazione - Visita presso Aziende “Carla Tassinari” e “Maccanti Vivai”

- 15/10/2019 - 1^a giornata di formazione - Visita presso Azienda “I Rodi”

13.6 Tesi di laurea triennale e magistrale inerenti al progetto SaveSOC2

- 22/03/2019 - Tesi di Laurea Magistrale in Scienze geologiche, Georisorse e Territorio (Università di Ferrara) di Enrico Mistri. Titolo elaborato: “*Caratterizzazione geochimica e agronomica dei terreni dell’areale di Fanano (MO)*”
- 20/12/2018 - Sessione di Laurea Magistrale in Scienze e Tecnologie Agrarie (Università di Bologna) di Simone Antonino Liddino. Titolo elaborato: “*Indice di Biofertilità e Pool di Carbonio in suoli di aziende della pianura ferrarese e dell'appennino modenese soggetti a criticità*”
- 20/07/2018 - Sessione di laurea in Scienze geologiche, Georisorse e Territorio (Università di Ferrara) di Francesco Malavasi. Titolo elaborato: “*Backgrounds, anomalie geochimiche e speciazione del carbonio nei terreni agrari dell’areale di Bondeno (FE)*”
- 23/03/2018 - Sessione di laurea in Scienze geologiche, Georisorse e Territorio (Università di Ferrara) di Stefano Mantovani. Titolo elaborato: “*Caratterizzazione geochimica dei terreni bonificati delle Valli del Mezzano*”

Bibliografia

Abbas, F., Hammad, H.M., Ishaq, W., Farooque, A.A., Bakhat, H.F., Zia, Z., Fahad, S., Farhad, W., Cerdà, A. 2020. *A review of soil carbon dynamics resulting from agricultural practices*. Journal of Environmental Management 268, 110319.

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 asses soil quality*. Agriculture, Ecosystems & Environment 98, 1-3, 285-293.

Anderson, T.H., Domsch, K.H. 1989. *Ratios of microbial biomass carbon to total organic-C in arable soils*. Soil Biology and Biochemistry 21, 471-479

Balogh, J., Pintér, K., Fóti, Sz. Cserhalmi, D., Papp, M., Nagy, Z. 2011. *Dependence of soil respiration on soil moisture, clay content, soil organic matter, and CO₂ uptake in dry grasslands*. Soil Biology and Biochemistry 43, 1006-1013.

Brookes, P.C. 1995. *The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals*. Biology and Fertility Soils 19, 269-279.

Casals, P., Gimeno C., Carrara, A., Lopez-Sangil, L., José Sanz, M. 2009 *Soil CO₂ efflux and extractable organic carbon fractions under simulated precipitation events in a Mediterranean Dehesa*. Soil Biology and Biochemistry 41, 1915-1922.

Castiglioni, G.B., Ajassa, R., Baroni, C., Biancotti A., Bondesan, A., Bondesan, M. 1997 *Carta Geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000*.

Čater, M., Ogrinc, N. 2011. *Soil respiration rates and $\delta^{13}C$ (CO₂) in natural beech forest (Fagus sylvatica L.) in relation to stand structure*. Isotopes in Environmental and Health Studies 47, 221-237.

- 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.
- Curiel Yuste, J., Janssens, I.A., Carrara, A., Meiresonne, L., Ceulemans, R. 2003. *Interactive effects of temperature and precipitation on soil respiration in a temperate maritime pine forest*. Tree Physiology 23, 1263-1270.
- 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.
- 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]
- Fang, C., Moncrieff, J.B., Gholz, H.L., Clark, K.L. 1998. *Soil CO₂ efflux and its spatial variation in a Florida slash pine plantation*. Plant Soil 205, 135-146.
- 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*. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 40, 503-537.
- Fontaine, S., Barot, S., Barré, P., Bdioui, N., Mary, B., Rumpel C. 2007. *Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply*. Nature 450, 277-280.
- Francaviglia, R., Renzi, G., Ledda, L., Benedetti, A. 2017. *Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy*. Science of the Total Environment 599-600, 789-796.
- Fry, B., Sherr, E.B. 1989. *Stable Isotopes in Ecological Research*. New York, NY: Springer New York 196-229.
- Hayes, J. 2001. *Fractionation of Carbon and Hydrogen Isotopes in Biosynthetic Processes*. Reviews in Mineralogy & Geochemistry 43, 225-277.
- Hogberg, P., Nordgren, A., Buchmann, N., Taylor, A.F.S., Ekblad, A., Hogberg, M.N., Nyberg, G., Ottosson-Lofvenius, M., Read D.J 2001. *Large-scale forest girdling shows that current photosynthesis drives soil respiration*. Nature 411, 789-792.
- 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.
- Kohn, M.J. 2010. *Carbon isotope compositions of terrestrial C₃ plants as indicators of (paleo)ecology and (paleo)climate*. Proceedings of the National Academy of Sciences 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*. European Journal of Soil Biology, 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.
- Nannipieri, P. 1993. *Ciclo della sostanza organica nel suolo*, Patron Editore.

- 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.
- Ngao, J., Epron, D., Delpierre, N., Breda, N., Granier, A., Longdoz, B. 2012. *Spatial variability of soil CO₂ efflux linked to soil parameters and ecosystem characteristics in a temperate beech forest*. Agricultural and Forest Meteorology 154, 136-146.
- Paul E.A. 2007. *Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry*. 3rd Edition, Academic Press, Amsterdam.
- 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*. Journal of Microbiological Methods 36, 21-28
- Pompili, L., Mellina, A.S., Benedetti, A., Bloem, J. 2008. *Microbial indicators in three agricultural soils with different management*. Fresenius Environmental Bulletin 17, 1128-1136.
- Renzi, G., Benedetti, A., 2015. *Caratterizzazione microbiologica dei suoli. Progetto di Monitoraggio Ambientale su tutto il Territorio della Regione Lombardia (Progetto Soil): Indagine conoscitiva della qualità e dello stato di salute dei suoli lombardi, Report EUR 27161 IT*. Publications Office of the European Union Luxembourg, 309–315.
- Saiz, G., Green, C., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Avitabile, V., Farrell E.P 2006. *Seasonal and spatial variability of soil respiration in four Sitka spruce stands*. Plant Soil 287, 161-176.
- Sequi, P. 1989. *Chimica del suolo*. Patron Editore, 608 pp. ISBN-10: 8855520695
- Soil Survey Staff 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Tang, J.W., Baldocchi D.D. 2005. *Spatial-temporal variation in soil respiration in an oak-grass savanna ecosystem in California and its partitioning into autotrophic and heterotrophic components*. Biogeochemistry 73, 183-207.
- Tonon, G., Sohi, S., Francioso, O., Ferrari E., Montecchio, D., Gioacchini, P., Ciavatta, C., Panzacchi, P., Powlson D. 2010. *Effect of soil pH on the chemical composition of organic matter in physically separated soil fractions in two broadleaf woodland sites at Rothamsted, UK*. European Journal of Soil Science 61, 970-979.
- Wardle, D.A., Ghani, A. 1995. *A critique of the microbial metabolic quotient (qCO₂) as a bioindicator of disturbance and ecosystem development*. Soil Biology and Biochemistry 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.
- Zdruli, P., Jones, R.J.A., Montanarella, L. 2004. *Organic matter in the soils of Southern Europe*. European Soil Bureau Research Report, EUR 21083 EN, 16 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.

Data 12/10/2020