



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo Agricolo  
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

## TIPO DI OPERAZIONE

### 16.2.01 - SUPPORTO PER PROGETTI PILOTA E PER LO SVILUPPO DI NUOVI PRODOTTI, PRATICHE, PROCESSI E TECNOLOGIE NEL SETTORE AGRICOLO E AGROINDUSTRIALE

#### DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 2286/2021

#### FOCUS AREA 3A

#### RELAZIONE TECNICA

#### FINALE

**DOMANDA DI SOSTEGNO 5404598**

**DOMANDA DI PAGAMENTO 5606986**

Titolo progetto	Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio ACRONIMO: Control Carbon
Ragione sociale del beneficiario	CONSERVE ITALIA - CONSORZIO ITALIANO FRA COOPERATIVE AGRICOLE - SOCIETA' COOPERATIVA AGRICOLA - IN FORMA ABBREVIATA "CONSERVE ITALIA SOC.COOP. AGRICOLA"

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	18
Data inizio attività	01/10/2022
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	26/06/2024

Relazione relativa al periodo di attività dal	01/10/2022	Al 26/06/2024
Data rilascio relazione	23/08/2024	

Autore della relazione	Maria Paone		
telefono		e-mail	m.paone@cicaconsulenze.it
pec			

#### RESPONSABILE DEL PROGETTO

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

PEC [amministrazione@pec.conserveitalia](mailto:amministrazione@pec.conserveitalia)

Ente di appartenenza: CONSERVE ITALIA

#### RESPONSABILE SCIENTIFICO DEL PROGETTO

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

PEC [dicca@pec.unige.it](mailto:dicca@pec.unige.it)  
[postmaster@pec.tetisinstitute.it](mailto:postmaster@pec.tetisinstitute.it)

Ente di appartenenza: Università di Genova / Tetis Institute Srl

## Sommario

1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
1.1	STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PROGETTO .....	4
2	DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE.....	4
2.1	ATTIVITÀ E RISULTATI .....	4
2.2	PERSONALE.....	5
2.3	COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI.....	5
2.4	SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE .....	6
2.5	SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE, INVESTIMENTI IMMATERIALI .....	6
2.6	MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI ....	6
2.7	LOCAZIONE .....	7
3	CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ .....	7
4	ALTRE INFORMAZIONI.....	7
5	CONSIDERAZIONI FINALI .....	8
6	RELAZIONE TECNICA.....	8

# 1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

*Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del progetto*

Il presente progetto mira a sviluppare un'iniziativa pilota nel settore dei vegetali coltivati sul territorio regionale, con focus specifico sul mais, coltura strategica per le proprie potenzialità di assorbimento di CO<sub>2</sub>, sul pomodoro, e su alberi da frutto.

L'ottimizzazione degli input di natura antropica e l'adozione di buone pratiche di gestione degli impianti e dell'uso delle risorse ha le potenzialità di neutralizzare il bilancio delle emissioni di gas serra, e di rendere queste colture effettivamente "sostenibili" dal punto di vista del loro impatto ecologico. Il sequestro di carbonio nel suolo da parte del settore agricolo attraverso pratiche colturali specifiche potrà inoltre permettere l'incremento del benessere della collettività per la minor pressione climatica e l'incremento della biodiversità.

In questo contesto internazionale e comunitario, in assenza di una metodologia comune di monitoraggio, il progetto si propone di fornire migliori conoscenze e gestione dei dati agli attori del settore agricolo, portando avanti la standardizzazione delle metodologie, la rendicontazione e la verifica per fornire un quadro chiaro e affidabile per identificare i) pratiche che portino alla contabilizzazione del sequestro del carbonio dalle attività agricole.

Il progetto, dopo aver analizzato il contesto locale e le pratiche colturali, si prefigge di definire una ii) metodologia standard di calcolo dell'assorbimento di carbonio delle colture analizzate e di fornire uno iii) strumento che consenta di generare crediti di carbonio.

Una volta definita la metodologia e quantificato il potenziale di assorbimento delle colture oggetto dello studio tramite misure dirette in campo e modellizzazione, sarà effettuato il calcolo di iv) un indicatore unico di sostenibilità che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola quantificando, oltre alle emissioni di gas serra, i consumi idrici, il fabbisogno energetico e di suolo, anche gli assorbimenti di carbonio delle colture. Il calcolo sarà effettuato anche a livello di prodotto, con un approccio che consideri tutto il ciclo di vita attraverso la metodologia LCA (Life Cycle Assessment).

Infine, dopo aver contabilizzato le emissioni "nette" delle colture e dei prodotti identificati, è stata valutata la sostenibilità delle attività agricole, definendo la v) combinazione ottimale di produzioni agricole per garantire il fabbisogno nutrizionale della popolazione con il minimo impatto ambientale, alimentando lo sviluppo delle politiche agricole e climatiche dell'UE in linea con gli obiettivi del Green Deal europeo di neutralità climatica entro il 2050.

I risultati del progetto saranno inseriti all'interno del vi) Sistema EPD Process di Conserve Italia ed i risultati saranno comunicati, a livello di prodotto, all'interno delle EPD (Environmental Product Declaration) relative a prodotti specifici.

## 1.1 STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PROGETTO

Azione	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
COOPERAZIONE	Organizzazione	10/22	10/22	03/24	06/24
AZIONE 1		10/22	10/22	12/22	01/23
AZIONE 2		01/23	01/23	03/24	06/24
AZIONE 3		10/23	10/23	03/24	06/24
DIVULGAZIONE		01/23	03/23	03/24	06/24

## 2 DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

*Compilare una scheda per ciascuna azione*

### 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione	Organizzazione - COOPERAZIONE
--------	-------------------------------

<p>Descrizione delle attività</p>	<p><b>Unità Operative Coinvolte:</b> Conserve Italia – UNIGE – UNIMI – TETIS – CNR-IBE – CICA</p> <p>CICA ha collaborato con il beneficiario per le attività di animazione, funzionamento e gestione del progetto mentre tutti i fornitori hanno partecipato alle attività di coordinamento e gestione delle azioni del Piano di Innovazione, ognuno con specifico riferimento alle azioni in cui è coinvolto.</p> <p>Data la collaborazione e l'interdipendenza di alcune delle differenti azioni, che da attività di natura pratico/operativa sfociano in azioni di raccolta e analisi dati dei diversi partecipanti al progetto, si è resa necessaria una corretta strategia di esercizio della cooperazione ai fini del progetto.</p> <p>In particolare, è stato necessario già dal principio determinare alcune scadenze fisse, individuate in momenti di incontro tra i diversi partner per la discussione dei seguenti punti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendicontazione dell'attività scientifica: stato di attuazione delle Azioni realizzative e andamento degli indicatori, confronto tra risultati attesi e ottenuti.</li> <li>- Programmazione delle attività sulle azioni in essere e di eventuali cambiamenti da apportare a parti del progetto.</li> <li>- Definizione delle azioni future.</li> </ul> <p>In seguito ad una riunione iniziale di progetto (kick-off meeting), per l'analisi della determina di concessione di contributo da parte della Regione Emilia Romagna, utile a definire tempi e modi dell'evoluzione dell'attività, sono seguite altre riunioni plenarie, a cui hanno partecipato tutte le U.O. in relazione alle esigenze del progetto e dei partecipanti: 3 riunioni per ogni anno di progetto.</p> <p>Per il continuo aggiornamento sui progressi del progetto, sono state definite mailing list e identificate piattaforme di scambio dei documenti. Tutti i partner sono in possesso di connessione internet. Per la messaggistica veloce potrà essere attivata una o più liste di specifiche APP per la comunicazione tramite Smart Phone (lista per ogni azione, lista per i tecnici, lista per i referenti, ecc.) secondo quanto ritenuto necessario in fase di partenza ed eventualmente aggiustato in fase di lavoro.</p> <p>Per le verifiche di avanzamento delle attività di progetto, il fornitore identificato CICA Bologna, con specifiche competenze in strategie organizzative, ha seguito la gestione dell'attività inerente i controlli riguardanti la corretta realizzazione del Piano di Innovazione nel suo complesso, in funzione del mantenimento dei requisiti di accesso del beneficiario, delle priorità assegnate, del controllo del pannello degli indicatori delle singole azioni per il raggiungimento degli obiettivi finali, anche tramite appositi strumenti di Project Management.</p> <p>Il fornitore CICA Bologna ha fornito supporto al controllo della corretta documentazione delle azioni, sia al fine della efficace comunicazione tra le parti, che della produzione della documentazione delle attività per come prevista nei termini indicati dalla RER, al fine di consentire la preparazione ed inoltro della domanda di liquidazione.</p> <p>CICA Bologna si è impegnato a:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fornire al beneficiario l'elenco dei documenti amministrativi e tecnici necessari o utili alla redazione dei documenti finali di progetto;</li> <li>2. Curare le comunicazioni tra il beneficiario, i fornitori e la Regione Emilia Romagna, fornendo dettagli sugli aspetti formali della documentazione da approntare.</li> <li>3. Curare la raccolta dei documenti e delle informazioni necessarie alla redazione delle relazioni di chiusura del progetto.</li> <li>4. Mantenere il beneficiario ed i fornitori aggiornati sugli sviluppi della predisposizione della documentazione di chiusura e sulle eventuali ulteriori integrazioni richieste.</li> <li>5. Curare, in stretta relazione con il beneficiario, i rapporti con l'Ente Pubblico nella gestione del progetto, mantenendo informati dando riscontro a tutti partecipanti al Piano di Innovazione delle comunicazioni intercorse, sia nel corso delle riunioni calendarizzate che con tempestive comunicazioni in caso di necessità.</li> </ol>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità</p>	<p><b>Indicatori:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- almeno due riunioni svolte al mese 10 di progetto: svolte 5 riunioni al mese 10 di progetto.</li> </ul> <p><b>Output dell'azione:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elenchi della documentazione da produrre</li> <li>- verbali delle riunioni</li> <li>- documentazione atta alla rendicontazione scientifica ed economica del progetto</li> </ul>

evidenziate	L'obiettivo è stato pienamente raggiunto ed i prodotti consegnati.
-------------	--

## PERSONALE

ORGANIZZAZIONE					
Nome	Mansione / qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Referente Amministrativo	Controllo delle attività nel processo amministrativo	51,33	5	256,65 €
			51,67	34	1.756,78 €
			52,23	23	1.201,29 €
	Responsabile organizzativo	Organizzazione e coordinamento	36,9	8	295,20 €
			37,24	42	1.564,08 €
			37,8	16	604,80 €
				<b>TOTALE</b>	<b>5.678,80 €</b>

## COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

ORGANIZZAZIONE				
CONSULENZE – SOCIETÀ				
Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
CICA BOLOGNA		14.500,00 €	GESTIONE DELLA COOPERAZIONE	14.925,00 €
			<b>TOTALE</b>	<b>14.925,00 €</b>

<b>Azione</b>	<b>AZIONE 1 Analisi del contesto locale (Emilia Romagna), delle pratiche colturali (pomodoro, mais, pera) e studio di fattibilità</b>
Descrizione delle attività	<p><b>Unità Operative Coinvolte:</b> Conserve Italia – UNIGE – UNIMI</p> <p>In tale azione sono state organizzate le informazioni già in possesso del beneficiario, in virtù dei progetti già realizzati per quanto riguarda le colture del mais e del pomodoro e delle attività svolte in relazione alla realizzazione di schede EPD di prodotto per quanto riguarda la coltura del pero (Tipo si Operazione 16.1.01 Domanda di Sostegno 5049304, Tipo si Operazione 16.2.01 Domanda di Sostegno 5049726).</p> <p><b>Task 1.1 Analisi contesto e pratiche colturali – UNIMI</b></p> <p>Questa attività si è focalizzata sulla caratterizzazione agro-climatica dell'area studio (Emilia Romagna) al fine di (i) identificare aree omogenee in termini di caratteristiche climatiche, pedologiche e gestionali (zonazione) per ciascuna delle tre colture di interesse (mais dolce, pomodoro da industria e pera), (ii) definire le pratiche gestionali "standard" maggiormente in uso per tali colture nell'area studio e (iii) individuare pratiche gestionali alternative, che presentino aspetti potenzialmente vantaggiosi al fine di migliorare lo stoccaggio di carbonio nei suoli agricoli ma – al tempo stesso – anche un'elevata applicabilità al contesto esplorato. I risultati di questa attività rappresentano un elemento chiave per la seconda fase del lavoro, in cui le strategie gestionali</p>

	<p>alternative verranno valutate tramite modellistica di simulazione e approcci di analisi del ciclo di vita (Life Cycle Assessment, LCA) in modalità comparativa rispetto allo scenario gestionale attualmente di maggiore diffusione, al fine di valutare gli effettivi benefici dati dall'adozione di tali pratiche agricole.</p> <p><b>Task 1.2 Studio di fattibilità UNIGE</b></p> <p>Le attività di UNIGE si sono svolte con la seguente articolazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• analisi degli standard e dei sistemi esistenti a livello internazionale ed europeo per la definizione della baseline, degli inventari di emissioni/rimozione di gas a effetto serra e della generazione di crediti di carbonio in agricoltura;</li> <li>• analisi di come le iniziative di sequestro del carbonio nei suoli agricoli possono coordinarsi con le relazioni trasmesse dagli Stati membri in vista del conseguimento degli obiettivi nazionali in materia di assorbimenti netti evitando problemi di doppio conteggio;</li> </ul> <p>selezione delle azioni di sequestro del carbonio nei suoli agricoli tra quelli individuati nel Task 1.1 da UNIMI, che portino ad un aumento del carbonio sequestrato e valutazione del relativo impatto sulla riduzione delle emissioni, sugli assorbimenti di carbonio e sull'ambiente, in particolare sulla biodiversità</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità	<p><b>Obiettivo:</b> definire una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica dell'assorbimento di carbonio delle colture analizzate e fornire uno strumento che consenta di generare crediti di carbonio</p> <p><b>Indicatori:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Produzione della zonazione agroclimatica dell'Emilia-Romagna</li> <li>• Identificazione di almeno due strategie gestionali standard per ogni coltura indagata</li> <li>• Identificazione di almeno due strategie gestionali alternative per ogni coltura indagata</li> </ul> <p><b>Output dell'azione:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caratterizzazione agro-climatica dell'Emilia Romagna tramite zonazione basata su informazioni climatiche, pedologiche e gestionali;</li> <li>• Dati meteorologici, di suolo e gestionali necessari all'Azione 2 quali input dei modelli di simulazioni colturali utilizzati per la stima della CO2 fissata;</li> <li>• Identificazione delle pratiche agricole rappresentative di quelle comunemente adottate nell'area studio per i sistemi colturali di interesse (mais, pomodoro, pero)</li> <li>• Identificazione di strategie gestionali alternative promettenti i termini di sequestro di CO2 e adatte ai contesti operativi indagati</li> </ul> <p>L'obiettivo è stato pienamente raggiunto e gli output consegnati.</p>

## PERSONALE

AZIONE 1					
Nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Responsabile organizzativo	Organizzazione e coordinamento	37,24	40	1489,6
	Referente agronomo	Prove in campo per visita dimostrativa	34,23	12	410,76
			36,09	30	1082,7
				<b>TOTALE</b>	<b>2.983,06 €</b>

## COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

AZIONE 1				
CONSULENZE – SOCIETÀ				
Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
UNIGE		36.500,00 €	Coordinatore Scientifico	36.500,00 €

UNIMI		18.500,00 €	Consulente	18.500,00 €
			<b>TOTALE</b>	<b>55.000,00 €</b>

Azione	AZIONE 2 Quantificazione potenziale di assorbimento delle colture
Descrizione delle attività	<p><b>Unità Operative Coinvolte:</b> Conserve Italia –UNIMI – CNR-IBE</p> <p>Grazie alla zonazione dell'area studio condotta tramite l'Azione 1 e all'utilizzo di modelli di simulazione colturali che permettono di effettuare stime di crescita delle colture in modo (i) spazialmente distribuito, (ii) per serie temporali di lungo termine e (iii) per specifici scenari gestionali, è stato possibile quantificare l'assorbimento di CO<sub>2</sub> delle tre colture oggetto di analisi per ciascuno dei contesti agro-climatici identificati – estendendo così l'analisi a tutto l'areale di coltivazione della Regione Emilia Romagna – e per finestre temporali pluriennali (20 anni) in modo da ottenere stime di CO<sub>2</sub> fissata robuste rispetto ad anomalie climatiche che possono interessare le singole stagioni e in grado di cogliere le dinamiche di bilancio del carbonio di lungo termine.</p> <p>Inoltre, è stato possibile valutare la capacità di fissazione del carbonio dei sistemi colturali indagati in riferimento sia alle pratiche gestionali standard sia agli scenari gestionali alternativi indentificati come maggiormente sostenibili (Azione 1).</p> <p><b>Task 2.1 Calcolo fissazione simulata UNIMI:</b></p> <p>L'attività di questo task (2.1), svolto nell'ambito dell'Azione 2, si è focalizzata sulla quantificazione – tramite modelli di simulazione colturali – del potenziale sequestro di carbonio e delle performance agronomiche delle tre colture di interesse (mais dolce, pomodoro e pero) in ciascuno dei diversi contesti agro-climatici e scenari gestionali individuati nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni scenario agro-climatico (81 scenari in tutto), le performance agronomiche e ambientali dei diversi sistemi colturali indagati sono state valutate su serie decennali (date le lente dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo) e in modo comparativo, confrontando lo scenario gestionale standard (BAU, Business as Usual) con gli scenari gestionali alternativi, identificati come maggiormente sostenibili e al tempo stesso effettivamente implementabili nel contesto indagato, quali ad esempio, l'adozione di diverse specie di cover crops. I risultati hanno evidenziato elevate potenzialità in termini di sequestro di carbonio nel suolo per tutte le colture valutate, anche nel caso di colture erbacee. In quest'ultimo caso, i migliori risultati sono stati ottenuti nel caso del mais dolce rispetto al pomodoro da industria. Come atteso, il pero ha evidenziato le maggiori potenzialità, seppur con notevoli margini di miglioramento. Le strategie gestionali testate non hanno infine influenzato negativamente le performance agronomiche dei sistemi colturali testati, evidenziando come una gestione agronomica oculata può consentire di ottenere risultati produttivi soddisfacenti e al tempo stesso, una maggiore sostenibilità ambientale. Maggiori dettagli relativi alla metodologia adottata e ai risultati ottenuti sono forniti nel report dedicato</p> <p><b>Task 2.2 Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy covariance CNR -IBE</b></p> <p>Nel task 2.2 è stato misurato il "net ecosystem exchange" (NEE), ovvero lo scambio netto di Carbonio (C) fra l'atmosfera e l'ecosistema ottenuti da misurazioni dirette in campo per la coltivazione del pomodoro e del pereto. Per la coltivazione del mais la stima del NEE è stata invece fornita sulla base di dati bibliografici.</p> <p>Per il calcolo del NEE della coltivazione del pomodoro sono stati utilizzati dati ottenuti da altri progetti in carico a CNR-IBE e ottenuti tramite misure di eddy covariance già in essere presso un campo sperimentale a Budrio (BO): tale sistema ha permesso di dedurre la produzione primaria lorda (GPP), ovvero la quantità totale di CO<sub>2</sub> assorbita dall'ecosistema, e la respirazione dell'ecosistema (ER), ovvero la CO<sub>2</sub> rilasciata da tutte le attività metaboliche dell'ecosistema (Di Virgilio et al., 2019). Le misurazioni sono state fatte per un intero ciclo di coltura del pomodoro.</p> <p>Una simile installazione di un sistema eddy covariance posizionato sopra la chioma del pereto a Conselice (RA) è stato installato per ottenere il bilancio annuale del carbonio dall'ecosistema pereto. Le misurazioni sono state fatte per un intero anno solare a decorrere dal 23 marzo 2023, per considerare tutta la stagione vegetativa.</p> <p>La strumentazione eddy covariance è stata posizionata su una torre a circa 1.5 m di altezza sopra la chioma ed è equipaggiata con la seguente strumentazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un anemometro ultra-sonico tridimensionale (Metek, GmbH, Germania) e un analizzatore di gas infrarosso a cammino ottico aperto (IRGA, Li7500; LiCor Inc., USA) per la misurazione degli scambi di CO<sub>2</sub> e di vapor d'acqua tra la coltura e l'atmosfera (flussi).</li> <li>- Un radiometro netto (Kipp&amp;Zonen, CNR1) per la misurazione dell'energia netta disponibile sopra la vegetazione e per il calcolo del bilancio sia energetico che radiativo superficiale. Utilizzando i dati dell'anemometro ultra sonico è stata effettuata un'analisi del footprint del vento al fine di comprendere l'effettiva area di sorgente dei flussi</li> </ul>



	<p>misurati (Schuepp et al, 1990).</p> <p>Durante tutta la campagna di misurazioni dei flussi sono stati monitorati anche:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- I flussi di calore dal suolo; tramite piastre di flusso (Hukseflux HFP01-10) installate a 5 cm di profondità nel terreno.</li> <li>- Umidità del suolo; tramite sonde TDR posizionate a diversa profondità nel suolo in base alle caratteristiche del terreno.</li> <li>- Temperatura del terreno; tramite termocoppie posizionate a diversa profondità nel suolo in base alle caratteristiche del terreno.</li> </ul> <p>I valori dei flussi sulla mezz'ora sono stati ottenuti in a posteriori attraverso il calcolo delle covarianze tra gli scalari (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) e la velocità verticale del vento. E' stato effettuato un controllo qualità dei dati grezzi attraverso specifici software che effettuano la media mobile per eliminare i problemi di detrending, rotazione del vettore del vento per rimuovere errori di inclinazione dello strumento o irregolarità del terreno, il despiking per risolvere problemi del segnale, e la verifica della stazionarietà del flusso turbolento (Derbyshire, 1995). In caso di mancanza di dati dovuto al controllo qualità, è stato effettuato un gap filling al fine di avere un dataset completo dei valori dei flussi di CO<sub>2</sub>. (Falge et al., 2001).</p> <p><b>Task 2.3 Misurazione dei flussi di carbonio e di azoto nel suolo tramite camerette CNR - IBE</b></p> <p>La misurazione degli scambi di CO<sub>2</sub> tra la coltura e l'atmosfera è stata accompagnata da misurazioni degli scambi gassosi fra suolo-atmosfera; in particolare sono stati misurati i flussi di CO<sub>2</sub> (respirazione del suolo) e di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O), che sono i due principali gas serra emessi dalle coltivazioni (e.g. Fowler et al., 2015).</p> <p>Come per gli scambi di CO<sub>2</sub> tra coltura ed atmosfera, i dati relativi alle colture di mais sono stati dedotti da letteratura.</p> <p>Per entrambe le coltivazioni, del pomodoro e del pero, i flussi di gas serra sono stati invece misurati direttamente tramite camerette dinamiche di incubazione (smart chamber 8200 - 01S con GPS integrato) posizionate sul suolo di coltivazione. I gas serra emessi dal suolo ed accumulati nella camera di incubazione (si veda e.g. Volpi et al., 2018), sono stati misurati in tempo reale tramite analizzatori ad infrarossi.</p> <p>Per le campagne di misura sono stati utilizzati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un analizzatore portatile di gas ad infrarosso IRGA, Li7820 (LiCor Inc., USA) per la rivelazione di N<sub>2</sub>O</li> <li>• Un analizzatore portatile di CO<sub>2</sub> LICOR 6400XT per la rivelazione di CO<sub>2</sub></li> <li>• Una sonda Hydra-Probe 900-17114 per la misura della temperatura e umidità del suolo.</li> </ul> <p>I campionamenti sono stati effettuati durante il corso dell'anno ad intervalli prestabiliti; in particolare è stato campionato il terreno a riposo, in prossimità delle concimazioni, durante il periodo vegetativo e dopo la raccolta. Ad ogni campionamento, sono state effettuate 10 misure di flusso nel caso del pereto (5 per il pomodoro), T e umidità del suolo in diversi punti del campo.</p> <p>Per quanto concerne il pomodoro, le misure hanno coperto tutto il periodo colturale, dalla situazione di riposo del terreno prima della coltura, a quella successiva. Per il pereto, il monitoraggio si è svolto per un intero anno solare, a cadenza mensile durante i mesi invernali, settimanale nei periodi intensivi di fertirrigazione, o altrimenti bisettimanale.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità</p>	<p><b>Obiettivi:</b> definire una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica dell'assorbimento di carbonio delle colture analizzate e fornire uno strumento che consenta di generare crediti di carbonio.</p> <p><b>Indicatori:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stima dei valori medi di fissazione di CO<sub>2</sub> per i tre sistemi colturali indagati per scenari gestionali standard;</li> <li>• Stima dei valori medi di fissazione di CO<sub>2</sub> per i tre sistemi colturali indagati per scenari gestionali alternativi potenzialmente più sostenibili;</li> <li>• Identificazione - per ciascuno dei tre sistemi colturali indagati - di uno scenario gestionale alternativo che consenta di aumentare la fissazione di CO<sub>2</sub> di almeno il 5%.</li> <li>• n. 4 riferimenti bibliografici per la definizione del NEE su mais;</li> </ul> <p>Raggiunto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 1 misurazione diretta in campo degli scambi di CO<sub>2</sub> per l'intero anno tramite eddy covariance sul pereto;</li> </ul> <p>Non raggiunto, per causa alluvione: misure avvenute, ma persa la rappresentatività</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 1 misurazione degli scambi di CO<sub>2</sub> sul pomodoro da altro progetto in essere CNR-IBE;</li> </ul> <p>Raggiunto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 10 campionamenti per la misurazione dei flussi di CO<sub>2</sub> fra suolo e atmosfera,</li> </ul> <p>Raggiunto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• n. 10 campionamenti per la misurazione delle emissioni di N<sub>2</sub>O dal suolo.</li> </ul> <p>Raggiunto</p>

## **Output dell'azione**

### **Task 2.1:**

- Stima dei valori medi di fissazione di CO<sub>2</sub>, e di altri indicatori di performance (e.g., produzione, fabbisogno idrico) da parte dei sistemi colturali indagati (mais, pomodoro e pero) per ciascuno scenario agro-climatico individuato nell'azione 1 in riferimento alle pratiche gestionali standard (BAU)
- Stima dei valori medi di fissazione di CO<sub>2</sub>, e di altri indicatori di performance (e.g., produzione, fabbisogno idrico) da parte dei sistemi colturali indagati (mais, pomodoro e pero) in riferimento alle pratiche gestionali potenzialmente più sostenibili identificate nell'azione 1.
- Caratterizzazione – per ciascuno dei tre sistemi colturali analizzati – delle performance agronomiche ed economiche degli scenari considerati.

### **Task 2.2:**

- bilancio annuale del carbonio nelle sue componenti (NEE, GPP, ER) espresso in t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> assorbite dall'ecosistema pereto, pomodoro e mais da misure.

Gli obiettivi sono stati raggiunti per le colture del mais (collezione di dati da letteratura) e del pomodoro (da misure effettuate in campo), e sono riportati nelle relazioni ad interim e finale.

Seguendo la metodologia esposta sopra, è stato possibile valutare la capacità di immagazzinare carbonio da parte della coltura del pomodoro, con uno scambio ecosistemico NEE durante questo ciclo colturale (23 maggio-24 agosto 2022) pari a 6.07 tCO<sub>2</sub>/ha ciclo colturale (tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>).

Per la coltura del pero, sebbene le misure siano state fatte e riportate nella relazione finale, l'evento alluvionale che ha colpito Conselice ha compromesso lo stato della coltura, impedendo di stilare un bilancio del carbonio. Dal 3/5/2023 infatti l'acquisizione dati è stata interrotta per alluvione: mancanza di corrente elettrica, rottura del Campbell Logger CR1000X, dell'alimentatore e di due batterie di accumulo per il funzionamento della stazione. Nella seconda metà di giugno è stato possibile raggiungere di nuovo il sito, ed abbiamo approntato le sostituzioni, modifiche ed i ricambi richiesti per il funzionamento delle misure; il 19/6/2023 abbiamo ripreso a misurare, e le misure si sono protratte fino a termine progetto. Poiché il periodo perso, dal 3/5/2023 al 19/6/2023, copre una fase cruciale della crescita annuale dell'ecosistema pereto, non è possibile restituire un anno continuo di misure per valutare il bilancio del carbonio dalla coltura di pere. Inoltre, la perturbazione apportata al sistema dalle condizioni alluvionate ha comportato la perdita del raccolto, la mancanza di fertilizzazioni ed irrigazioni secondo le pratiche agricole consuete al sito, oltre che una perturbazione alla capacità delle piante di fotosintetizzare. Dai dati emerge che per i mesi estivi non si verifica un netto assorbimento, e questo è dovuto all'impatto dell'alluvione, che ha compromesso la salute delle piante, che hanno prodotto meno biomassa, oltre ad aumentare la respirazione del suolo, che invece che essere una superficie vegetata è stato un manto di fango per la maggior parte del periodo estivo nel 2023.

- bilancio annuale dell'evapo-traspirazione espresso in m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> degli ecosistemi e descrizione dei bilanci energetico e radiativo;

Per entrambe le colture misurate, nelle relazioni sono mostrati i dati raccolti nel caso del pomodoro e pereto, con relative descrizioni.

### **Task 2.3:**

- misura del contributo espresso in kg CO<sub>2</sub>-eq delle emissioni di N<sub>2</sub>O dal suolo sugli ecosistemi di pomodoro e pereto.

Per quanto concerne il pomodoro, i risultati misurati delle emissioni di N<sub>2</sub>O restituiscono un impatto negativo (emissivo) sul bilancio di CO<sub>2</sub> pari a 0.78 tCO<sub>2</sub>-eq ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, confermando che la coltura di pomodoro, anche considerando le emissioni di N<sub>2</sub>O connesse alla pratica di fertirrigazione a goccia mantiene il carattere di assorbitore. Questi risultati, come riportato nella relazione ad interim, hanno parzialmente sofferto dell'evento alluvionale: anche se il campo a Budrio non ha subito allagamento prolungato come a Conselice, parte del dataset è stata rimossa, poiché ritenuta non-rappresentativa delle condizioni normali (circa 1-2 settimane su tutto il periodo di coltura).

Gli eventi alluvionali del maggio 2023 in Romagna hanno causato un aumento delle emissioni di N<sub>2</sub>O nel suolo dal frutteto di pere di circa 10 volte rispetto ai livelli di fondo precedenti all'alluvione, che si è protratto per tutta la stagione estiva. Dai nostri dati, è evidente che gli eventi alluvionali hanno agito come un evento di fertilizzazione su larga scala. Non è stato possibile misurare l'apporto di N al suolo causato dagli eventi alluvionali, poiché per un lungo periodo (un mese e mezzo) non è stato possibile raggiungere il sito. Per questo motivo, non è stato possibile calcolare un fattore di

	emissione specifico dell'evento alluvionale per l'N2O, o fornire un bilancio rappresentativo di questo tipo di coltura.
--	---

## PERSONALE

AZIONE 2					
Nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Responsabile organizzativo	Organizzazione e coordinamento	37,24	20	744,8
			37,8	12	453,6
				<b>TOTALE</b>	<b>1.198,40 €</b>

## COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

AZIONE 2				
CONSULENZE – SOCIETÀ				
Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
UNIMI		49.950,00 €	Consulente	49.950,00 €
CNR		62.000,00 €	Consulente	62.000,00 €
			<b>TOTALE</b>	<b>111.950,00 €</b>

<b>Azione</b>	<b>AZIONE 3 Elaborazione di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio nel carbon farming e calcolo delle emissioni nette</b>
Descrizione delle attività	<p><b>Unità Operative Coinvolte:</b> Conserve Italia - UNIGE - TETIS</p> <p><b>Task 3.1 Definizione della metodologia UNIGE</b></p> <p>Di seguito sono elencati i risultati del TASK 3.1 DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA, poi approfonditi nello specifico report. In particolare, le attività svolte sono declinate nelle fasi seguenti:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisi delle metodologie esistenti di monitoraggio, comunicazione e verifica del sequestro del carbonio nei suoli agricoli utilizzati sia nel campo degli standard volontari che nei regolamenti cogenti.</li> <li>• Predisposizione di una metodologia ad hoc per le azioni di sequestro del carbonio nei suoli agricoli tra quelle selezionate nel Task 1.2</li> <li>• Definizione di una base a supporto della contabilizzazione e della certificazione fissando requisiti solidi dal punto di vista scientifico in termini di qualità delle misurazioni, standard di monitoraggio, protocolli di comunicazione, strumenti di verifica e replicabilità dei risultati.</li> <li>• Definizione della tipologia, della qualità e delle modalità di raccolta dati relative alle singole colture oggetto dello studio.</li> <li>• Definizione delle formule e degli strumenti di calcolo della baseline o alternativamente del cap di riferimento per la quantificazione dei crediti di carbonio generabili.</li> </ul> <p><b>Task 3.2 Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera)</b></p>

## TETIS

Nello specifico report vengono riportati i risultati relativi alle attività condotte da Tetis per il TASK 3.2

(Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata):

- Verifica dell'addizionalità ambientale (aumento del sequestro del carbonio nel lungo periodo che non sarebbe stato possibile senza il regime) e dei benefici legati al contributo delle singole azioni rispetto a specifici SDGs (Sustainable Development Goals adottati dalle Nazioni Unite nel 2015: GOAL 2: Fame zero, GOAL 3: Salute e benessere; GOAL 6: Acqua pulita; GOAL 8: Lavoro dignitoso e crescita economica; GOAL 12: Consumo e produzione responsabili; GOAL 13: Azione per il clima; GOAL 15: Vita sulla terra).
- Raccolta dati per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera) secondo i requisiti definiti nella metodologia sviluppata nel Task 3.1 per le azioni di sequestro del carbonio definite nel Task 1.2.
- Calcolo dell'assorbimento del carbonio delle azioni nelle diverse condizioni di operatività.
- Quantificazione dei crediti di carbonio generati dalle specifiche azioni.

La metodologia descritta nel documento di cui al Task 3.1 predisposto dall'Università di Genova (UniGe) "Definizione della Metodologia di calcolo del sequestro di carbonio nelle colture identificate" è stata applicata alle seguenti colture: mais, pomodoro, pera. Relativamente al mais e al pomodoro, colture erbacee, è stato inizialmente applicato il modello preliminare, che ha consentito di fornire una stima iniziale del potenziale di sequestro di carbonio per gli agricoltori interessati ad adottare pratiche di carbon farming. Successivamente, una volta disponibili i dati forniti dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) derivanti da una campagna di raccolta dati su un campo sperimentale per il pomodoro, e dati provenienti dalla letteratura per il mais, è stata impiegato il modello process-based RothC. Per quanto concerne il pera, coltura arborea, dopo l'applicazione del modello preliminare, è stato effettuato un aggiornamento dei risultati in base ad approfondimenti conseguenti alla conclusione della campagna sperimentale condotta dal CNR in Emilia-Romagna mediante l'installazione di una torre eddy covariance per la raccolta di dati specifici.

### **Task 3.3 Calcolo emissioni nette a livello di prodotto**

Le attività di TETIS si svolgeranno con la seguente articolazione:

- Calcolo della quantità di carbonio sequestrata dalle colture analizzate nello scenario BAU e nelle migliori pratiche di sequestro del carbonio nei suoli agricoli applicabili alle colture oggetto dello studio (mais, pomodoro, pera) definite nel Task 1.2 applicando i risultati del Task 3.2.
- Identificazione delle caratteristiche del carbonio sequestrato in termini di tempi e durata dello stoccaggio del carbonio per una valutazione della condizione "Like for Like".
- Realizzazione studi LCA (secondo le norme ISO 14040-44) per le colture in esame (mais, pomodoro, pera) nello scenario BAU e nelle migliori pratiche di sequestro del carbonio definite nel Task 1.2.
- Calcolo delle emissioni CO<sub>2</sub>eq al netto di quelle assorbite "Like for Like" attraverso la metodologia sviluppata nel Task 3.1 per quantità di vegetale prodotto e a livello di prodotto finito.
- Identificazione delle fasi della gestione agronomica che presentano gli impatti maggiori ed analisi delle opportunità di miglioramento.
- Revisione degli studi LCA effettuati, quantificando le riduzioni ottenibili attraverso gestioni colturali a più basso impatto ambientale e pratiche agricole che consentano un maggiore assorbimento di carbonio.
- Calcolo di un indicatore che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola quantificando, emissioni di gas serra, consumi idrici, fabbisogno energetico e di suolo, assorbimenti di carbonio delle colture.

Scopo del Task 3.3 è di valutare se vi siano prodotti a bilancio netto neutro o positivo combinando l'approccio del carbon farming all'analisi del ciclo di vita.

Per emissioni nette si intende il differenziale tra le emissioni associate ad un prodotto agroalimentare finito valutate nel suo ciclo di vita e gli assorbimenti legati alla quantità di carbonio immobilizzata nel suolo o nella biomassa forestale viva.

Il calcolo delle emissioni nette è stato applicato alle tre colture oggetto dello studio: mais, pomodoro e pera.

<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità</p>	<p><b>Obiettivi:</b> effettuare il calcolo di un indicatore che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola quantificando le emissioni di gas serra valutate lungo il ciclo di vita e gli assorbimenti di carbonio delle colture quantificando le emissioni nette a livello di prodotto e definendo il "Carbon Footprint Saving"</p> <p><b>Indicatori:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodologia UNIGE presente al mese 15 di Progetto</li> <li>• Presenza dei dati necessari al mese 18 di Progetto</li> <li>• Presenza degli studi LCA Revisionati al mese 18 di Progetto</li> </ul> <p><b>Output dell'azione</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metodologia per definire una base a supporto della contabilizzazione e della certificazione</li> <li>• Calcolo delle emissioni nette per i tre prodotti oggetto del Progetto Pilota (mais, pomodoro, pera) nei diversi scenari di Carbon Farming identificati</li> <li>• Indicatore che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola quantificando, emissioni di gas serra, consumi idrici, fabbisogno energetico e di suolo, assorbimenti di carbonio delle colture</li> </ul>
--	--

## PERSONALE

AZIONE 3					
Nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Responsabile organizzativo	Organizzazione e coordinamento	37,8	28	1058,4
				<b>TOTALE</b>	<b>1.058,40 €</b>

## COLLABORAZIONI, CONSULENZE ESTERNE, ALTRI SERVIZI

AZIONE 3				
CONSULENZE – SOCIETÀ				
Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
UNIGE		36.500,00 €	Coordinatore Scientifico	36.500,00 €
TETIS		35.000,00 €	Consulente	35.000,00 €
			<b>TOTALE</b>	<b>71.500,00 €</b>

<b>Azione</b>	<b>DIVULGAZIONE</b>
---------------	---------------------

<p>Descrizione delle attività</p>	<p>La Cooperativa Conserve Italia, inoltre, ha trasferito i a tutti i produttori soci, con il preciso intento di diffondere presso la filiera la consapevolezza degli impatti delle attività agricole ed i miglioramenti ottenibili grazie all'adozione delle tecnologie e strategie di gestione identificate dal Piano.</p> <p>Quindi, sono stati organizzati:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- meeting tecnici dedicati agli agricoltori ed ai tecnici delle Cooperative che conferiscono a Conserve potenzialmente interessati. Al termine del progetto di innovazione, è stato organizzato un meeting tecnico in cui sono stati illustrati i risultati e le ricadute sulla filiera produttiva (durata circa 3 ore).</li> <li>- Presentazione dei risultati tramite comunicazione scientifica a convegno da identificare nel corso delle attività.</li> <li>- Presentazione al grande pubblico presso una fiera di settore: i risultati del progetto sono stati presentati presso la fiera CIBUS di Parma</li> </ul> <p>Un report finale è stato pubblicato sul sito di Conserve Italia, e diffuso all'assemblea dei soci.</p> <p>È inoltre importante rimarcare che la società TETIS ha operato al fine di inserire i risultati del progetto all'interno del Sistema EPD Process di Conserve Italia, tali risultati sono stati comunicati sui siti dedicati (EPD Portal <a href="https://www.environdec.com/home">https://www.environdec.com/home</a>), oltre che sul sito di Conserve Italia, a livello di prodotto, all'interno delle EPD (Environmental Product Declaration) relative a prodotti specifici.</p> <p>Tutte le attività indicate sono state oggetto, qualora applicabile, di specifici comunicati stampa, emessi dall'ufficio stampa di Conserve Italia, già precedentemente coinvolto in analoghe attività sui progetti precedentemente finanziati in</p> <p>Il CNR-IBE svolgendo normalmente attività di divulgazione della conoscenza, ha contribuito alla divulgazione con presentazioni nei seguenti convegni ed eventi didattici:</p> <p>14-16 /6/2023 XXV CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, Matera –“L'agrometeorologia per la gestione delle risorse e delle limitazioni ambientali in agricoltura”</p> <p>Contributo di M. Nardino (CNR-IBE) con <b>presentazione orale alla conferenza</b>:Nardino M., Anconelli S., Chieco C., Famulari D., Gentile S.L., Mari M., Solimando D.- Scambi di flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro.</p> <p>9/11/2023 <b>Visita didattica</b> sul campo degli studenti del corso di AGROMETEOROLOGIA ED ECOLOGIA AGRARIA della Facoltà di Agraria dell'Università degli studi di Bologna</p> <p>5/6/2024 XXVI CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, l'Aquila – “Approcci innovativi a supporto delle produzioni agrarie in un contesto climatico in evoluzione”</p> <p>Contributo <b>presentazione orale</b> di Daniela Famulari , Marianna Nardino<sup>1</sup>, Lorenzo Fiorini<sup>1</sup>, Francesco M. Boniello<sup>1</sup>, Matteo Mari<sup>1</sup>,Federico Carotenuto<sup>1</sup>, Federica Rossi<sup>1</sup>, Pietro Crudele<sup>2</sup>, Gianluca Pilo<sup>2</sup>, Mattia Onofri<sup>2</sup>, Camilla Chieco<sup>1</sup>.- EFFETTO DELL'ALLUVIONE IN ROMAGNA DEL MAGGIO 2023 SULLE EMISSIONI DI N<sub>2</sub>O</p> <p>Inoltre è stato pubblicato l'articolo</p> <p>3/8/2023 “Scambi di flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro” – “CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O exchange fluxes between atmosphere and a tomato crop”.</p> <p>Marianna Nardino, Stefano Anconelli, Federico Carotenuto, Camilla Chieco, Daniela Famulari, Salvatore Luca Gentile, Matteo Mari, Domenico Solimando and Federica Rossi</p> <p><b>Pubblicazione</b> sulla rivista ISI Italian Journal of Agrometeorology (IJAM)</p> <p>La Cooperativa Conserve Italia è stata supportata dal CICA, nell'organizzazione delle attività di divulgazione, ed il CICA Bologna, ha valutato l'adeguatezza delle comunicazioni impostate al raggiungimento degli obiettivi del bando ed ai requisiti della comunicazione in ambito PSR. Il materiale divulgativo prodotto è disponibile al sito <a href="https://www.conserveitalia.it/it/il-gruppo/progetti-di-finanziamento/programma-di-sviluppo-rurale/mis-16-2-01-2022/materiale-divulgativo-mis-16-2-01-2022">https://www.conserveitalia.it/it/il-gruppo/progetti-di-finanziamento/programma-di-sviluppo-rurale/mis-16-2-01-2022/materiale-divulgativo-mis-16-2-01-2022</a> Tutti i referenti delle Unità Operative hanno partecipato alle attività di divulgazione in presenza con i soci ed i tecnici della Cooperativa</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità</p>	<p><b>Obiettivi:</b> comunicare i risultati, all'interno delle EPD (Environmental Product Declaration) relative a prodotti specifici.</p> <p><b>Output dell'azione:</b> Divulgazione presso fiera, divulgazione in meeting tecnici, divulgazione in convegni specialistici, divulgazione su sito internet, divulgazione tramite pubblicazione di articoli.</p> <p>Tutti gli obiettivi sono stati raggiunti.</p>

## PERSONALE

<b>DIVULGAZIONE</b>					
<b>Nome</b>	<b>Mansione/ qualifica</b>	<b>Attività svolta nell'azione</b>	<b>Costo orario</b>	<b>Ore</b>	<b>Costo totale</b>
	Referente Amministrativo	Controllo delle attività nel processo amministrativo	52,23	14	731,22
	Responsabile organizzativo	Organizzazione e coordinamento	37,8	50	1890
	Referente agronomo	Prove in campo per visita dimostrativa	36,97	14	517,58
				<b>TOTALE</b>	<b>3.138,80 €</b>

## **SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE**

<b>DIVULGAZIONE</b>				
<b>CONSULENZE – SOCIETÀ</b>				
<b>Ragione sociale della società di consulenza</b>	<b>Referente</b>	<b>Importo previsto</b>	<b>Attività realizzate / ruolo nel progetto</b>	<b>Costo</b>
CICA		5.000,00 €	Gestione della cooperazione	4.575,00 €
UNIGE		7.000,00 €	Coordinatore Scientifico	7.000,00 €
UNIMI		5.000,00 €	Consulente	5.000,00 €
CNR		6.290,00 €	Consulente	6.290,00 €
TETIS		6.000,00 €	Consulente	6.000,00 €
<b>TOTALE</b>				<b>28.865,00 €</b>

# 1 CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

<b>Criticità tecnico scientifiche</b>	<p>Nel mese di maggio 2023, in Romagna si è verificata un'importante calamità naturale che ha avuto profonde ripercussioni sul territorio: le forti precipitazioni hanno portato nell'area studiata, all'interno del Comune di Conselice, un'alluvione che ha interrotto le reti di trasporto, danneggiato le infrastrutture e messo a rischio la sicurezza pubblica. Nel sito del pereto, il livello dell'acqua ha raggiunto i 120 cm nella fase di picco ed è rimasto a circa 20 cm dal suolo per oltre 5 settimane, interrompendo anche le misure iniziate a marzo per un mese e mezzo (con perdita di strumentazione per allagamento). Al di là delle difficoltà logistiche, questo evento ha comportato un notevole impatto sullo scambio ecosistemico: l' NEE della coltura del pereto misurato durante l'anno 2023 è del tutto anomalo, e non rappresentativo della coltura in esame. Sia per la mancanza di dati su un periodo (maggio-giugno) cruciale per la crescita della pianta, e per l'apporto fangoso dall'alluvione che ha provocato un considerevole cambiamento della superficie sotto gli alberi, che normalmente sarebbe ricoperta di vegetazione annuale erbosa, mentre durante questa stagione estiva è risultata per lo più un tappeto fangoso. Considerazioni analoghe si applicano alle emissioni di N<sub>2</sub>O: la gestione normale agricola non si è verificata per il 2023, e la superficie del terreno ha cambiato radicalmente le sue proprietà. Per queste ragioni non è stato possibile stilare i bilanci annuali di C ed N come pianificato per la coltura del pereto.</p> <p>A tale proposito è necessario specificare che, al di fuori del progetto e per interessi specifici dell'ente di ricerca coinvolto CNR-IBE, si è ritenuto di mantenere in essere alcuni</p>
<b>Criticità gestionali</b> (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	
<b>Criticità finanziarie</b>	

## 2 ALTRE INFORMAZIONI

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



## **5 CONSIDERAZIONI FINALI**

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

A seguito degli allagamenti dovuti all'evento alluvionale del Maggio '23, la proroga concessa non è stata sufficiente a raccogliere correttamente i dati come programmato in fase di redazione del Piano di Innovazione. Sarebbe utile che l'Ente Gestore del contributo potesse valutare proroghe straordinarie in caso di situazioni particolarmente impattanti sulle attività di progetto e fuori dal controllo del beneficiario.

## **6 RELAZIONE TECNICA**

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

Vedi allegati report tecnici di dettaglio per ogni Unità Operativa coinvolta.

Data 23/08/2024



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO



# **Azione 1: analisi del contesto locale (Emilia Romagna) e delle pratiche culturali (pomodoro-mais-pero)**

Data: 14/04/2023

Autori: Cassandra lab, Università degli Studi di Milano, ESP, Via Celoria 2, 20133 Milano.



## Indice

Riassunto.....	2
Task 1.1 Analisi contesto e pratiche colturali .....	3
1.1 Zonazione agro-climatica .....	3
1.2 Analisi delle pratiche gestionali e identificazione di scenari gestionali alternativi .....	6
Bibliografia .....	11

## Riassunto

Questa attività si è focalizzata sulla caratterizzazione agro-climatica dell'area studio (Emilia Romagna) al fine di (i) identificare aree omogenee in termini di caratteristiche climatiche, pedologiche e gestionali (zonazione) per ciascuna delle tre colture di interesse (mais dolce, pomodoro da industria e pero), (ii) definire le pratiche gestionali "standard" maggiormente in uso per tali colture nell'area studio e (iii) individuare pratiche gestionali alternative, che presentino aspetti potenzialmente vantaggiosi al fine di migliorare lo stoccaggio di carbonio nei suoli agricoli ma – al tempo stesso – anche un'elevata applicabilità al contesto esplorato. I risultati di questa attività rappresentano un elemento chiave per la seconda fase del lavoro, in cui le strategie gestionali alternative verranno valutate tramite modellistica di simulazione e approcci di analisi del ciclo di vita (*Life Cycle Assessment, LCA*) in modalità comparativa rispetto allo scenario gestionale attualmente di maggiore diffusione, al fine di valutare gli effettivi benefici dati dall'adozione di tali pratiche agricole.



## Task 1.1 Analisi contesto e pratiche colturali

### 1.1 Zonazione agro-climatica

Al fine di caratterizzare l'area studio (Emilia Romagna) dal punto di vista agro-climatico, in questa attività è stata condotta una zonazione basata su informazioni climatiche, pedologiche e gestionali secondo la metodologia proposta da Paleari et al. (2020). La zonazione ha riguardato solo le aree con altitudine massima di 500 m a.s.l., essendo quelle maggiormente interessate dalle colture di interesse.

Per quanto riguarda i dati climatici, i dati meteorologici giornalieri del decennio 2011-2020 sono stati derivati dal database ad alta risoluzione spaziale del laboratorio Cassandra lab dell'Università degli Studi di Milano. Il database, che include dati storici e in *near real time* costantemente aggiornati ogni 2 giorni per tutta Europa a partire dal 1 gennaio 2000, integra dati provenienti da diverse reti internazionali NOAA-GSOD (NOAA, 2020a), METAR (NOAA, 2020b) e SYNOP (NOAA, 2020c) e servizi regionali dedicati. I dati meteo di stazione vengono poi riferiti ad una griglia con risoluzione spaziale media di circa 2 km × 2 km (0.016° × 0.016°) tramite approcci modellistici e tecniche di geo-statistica. Le variabili presenti nel database si riferiscono alla temperatura minima e massima, alla precipitazione, alla radiazione solare, all'umidità relativa minima e massima, alla velocità del vento, e all'evapotraspirazione di riferimento.

Per quanto riguarda le temperature, l'interpolazione si basa sull'inverso del quadrato della distanza pesata (*squared inverse distance weighting*; IDW), omogeneizzato per l'altitudine tramite gradienti altitudinali mensili (Mariani et al., 2012; Mariani et al., 2016; Cola et al., 2020). La distribuzione delle quote di riferimento del territorio utilizzate per la spazializzazione dei dati di stazione è derivata dal USGS Gtopo30 (USGS, 2020). Le altre variabili sono ottenute utilizzando il semplice metodo IDW, mentre l'evapotraspirazione di riferimento è stimata tramite l'approccio di Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

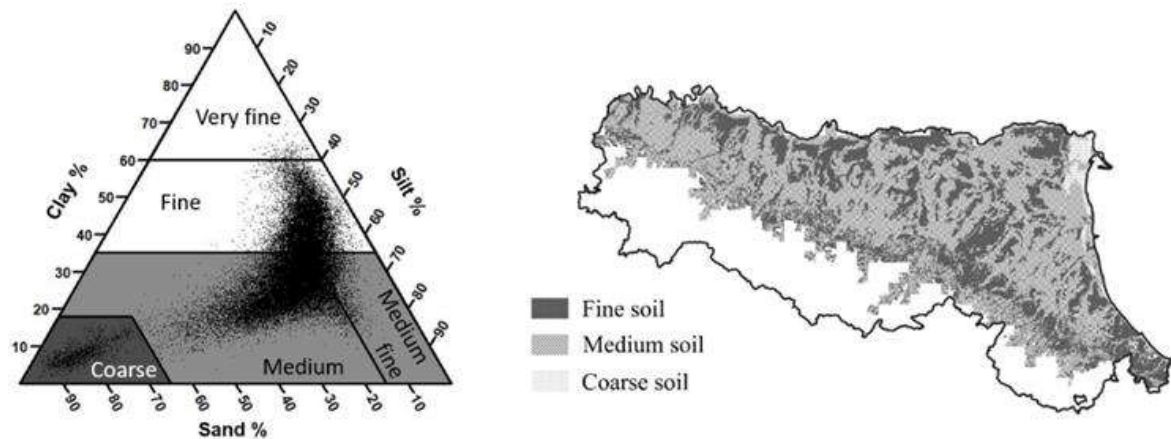
Per ciascuna cella meteo, la radiazione solare globale giornaliera (RAD, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>) e l'evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>, mm d<sup>-1</sup>) sono state utilizzate per calcolare l'indice agrometeorologico sintetico SAM (Synthetic AgroMeteorological indicator; -1 to +1; Eq. 1; Confalonieri et al., 2010) secondo la seguente equazione:

$$SAM = \frac{Rain - ET_0}{Rain + ET_0} \quad (1)$$

dove *Rain* è la media della pioggia cumulata (mm) per il decennio considerato e *ET<sub>0</sub>* è l'evapotraspirazione di riferimento calcolata sul medesimo periodo. Entrambe queste variabili sono state calcolate per ciascuna coltura considerando esclusivamente il periodo di permanenza effettiva in campo (per le colture erbacee) o il periodo di attività vegetativa (per le colture arboree). Al fine di individuare la finestra temporale di interesse per il calcolo dell'indicatore SAM è stata condotta un'analisi del contesto gestionale di riferimento, grazie alle informazioni rese disponibili dai tecnici di Conserve Italia (Conserve Italia Soc. Coop. Agricola). Questa analisi ha permesso di identificare per ciascuna coltura le epoche di semina/trapianto maggiormente rappresentative di quelle adottate nell'area studio e la durata media del ciclo colturale (per le colture erbacee) o di attività vegetativa (per le colture arboree) per le varietà di maggiore diffusione nel contesto di interesse (vedi Tabella 1 e successivo capitolo 1.2.).

Per quanto riguarda i dati di suolo, le mappe tessiturali rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna sono state utilizzate per classificare i suoli della regione in tre categorie: a tessitura fine (argilla >35% e sabbia <65%), a tessitura grossolana (argilla <17.5% e sabbia >65%) o a media tessitura (tutti i suoli rimanenti) adottando l'approccio proposto da Al Majou et al. (2008) (Figura 1).

La classificazione dei suoli evidenzia una marcata presenza di suoli con elevato contenuto in sabbia nelle zone costiere – soprattutto del Ferrarese – e una presenza discreta di zone ad alto contenuto di argilla (<35%) che interessano circa il 30% del territorio regionale di pianura.



**Figura 1.** Classificazione dei dati di suolo riferiti alla tessitura. A sinistra, il triangolo delle tessiture con la classificazione di ciascun dato secondo tre classi: suoli a tessitura fine: argilla > 35% e sabbia < 65%; tessitura grossolana: argilla <17.5% e sabbia > 65%; tessitura media: tutti i suoli rimanenti. Le classi a tessitura fine e molto fine sono state aggregate visto il numero limitato di punti per ciascuna classe. Lo stesso criterio è stato adottato nel caso dei suoli a tessitura media e medio-fine. A destra viene riportata la mappa con la classificazione finale dei suoli.

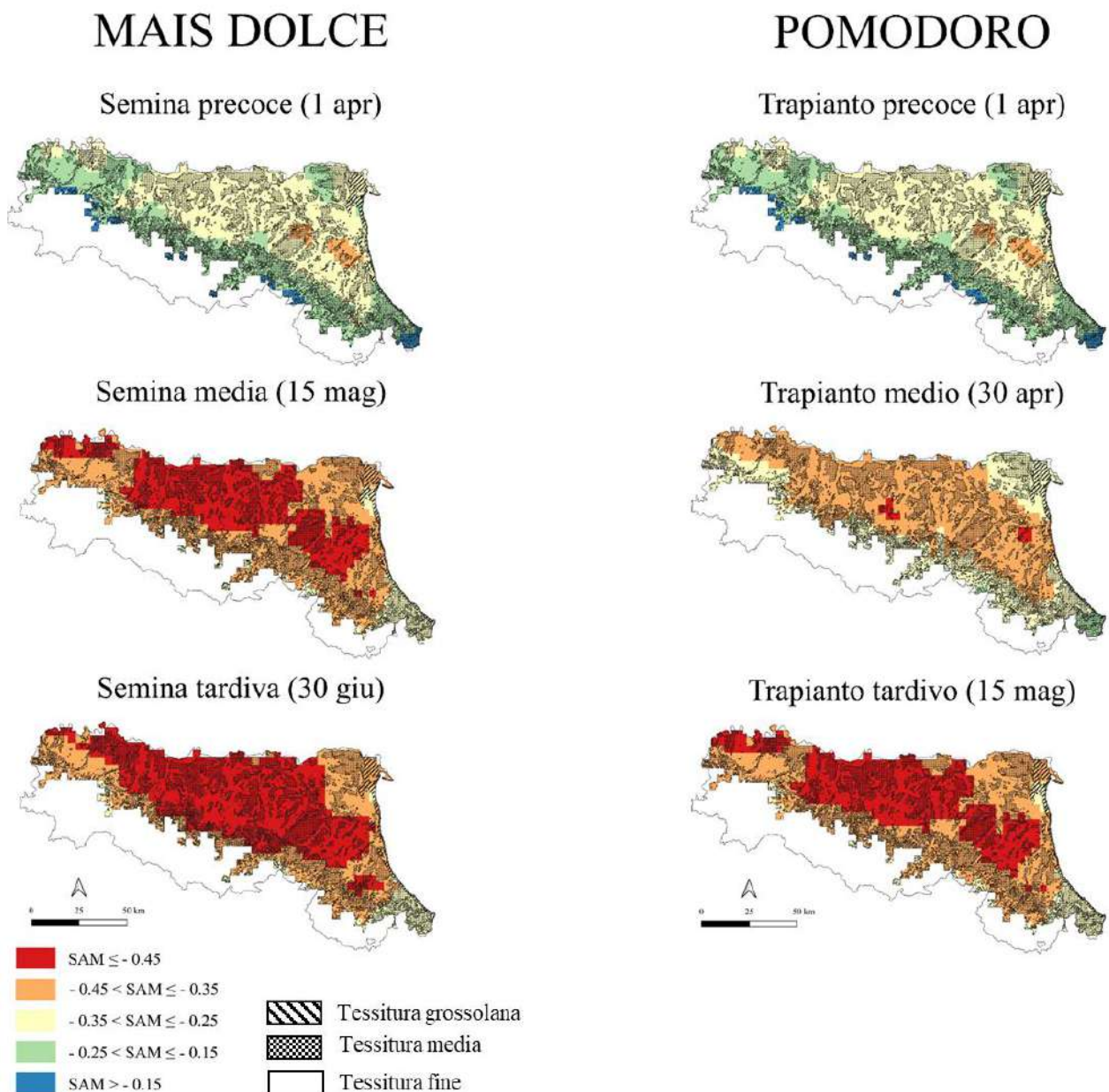
Non essendo emersi pattern spaziali specifici nell'area studio in termini di sistemi irrigui adottati e di gestione della concimazione (vedi capitolo 1.2. del presente documento), questi aspetti non sono stati considerati quali fattori di zonazione. Tali fattori verranno ovviamente inclusi nella fase successiva del lavoro – volta a valutare tramite modellistica di simulazione i benefici ottenibili grazie alle pratiche agricole innovative in termini di stoccaggio di carbonio – adottando i metodi irrigui e strategie di concimazione prevalenti nel contesto indagato (Tabella 1 e 2).

L'aggregazione delle celle meteo in funzione del valore di SAM ha permesso di caratterizzare l'area studio suddividendola in 4 classi SAM per i trapianti precoci e 3 classi SAM per i trapianti medi e tardivi sia per pomodoro da industria che mais dolce (Figura 2). Per quanto riguarda il pero sono invece state individuate 3 classi SAM complessivamente (Figura 3).

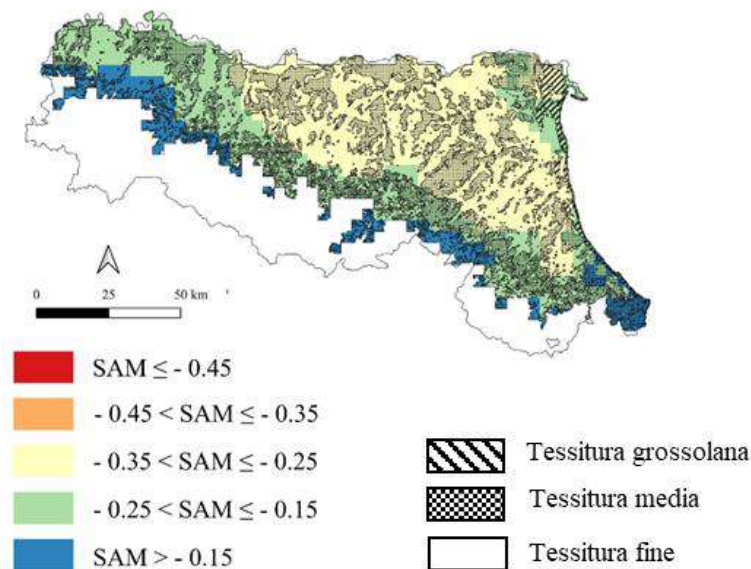
Come atteso, la zonazione climatica ha evidenziato un chiaro aumento dello sbilanciamento tra precipitazioni e richiesta evapotraspirativa con il progredire della stagione. Nelle semine/trapianti precoci si rilevano infatti valori di SAM inferiori a -0.35 solo in pochi casi, e valori molto più elevati (vicini allo zero) nelle aree pedo-collinari. Nel caso di semine/trapianti in stagione più avanzata, la classe di SAM preponderante tende progressivamente a valori inferiori a -0.35 (maggio) e -0.45 (fine giugno).

Dall'intersezione della zonazione climatica e di quella dei suoli è stato possibile individuare 28 contesti agro-climatici nel caso del mais dolce e del pomodoro da industria (11 per le semine precoci,

8 per le medie e 9 per le tardive), e 9 contesti agro-climatici nel caso del pero. La combinazione classe SAM × classe di suolo non è fattoriale poiché la classe di suolo caratterizzata da una tessitura più grossolana non è presente in tutte le classi SAM nel caso sia delle semine/trapianti precoci che medi (Figura 2).



**Figura 2.** Zonazione finale per mais dolce e pomodoro da industria ottenuta intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, Synthetic AgroMeteorological indicator, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiturali di suolo. La zonazione è stata condotta per le due colture separatamente anche nel caso di medesima epoca di semina/trapianto essendo il periodo di permanenza in campo leggermente diverso. Tuttavia, i risultati mostrano come ciò non abbia determinato differenze rilevanti in termini di classi SAM.



**Figura 3.** Zonazione finale per pero ottenuta intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, Synthetic AgroMeteorological indicator, Confalonieri et al., 2010) e di suolo. La zonazione climatica è stata condotta considerando solo il periodo di attività vegetativa della coltura (da marzo a novembre).

### 1.2 Analisi delle pratiche gestionali e identificazione di scenari gestionali alternativi

Grazie alle informazioni messe a disposizione dai tecnici di Conserve Italia è stato possibile identificare le strategie gestionali più diffuse allo stato attuale nell'area studio (pratiche BAU, *Business As Usual*), riportate sinteticamente in Tabella 1 per le due colture erbacee e in Tabella 2 per il pero.

Per quanto riguarda il mais dolce, le strategie gestionali standard si differenziano prevalentemente per quanto riguarda l'epoca di semina, che risulta estremamente scalare (da inizio aprile a fine giugno) al fine di garantire continuità di conferimento agli stabilimenti di trasformazione. Sono state individuate tre epoche di semina prevalenti (precoce: 1 aprile; media: 15 maggio; tardiva: 30 giugno) in modo da considerare l'intera finestra temporale di semina. Analoghe considerazioni riguardano il pomodoro da industria, che presenta una gestione intensiva molto omogenea con variabilità indotta prevalentemente dall'epoca di trapianto (da inizio aprile a metà maggio). Anche in questo caso sono state individuate tre epoche principali: precoci (1 aprile), medi (30 aprile) e tardivi (15 maggio). Questa variabilità nella gestione agronomica dello scenario attuale (pratiche BAU) è stata inclusa anche nel processo di zonazione (Figura 2) come descritto nel capitolo precedente, al fine di cogliere al meglio la variabilità agro-climatica esplorata dalla coltura nell'area studio.

Per quanto riguarda il pero, la gestione agronomica standard si differenzia in modo marcato in relazione alla varietà considerata. Nello specifico, le due varietà di maggiore diffusione nel contesto studio (i.e., varietà William e Abate Fétel) determinano due scenari gestionali differenti (Tabella 2). Queste due varietà sono da considerarsi decisamente preponderanti, interessando,



rispettivamente, circa il 60% e il 30% del totale della superficie a pero delle aziende conferenti a Conserve Italia. Il restante 10% riguarda invece molteplici varietà (es., Conference, Kaiser, Decana) che non sono state quindi considerate nello studio.

Le strategie gestionali standard per queste due varietà (Tabella 2) si differenziano in modo sostanziale in virtù della diversa suscettibilità varietale a due fitopatologie di notevole rilievo nel contesto della pericoltura dell'Emilia Romagna: il colpo di fuoco batterico (*Erwinia amylovora*) e l'alternaria (agente fungino *Stemphylium vesicarium*, forma asessuata dell'ascomicete *Pleospora allii*).

Nel caso della varietà William, la suscettibilità elevata al colpo di fuoco batterico impone un'attenta gestione del legno di potatura, con allontanamento dello stesso dall'impianto al fine di ridurre il potenziale inculo del patogeno. Viceversa, la bassa suscettibilità all'alternaria permette di mantenere l'interfilare inerbito con trinciatura periodica (Tabella 2).

Nel caso della varietà Abate Fétel invece, la gestione del legno di potatura non presenta particolari criticità mentre vi è un'attenta gestione del terreno dell'interfila al fine di minimizzare le condizioni predisponenti l'insorgenza dell'alternaria a cui la varietà Abate è estremamente suscettibile. Questo porta alla lavorazione periodica del terreno dell'interfilare, al fine di favorire l'infiltrazione dell'acqua e l'arieggiamento del terreno, come suggerito anche dal servizio Fitosanitario Regionale.

L'ultima fase del lavoro ha riguardato l'identificazione di scenari gestionali alternativi potenzialmente vantaggiosi ai fini di stoccaggio di carbonio nei suoli agrari e, al tempo stesso, effettivamente adottabili nel contesto produttivo di riferimento.

Nel caso delle colture erbacee (mais dolce e pomodoro) le strategie gestionali alternative individuate si riferiscono a due linee di azione principali:

- i. l'adozione di cover crops autunno-vernine, al fine di massimizzare l'accumulo di biomassa per unità di superficie durante l'intero anno e aumentare il contenuto di sostanza organica dei suoli. Si testeranno strategie basate sull'uso di diverse specie caratterizzate da un diverso rapporto C/N e quindi da diverse dinamiche di evoluzione della sostanza organica nel suolo (e.g., leguminose come la veccia e graminacee come ad esempio la loiessa).
- ii. L'uso di tecniche di minima lavorazione al fine di ridurre il tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo.

A livello esplorativo, verranno inoltre condotti dei test volti a valutare tecniche innovative di pacciamatura verde basate sulla semina di miscugli specifici e successiva terminazione tramite rullatura e rottura dei culmi.

Nel caso del pero, le strategie gestionali alternative si differenziano in base alla varietà adottata, al fine di considerare le criticità fitopatologiche specifiche delle due cultivar di principale interesse nel contesto studio (William e Abate Fétel). Nello specifico:

- i. nel caso della varietà Abate Fétel, si valuterà l'uso di subirrigazione profonda al fine di ridurre il numero di lavorazioni del terreno per la gestione delle infestanti, con potenziale riduzione delle emissioni e del tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo;





- ii. nel caso della varietà William che, contrariamente all'Abate Fétel, non presenta problemi legati agli inerbimenti, si testeranno anche pratiche agricole che prevedono il sovescio nell'interfila con specie in grado di garantire produzioni elevate di sostanza organica stabile. Inoltre, come indicato per le colture erbacee, verranno condotti dei test esplorativi per valutare gli effetti legati all'adozione di tecniche innovative di pacciamatura verde.

L'efficacia di tali strategie gestionali alternative in termini di sequestro di carbonio verrà valutata in una fase successiva del lavoro tramite l'uso di modelli di simulazione colturali in modo comparativo rispetto al contesto gestionale standard (pratiche BAU).



**Tabella 1.** Sintesi delle strategie gestionali comunemente adottate nel contesto studio (pratiche agricole BAU, Business As Usual) per ciascuna delle colture erbacee indagate.

Coltura	Pratica agronomica	Scenario attuale (BAU)
Mais dolce	<i>Epoca di semina</i>	Distribuite temporalmente da inizio aprile a fine giugno
	<i>Durata media del ciclo colturale<sup>a</sup></i>	85-90 giorni
	<i>Gestione irrigua</i>	Metodo prevalente: aspersione con rotolone; pivot e scorrimento in misura minore Numero di interventi irrigui complessivi: da 3 a 6
	<i>Concimazione N</i>	240 kg N ha <sup>-1</sup> , in 2-3 interventi (pre-semine, 2 <sup>a</sup> -3 <sup>a</sup> foglia vera, 5 <sup>a</sup> -6 <sup>a</sup> foglia vera)
	<i>Lavorazioni del suolo</i>	Aratura, passaggio con estirpatore e erpice, rullatura
	<i>Gestione dei residui colturali<sup>b</sup></i>	Interramento tramite aratura
Pomodoro	<i>Epoca di trapianto</i>	Tre epoche principali: precoci (inizio aprile), medi (fine aprile) e tardivi (metà maggio)
	<i>Durata media del ciclo colturale<sup>a</sup></i>	110-115 giorni
	<i>Gestione irrigua</i>	Metodo prevalente: irrigazione a goccia, aspersione in misura minore. Numero di interventi irrigui complessivi: 8 interventi in media con rotolone, circa 30 con irrigazione a goccia (all'incirca a giorni alterni)
	<i>Concimazione N</i>	120 kg N ha <sup>-1</sup> , in 3 interventi se irrigato ad aspersione (al trapianto, due sarchiature), con fertirrigazione se irrigato a goccia
	<i>Lavorazioni del suolo</i>	Aratura ed erpicatura
	<i>Gestione dei residui colturali</i>	Trinciatura e interramento con aratura

<sup>a</sup>: da semina a raccolta, per le varietà di maggiore diffusione nell'area studio.

<sup>b</sup>: stocchi, foglie, tutoli.



**Tabella 2.** Sintesi delle strategie gestionali comunemente adottate nel contesto studio (pratiche agricole BAU, Business As Usual) nel caso delle due varietà di pero maggiormente diffuse nell'area studio (William e Abate Fétel).

Coltura	Pratica agronomica	Scenario attuale (BAU)
Pero	<i>Epoca di raccolta</i>	Prima settimana di agosto (William), fine agosto/primi settembre (Abate)
	<i>Durata media del ciclo colturale<sup>a</sup></i>	Da metà Marzo a fine Novembre
	<i>Gestione irrigua</i>	Metodo irriguo prevalente: ala gocciolante. Numero di interventi irrigui: da fine marzo a fine giugno due volte a settimana, in estate (Luglio, Agosto e Settembre) a giorni alterni
	<i>Concimazione N</i>	Circa 100 kg N ha <sup>-1</sup> con fertirrigazione, concimi organo-minerali e concimi fogliari
	<i>Ammendamento</i>	Stallatico durante il periodo invernale (Novembre-gennaio)
	<i>Lavorazioni del suolo/ gestione interfila</i>	Inerbimento permanente con trinciatura periodica (6-7 interventi all'anno) nel caso della William; lavorazione dell'interfila (fresatura a 15-20 cm di profondità, 3-4 volte all'anno) nel caso della Abate
	<i>Gestione dei residui colturali<sup>b</sup></i>	Asportazione nel caso della varietà William, trinciatura e interrimento (con fresatura a 15-20 cm di profondità) nel caso della varietà Abate

<sup>a</sup>: periodo di attività vegetativa.

<sup>b</sup>: legno di potatura



## Bibliografia

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 56. United Nations FAO, Rome, 300 p.
- Al Majou, H., Bruand, A., Duval, O., Le Bas, C., Vautier, A., 2008. Prediction of soil water retention properties after stratification by combining texture, bulk density and the type of horizon. *Soil Use Manag.* 24, 383–391. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00180.x>
- Cola, G., Mariani, L., Maghradze, D., Failla, O., 2020. Changes in thermal resources and limitations for Georgian viticulture. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 26, 29-40.
- Confalonieri, R., Bregaglio, S., Acutis, M., 2010. A proposal of an indicator for quantifying model robustness based on the relationship between variability of errors and of explored conditions. *Ecol. Modell.* 221, 960–964. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.12.003>
- Mariani, M., Alilla, R., Cola, G., Dal Monte, G., Epifani, C., Puppi, G., Failla, O., 2013. IPHEN-a real-time network for phenological monitoring and modelling in Italy. *International Journal of Biometeorology*, 57, 881-893.
- Mariani, L., Cola, G., Bulgari, R., Ferrante, A., Martinetti, L., 2016. Space and time variability of heating requirements for greenhouse tomato production in the Euro-Mediterranean area. *Science of the Total Environment*, 562, 834-844.
- Mariani, L., Parisi, S.G., Cola, G., Failla, O., 2012. Climate change in Europe and effects on thermal resources for crops. *International Journal of Biometeorology*, 56, 1123-1134.
- Meier, U., 2001. Growth stages of mono- and dicotyledonous plants, Second. ed, BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.
- NOAA, 2020a. <https://data.noaa.gov/dataset/dataset/global-surface-summary-of-the-day-gsod/>
- NOAA, 2020b. <https://tgftp.nws.noaa.gov/data/observations/metar/stations/>
- NOAA, 2020c. <https://tgftp.nws.noaa.gov/SL.us008001/DF.an/DC.sflnd/DS.synop/>
- NOAA, 2020d. [https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical\\_forecast\\_systems/gfs.php](https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs.php)
- Paleari, L., Vesely, F.M., Ravasi, R.A., Movedi, E., Tartarini, S., Invernizzi, M., Confalonieri, R., 2020. Analysis of the Similarity between in Silico Ideotypes and Phenotypic Profiles to Support Cultivar Recommendation—A Case Study on *Phaseolus vulgaris* L. *Agronomy* 10, 1733. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111733>
- USGS, 2020. <https://webgis.wr.usgs.gov/globalgis/gtopo30/gtopo30.htm>



## **Azione 2, Task 2.1: Calcolo fissazione simulata per pomodoro da industria e mais dolce**

Data: 3/05/2024

Autori: Cassandra lab, Università degli Studi di Milano, ESP, Via Celoria 2, 20133 Milano.



## Indice

<b>Task 2.1 Calcolo fissazione simulata</b> .....	3
<b>1. Pomodoro da industria</b> .....	3
1.1. Parametrizzazione del modello colturale .....	3
1.2. Scenari agro-climatici e gestionali.....	3
1.3. Risultati.....	6
<b>2. Mais dolce</b> .....	9
2.1 Parametrizzazione del modello colturale .....	9
2.2. Scenari agro-climatici e gestionali.....	9
2.3. Risultati.....	11
<b>Bibliografia</b> .....	15



## Task 2.1 Calcolo fissazione simulata

L'obiettivo di questo Task riguarda l'analisi – tramite modelli di simulazione colturali - del potenziale sequestro di carbonio e delle performance agronomiche delle colture di interesse (mais dolce, pomodoro, pero) per i diversi contesti agro-climatici e i diversi scenari gestionali individuati nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1).

Per ogni scenario agro-climatico, le performance agronomiche e ambientali dei diversi sistemi colturali indagati sono state valutate in modo comparativo, confrontando lo scenario gestionale standard (BAU, *Business as Usual*) con gli scenari gestionali alternativi, identificati come maggiormente sostenibili e al tempo stesso effettivamente implementabili nel contesto indagato, come dettagliato nel report relativo al Task 1.1. In sintesi, tali pratiche gestionali alternative riguardano:

- per pomodoro da industria e mais dolce:
  1. uso di cover crops (valutando sia leguminose che graminacee);
  2. adozione di pratiche di minima lavorazione;
  3. a livello esplorativo, tecniche di pacciamatura verde nell'interfila;
- per pero:
  1. uso di subirrigazione profonda (per cv. Abate Fétel);
  2. adozione di sovescio nell'interfila (per cv. William);
  3. a livello esplorativo, tecniche di pacciamatura verde nell'interfila (cv. William).

Nel presente documento si riportano i risultati preliminari riferiti alla coltura del pomodoro da industria e del mais dolce.

## 1. Pomodoro da industria

### 1.1. Parametrizzazione del modello colturale

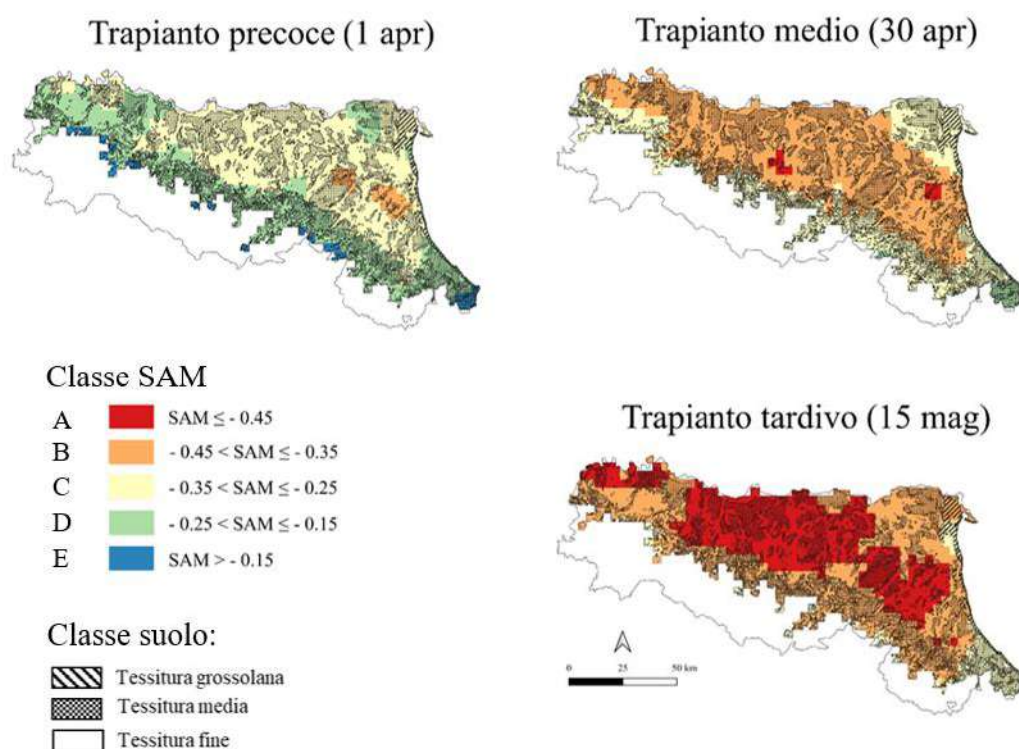
Come da piano di progetto, il modello utilizzato per l'analisi è STICS (v. 8.3; Brisson et al., 2003). Per quanto riguarda il pomodoro da industria, è stata utilizzata la parametrizzazione già disponibile presso il laboratorio Cassandra lab dell'Università degli Studi di Milano a seguito delle attività condotte in collaborazione con Conserve Italia nell'ambito di progetti svolti in precedenza (FEASR PSR 2014-2020 sottomisura 16.1.01, domanda 5004939).

Per quanto riguarda le due colture di copertura testate – vecchia (*Vicia sativa* L.) come esempio di specie leguminosa e loiessa (*Lolium multiflorum* Lam.) come graminacea – sono state utilizzate le parametrizzazioni disponibili per il modello colturale utilizzato (Constantin et al., 2012 e Constantin et al., 2015).

### 1.2. Scenari agro-climatici e gestionali

A titolo riepilogativo, in Figura 1 si riporta la zonazione agro-climatica definita per pomodoro da industria nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni epoca di trapianto (precoce, media e tardiva) viene riportata la mappa della Regione Emilia Romagna con la zonazione ottenuta intersecando le diverse classi tessiturali di suolo (fine, media, grossolana) e la caratterizzazione climatica definita tramite l'indicatore agro-meteorologico SAM (*Synthetic AgroMeteorological indicator*) che caratterizza in modo sintetico lo squilibrio tra precipitazioni e richiesta

evapotraspirativa (evapotraspirazione di riferimento, ET<sub>0</sub>, mm). Tale squilibrio decresce progressivamente procedendo dalla classe “A” – dove i valori di SAM marcatamente negativi indicano un ET<sub>0</sub> molto maggiore rispetto alle precipitazioni – alla classe “E”. Per ogni classe SAM è stata quindi individuata la cella meteo centroide (i.e., cella con SAM prossimo alla mediana dei valori della classe), utilizzata quale unità di simulazione nelle fasi successive dell’analisi.



**Figura 1.** Zonazione ottenuta per pomodoro da industria intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, Synthetic AgroMeteorological indicator, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiturali di suolo. La zonazione è stata condotta per le diverse epoche di trapianto essendo il periodo di permanenza in campo della coltura diverso.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, come descritto nel report relativo al Task 1.1, le mappe tessiturali rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna sono state utilizzate per classificare i suoli della regione in tre categorie: a tessitura fine (argilla > 35% e sabbia < 65%), a tessitura grossolana (argilla < 17.5% e sabbia > 65%) o a media tessitura (tutti i suoli rimanenti).

Le classi ottenute differiscono tra loro anche per il contenuto di azoto organico e di carbonio organico, come riassunto in Tabella 1. Tali informazioni, derivate dalle mappe pedologiche rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna, sono state utilizzate per definire i parametri di suolo del modello colturale, al fine di rispecchiare al meglio le condizioni edafiche esplorate dalla coltura nei diversi contesti agro-climatici individuati.

Dall’intersezione della zonazione climatica e di quella dei suoli è stato possibile individuare 28 contesti agro-climatici, 11 per i trapianti precoci, 8 per i medi e 9 per i tardivi.

Per quanto riguarda la gestione agronomica, il modello è stato impostato in modo da rispecchiare le strategie gestionali definite nell’Azione 1, sia per lo scenario baseline (BAU, Business





as Usual) che per gli scenari gestionali alternativi. Il dettaglio relativo alle impostazioni di management utilizzate nelle simulazioni è riportato in Tabella 2.

**Tabella 1.** Parametrizzazione dei suoli considerati.

Parametro	Classe tessiturale		
	Grossolana	Media	Fine
Argilla (%):	8	26	43
Norg.(% d.w.):	0.052	0.091	0.13
SOC (%):	0.8	1.4	2
C/N :	9	9	9

**Tabella 2.** Informazioni gestionali utilizzate per le diverse colture.

Coltura	Intervento	Modalità	Note
Pomodoro	Irrigazione	Fertirrigazione	Irrigazione a goccia, frequenza definita in modo dinamico tramite soglia di intervento <sup>a</sup> .
	Concimazione	Azoto fornito al momento del trapianto e via fertirrigazione	Concime utilizzato: urea.
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura <sup>b</sup>	Aratura a 30 cm un mese prima del trapianto, erpicatura a 10 cm il giorno prima del trapianto
	Residui colturali	Interramento	Tramite aratura <sup>d</sup> a 30 cm
Cover crops	Irrigazione	Nessuna	
	Concimazione	Nessuna	
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura	Per interrimento dei residui della coltura principale e preparazione del letto di semina; profondità pari a
	Residui colturali	Interramento <sup>c</sup>	Tramite aratura a 30 cm un mese prima del trapianto del pomodoro

<sup>a</sup>: soglia di intervento: rapporto tra evapotraspirazione potenziale e reale pari a 0.8. Soglia definita tramite calibrazione in modo da rispecchiare la frequenza di intervento attualmente utilizzata nell'areale di interesse.

<sup>b</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con minima lavorazione. In tal caso è stata impostata solo un'erpicatura a 5 cm.

<sup>c</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con pacciamatura verde. In tal caso la biomassa della coltura di copertura non viene interrata ma lasciata in superficie.

<sup>d</sup>: se il pomodoro è seguito da cover crop, l'aratura di interrimento dei residui colturali è la stessa utilizzata per la preparazione del letto di semina della coltura di copertura.



La valutazione dei diversi scenari gestionali è stata condotta tramite simulazioni continue per un arco temporale decennale (2008-2018, il primo anno per inizializzazione del modello), al fine di rendere apprezzabili le variazioni di contenuto di carbonio organico nei suoli. Si è evitato di considerare dinamiche temporali di maggiore durata per evitare un effetto confondente dovuto a variazioni climatiche di lungo termine. La serie decennale analizzata inizia nel 2008 poiché il dato di contenuto di carbonio organico nei suoli utilizzato per l'inizializzazione del modello è stato derivato dal database messo a disposizione della Regione Emilia Romagna, il cui periodo di riferimento si conclude nel 2007.

Durante le simulazioni in successione il modello utilizza i parametri edafici dell'anno precedente per la simulazione successiva, permettendo così una valutazione in continuo delle dinamiche dell'acqua, dell'azoto e del carbonio nel suolo nel lungo periodo.

Le successioni colturali valutate nei diversi scenari gestionali, selezionate nell'ambito dell'Azione 1 come potenzialmente vantaggiose per l'accumulo di carbonio nel suolo, sono state le seguenti:

- scenario "*Business as usual*": pomodoro/suolo nudo;
- scenario "*Minima lavorazione*": come il precedente ma senza aratura;
- scenario "*Cover crop*": pomodoro/veccia oppure pomodoro/lojessa;
- scenario "*Pacciamatura verde interfila*": a titolo esplorativo, come il precedente ma con terminazione conservativa della cover crop (senza interrimento) nell'interfila e lavorazione sulle file (*strip tillage*). Il risultato è un suolo lavorato sul 60% della superficie e una pacciamatura verde sul restante 40%. Da notare come nell'analisi non vengono considerate possibili interazioni nelle dinamiche di C, N e acqua tra la porzione di suolo con pacciamatura verde e quella con cover crop interrata.

Le diverse strategie gestionali sono state valutate considerando diverse variabili di performance del sistema colturale, non solo aspetti legati alla produzione agricola e al sequestro di CO<sub>2</sub>, ma anche quelli legati ai consumi idrici e azotati.

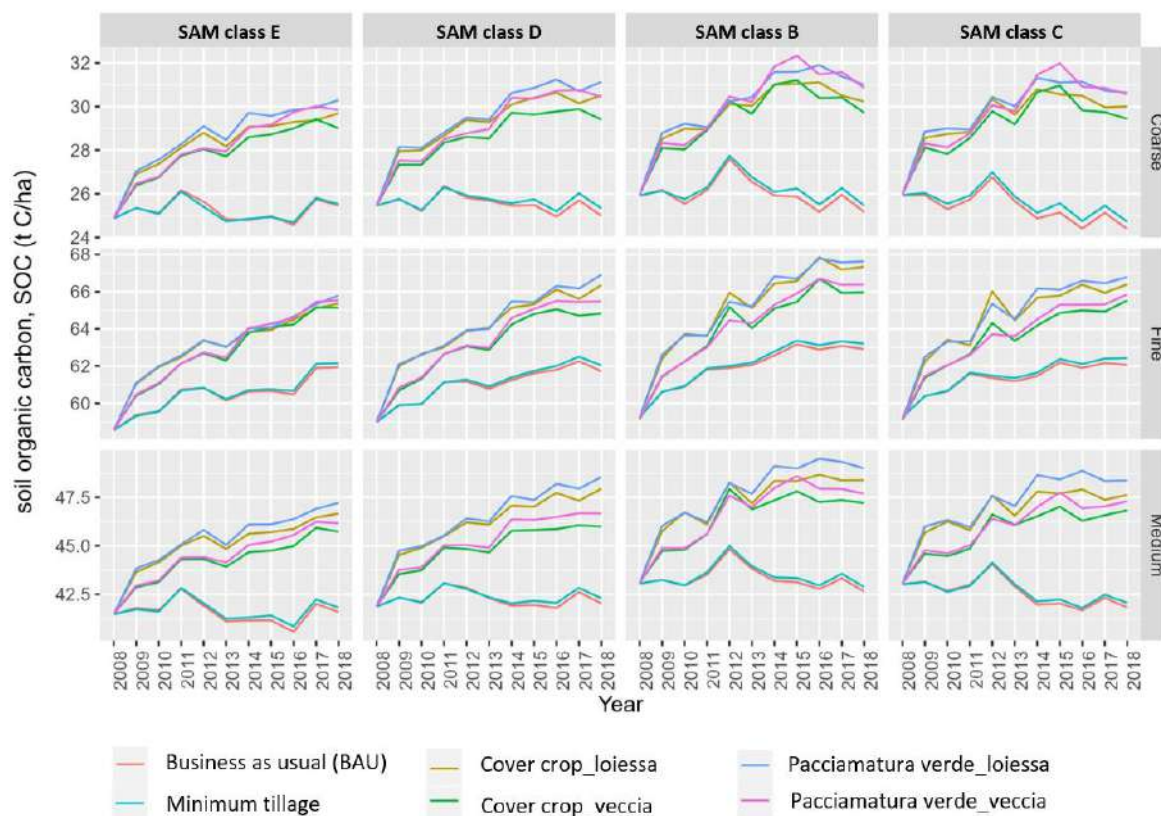
### 1.3. Risultati

In questo report vengono di seguito commentati e riportati brevemente solo i dati con le dinamiche di maggior rilievo, mentre tutti i dati sono forniti tramite i file Excel allegati. L'analisi e discussione completa dei dati verrà presentata nel report finale complessivo.

Per quanto riguarda le dinamiche del carbonio organico nel suolo (Figura 2), i risultati hanno evidenziato chiari benefici dati dall'adozione di colture di copertura, sia leguminose che graminacee, con un progressivo aumento del contenuto di carbonio stoccato. I benefici maggiori si hanno nel caso dell'adozione di pacciamatura verde rispetto all'interramento integrale della cover crop, e con l'uso di specie graminacee rispetto alle leguminose a causa del rapporto C/N maggiore della loro biomassa che ne rallenta la degradazione. La minima lavorazione di per sé (non abbinata a cover crop come nel caso dello strip tillage della pacciamatura verde) invece non ha effetti di rilievo, con un contenuto di C del suolo solo leggermente più alto rispetto allo scenario baseline (BAU). In media, l'aumento di stock di C nei primi 30 cm di suolo ( $t\ C\ ha^{-1}$ ) dopo 10 anni rispetto allo scenario baseline (BAU, anno 1) nel caso di adozione di cover crop varia tra il  $3.4\ t\ C\ ha^{-1}$  e  $11.4\ t\ C\ ha^{-1}$  mentre con l'adozione di tecniche di pacciamatura verde varia tra  $4.2\ t\ C\ ha^{-1}$  e  $12.6\ t\ C\ ha^{-1}$  (Tabella 3). In quest'ultimo caso il potenziale accumulo di C è leggermente maggiore per dinamiche di degradazione della biomassa lasciata in superficie più lente rispetto all'interramento. In generale, queste considerazioni si ripropongono in tutti gli scenari agro-climatici considerati. Per quanto

riguarda la tessitura, si evidenzia un chiaro effetto sul potenziale stoccaggio di C non solo sui valori di partenza (Figura 2) ma anche, seppur in misura minore, sulle dinamiche dell'accumulo C nel suolo negli anni con una possibile perdita di C negli anni nel caso dello scenario BAU e minimum tillage nei suoli più grossolani rispetto ai suoli con tessitura media e fine. Per quanto riguarda l'epoca di trapianto, l'incremento di C nel suolo è leggermente maggiore nei trapianti medi e tardivi (Tabella 3), a causa di una terminazione della cover crop più tardiva che determina una biomassa vegetale interrata maggiore e con un rapporto C/N più elevato.

Tali considerazioni valgono per tutte le altre variabili legate al carbonio nel suolo. Ad esempio l'incremento di contenuto di sostanza organica (SOM, %) nel decennio interessato dalle diverse pratiche gestionali varia tra 0.14% e 0.44% nel caso di cover crop e tra 0.165 e 0.49% nel caso della pacciamatura verde. La minima lavorazione di per sé non mostra effetti di rilievo con variazioni comprese tra -0.1 e +0.2%, analogamente allo scenario BAU (range tra -0.11% e +0.19%).



**Figura 2:** Dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo (soil organic carbon, SOC, t C/ha) nel decennio considerato (2008-2018) riferiti alla profondità di 30 cm. Esempio riferito ai trapianti precoci. I grafici sono organizzati secondo una griglia data dalla combinazione tra classe di suolo (righe) e classe agro-climatica SAM (colonne).

**Tabella 3.** Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo ( $t\ C\ ha^{-1}$ ) nei primi 30 cm di profondità dopo dieci anni di diverse pratiche gestionali rispetto alla baseline (BAU, anno 1).

Trapianto	SAM	Soil	Business as usual	Cover crop_loiessa	Cover crop_veccia	Minimum tillage	Pacciamatura_loiessa	Pacciamatura_veccia
Precoce E	Coarse	0.583	4.822	4.126	0.649	5.4188	4.9672	
Precoce D	Coarse	-0.467	5.05	3.939	-0.133	5.67	4.9698	
Precoce B	Coarse	-0.764	4.304	3.796	-0.466	5.07	4.9328	
Precoce C	Coarse	-1.552	4.058	3.489	-1.219	4.6888	4.6154	
Tardivo B	Coarse	-0.9	7.576	6.877	-0.917	8.6104	8.2782	
Tardivo A	Coarse	-1.829	8.345	7.131	-1.91	9.4134	7.9694	
Tardivo C	Coarse	-2.554	6.698	5.973	-2.568	7.6812	6.8022	
Medio D	Coarse	-0.979	7.245	6.674	-0.605	8.2946	8.0804	
Medio B	Coarse	1.137	8.834	5.899	1.351	9.9452	6.8462	
Medio A	Coarse	-0.067	8.652	6.943	0.257	9.7376	7.755	
Medio C	Coarse	4.916	10.242	7.786	5.118	11.0556	9.166	
Precoce E	Fine	3.38	6.807	6.59	3.612	7.2398	6.9876	
Precoce D	Fine	2.73	7.365	5.841	3.043	7.9158	6.483	
Precoce B	Fine	3.675	8.111	6.737	3.967	8.3998	7.149	
Precoce C	Fine	2.807	7.135	6.264	3.167	7.527	6.5968	
Tardivo B	Fine	0.03	9.668	8.288	0.044	10.5764	8.7412	
Tardivo A	Fine	0.506	11.339	8.405	0.544	12.6774	8.8226	
Tardivo C	Fine	-1.344	8.808	6.047	-1.311	9.8588	6.3658	
Medio D	Fine	-0.455	5.596	7.163	-0.1	6.3388	7.517	
Medio B	Fine	0.027	6.472	4.841	0.292	6.79	5.263	
Medio A	Fine	0.835	7.221	6.693	1.166	7.7566	7.181	
Medio C	Fine	4.839	7.86	7.897	5.001	7.8216	8.1474	
Precoce E	Medium	0.117	5.204	4.264	0.339	5.7484	4.6932	
Precoce D	Medium	0.173	6.089	4.131	0.43	6.687	4.8082	
Precoce B	Medium	-0.423	5.328	4.144	-0.186	5.932	4.6312	
Precoce C	Medium	-1.204	4.598	3.814	-0.967	5.346	4.2696	
Tardivo B	Medium	-1.341	8.478	6.697	-1.342	9.5852	7.6362	
Tardivo A	Medium	-1.995	9.063	6.816	-1.997	10.225	7.198	
Tardivo C	Medium	-2.777	7.553	5.228	-2.725	8.4798	5.9436	
Medio D	Medium	-2.793	5.598	5.444	-2.375	6.3876	6.166	
Medio B	Medium	-1.319	7.269	4.101	-0.896	7.8798	4.5342	
Medio A	Medium	-1.712	7.14	5.294	-1.214	7.8536	5.9468	
Medio C	Medium	2.929	8.172	6.518	3.11	8.4584	7.1812	

Per quanto riguarda le performance agronomiche, non si evidenziano riduzioni di resa di rilievo tranne che nel caso delle cover crop con graminacee (valori medio di riduzione pari a -7.7%) a seguito di stress azotato dovuto ad immobilizzazione dell'azoto nel suolo (a causa del rapporto C/N più elevato nella biomassa della loiessa rispetto alla veccia) e ad un volume irriguo inferiore (probabilmente dovuto ad una maggiore ritenzione idrica grazie al maggiore contenuto di sostanza organica nel suolo e ad una minore evaporazione del suolo) che, nel caso della fertirrigazione, determina anche una riduzione dell'N distribuito. In tal caso una compensazione con un aumento della concimazione (circa  $50\ kg\ N\ ha^{-1}$ ) è sufficiente a riportare le rese a valori del tutto comparabili con lo scenario baseline (BAU).

## 2. Mais dolce

### 2.1 Parametrizzazione del modello colturale

Analogamente a quanto riportato per il pomodoro da industria, il modello colturale utilizzato per l'analisi è STICS (v. 8.3; Brisson et al., 2003), già parametrizzato per mais dolce da Cassandra lab nell'ambito di progetti svolti in precedenza in collaborazione con Conserve Italia (FEASR PSR 2014-2020 sottomisura 16.1.01, domanda 5004939).

Anche le parametrizzazioni per le due colture di copertura testate (vecchia e loiessa) sono le medesime utilizzate per pomodoro da industria (Constantin et al., 2012 e Constantin et al., 2015).

### 2.2. Scenari agro-climatici e gestionali

In Figura 1 si riporta la zonazione agro-climatica definita per mais dolce nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni epoca di semina (precoce, media e tardiva) viene riportata la zonazione ottenuta intersecando le diverse classi tessiturali di suolo (fine, media, grossolana) e la caratterizzazione agro-climatica ottenuta tramite l'indicatore agro-meteorologico SAM (*Synthetic AgroMeteorological indicator*) che permette di caratterizzare in modo sintetico lo squilibrio tra precipitazioni e richiesta evapotraspirativa (evapotraspirazione di riferimento, ET<sub>0</sub>, mm). Tale squilibrio decresce progressivamente procedendo dalla classe "A" – dove i valori di SAM marcatamente negativi indicano un ET<sub>0</sub> molto maggiore rispetto alle precipitazioni – alla classe "E". Analogamente a quanto descritto per pomodoro da industria, per ogni classe SAM è stata individuata la cella meteo centroide (i.e., cella con SAM prossimo alla mediana dei valori della classe), utilizzata quale unità di simulazione nelle fasi successive dell'analisi.

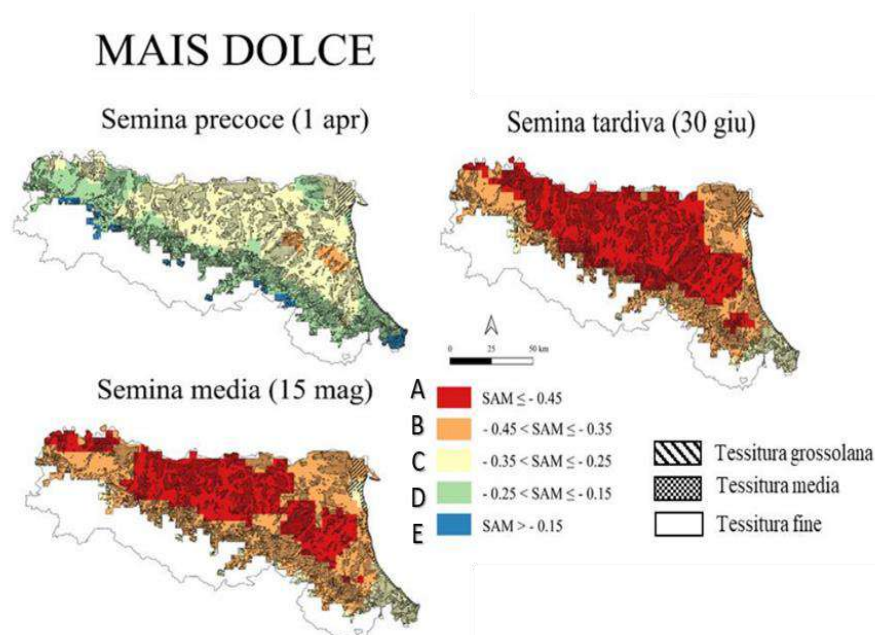


Figura 3: Zonazione per il mais dolce ottenuta intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, *Synthetic AgroMeteorological indicator*, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiturali di suolo. La zonazione è stata condotta per le diverse epoche di trapianto essendo il periodo di permanenza in campo della coltura diverso.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, sono state utilizzate le medesime mappe tessiture descritte per la zonazione del pomodoro da industria, classificando i suoli come fini, medi, o grossolani in relazione alla loro tessitura (fini: argilla > 35% e sabbia < 65%); grossolani: argilla < 17.5% e sabbia > 65%; medi: tutti i suoli rimanenti). Per ogni classe tessiturale, è stata utilizzata la parametrizzazione riportata per pomodoro in Tabella 1. Dall'intersezione della zonazione climatica e della classificazione dei suoli sono stati individuati 29 contesti agro-climatici, 11 per le semine precoci, 9 per le semine medie e 9 per quelle tardive.

Per quanto riguarda la gestione agronomica, il modello è stato impostato in modo da rispecchiare le strategie gestionali definite nell'Azione 1, sia per lo scenario baseline (BAU, *Business as Usual*) che per gli scenari gestionali alternativi, come dettagliato in Tabella 4.

**Tabella 4.** Informazioni gestionali utilizzate per le diverse colture.

Coltura	Intervento	Modalità	Note
Mais	Irrigazione	Irrigazione per aspersione	Frequenza definita in modo dinamico tramite soglia di intervento <sup>a</sup> .
	Concimazione	Azoto fornito al momento del trapianto e in due interventi di copertura.	Concime utilizzato: urea. Prima copertura allo stadio v3, seconda copertura allo stadio v5
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura <sup>b</sup>	Aratura a 30 cm un mese prima della semina, erpicatura a 10 cm il giorno prima della semina
	Residui colturali	Interramento	Tramite aratura <sup>d</sup> a 30 cm
Cover crops	Irrigazione	Nessuna	
	Concimazione	Nessuna	
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura	Per interrimento dei residui della coltura principale e preparazione del letto di semina; profondità pari a rispettivamente a 30 cm e 10 cm
	Residui colturali	Interramento <sup>c</sup>	Tramite aratura a 30 cm un mese prima della semina del mais (semine precoci e medie) o comunque in prefioritura (semine tardive)

<sup>a</sup>: soglia di intervento: rapporto tra evapotraspirazione potenziale e reale pari a 0.6. Soglia definita tramite calibrazione in modo da rispecchiare la frequenza di intervento attualmente utilizzata nell'areale di interesse.

<sup>b</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con minima lavorazione. In tal caso è stata impostata solo un'erpicatura a 5 cm.

<sup>c</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con pacciamatura verde. In tal caso la biomassa della coltura di copertura non viene interrata ma lasciata in superficie.

<sup>d</sup>: se il mais è seguito da cover crop, l'aratura di interrimento dei residui colturali è la stessa utilizzata per la preparazione del letto di semina della coltura di copertura.



Analogamente a quanto descritto per pomodoro da industria, la valutazione dei diversi scenari gestionali è stata condotta per un arco di temporale decennale (2008-2018), con anno di avvio definito in base al riferimento temporale del contenuto di carbonio organico nei suoli utilizzato per l'inizializzazione del modello (database Regione Emilia Romagna). Come per lo studio sul pomodoro, il modello utilizza i dati edafici dell'anno precedente per la simulazione successiva, permettendo così una valutazione in continuo delle dinamiche di acqua, C e N nel suolo di lungo periodo.

Le successioni colturali valutate nei diversi scenari gestionali sono le stesse già descritte per pomodoro da industria:

- scenario "*Business as usual*": mais/suolo nudo;
- scenario "*Minima lavorazione*": come il precedente ma senza aratura;
- scenario "*Cover crop*": mais/veccia oppure mais/loïessa, con terminazione della cover crop tramite aratura;
- scenario "*Pacciamatura verde*", a titolo esplorativo, con terminazione conservativa della cover crop (senza aratura) e lavorazione lungo la fila ("*strip tillage*").

Le diverse strategie gestionali sono state valutate considerando diverse variabili di performance del sistema colturale, non solo aspetti legati alla produzione agricola e al sequestro di CO<sub>2</sub>, ma anche quelli legati ai consumi idrici e azotati.

### 2.3. Risultati

Di seguito vengono riportate e commentate solo le variabili di maggior rilievo, mentre tutti i dati sono forniti tramite i file Excel allegati al presente documento.

Per quanto riguarda le dinamiche del carbonio organico nel suolo in risposta a diverse pratiche gestionali (SOC, t C ha<sup>-1</sup>, Figura 4), i risultati evidenziano chiari benefici dall'adozione di colture di copertura, sia leguminose che graminacee, con un progressivo aumento del contenuto di carbonio stoccato nel suolo.

Analogamente a quanto osservato per pomodoro, anche nel mais l'incremento di sostanza organica più elevato si rileva nel caso di cover crop graminacee, grazie al maggiore accumulo di biomassa rispetto alla veccia e, soprattutto, al rapporto C/N maggiore che ne rallenta la degradazione. Per quanto riguarda la pacciamatura verde, nel caso della veccia l'incremento di carbonio stoccato nel suolo risulta molto simile a quanto ottenuto nello scenario con cover crop interrata. Questa dinamica è legata all'uso di irrigazione per aspersione in mais che, a differenza della microirrigazione utilizzata su pomodoro, bagna anche l'interfila favorendo così la degradazione della sostanza organica accumulata in superficie. Nel caso della pacciamatura verde con specie graminacee, invece, si evidenziano comunque benefici grazie ad una biomassa più recalcitrante la degradazione come descritto in precedenza (rapporto C/N più elevato).

Per quanto riguarda la minima lavorazione, come osservato per pomodoro essa di per sé (non abbinata a cover crops come nel caso della pacciamatura verde) non ha effetti di rilievo, con un contenuto di C del suolo molto simile allo scenario baseline (BAU).

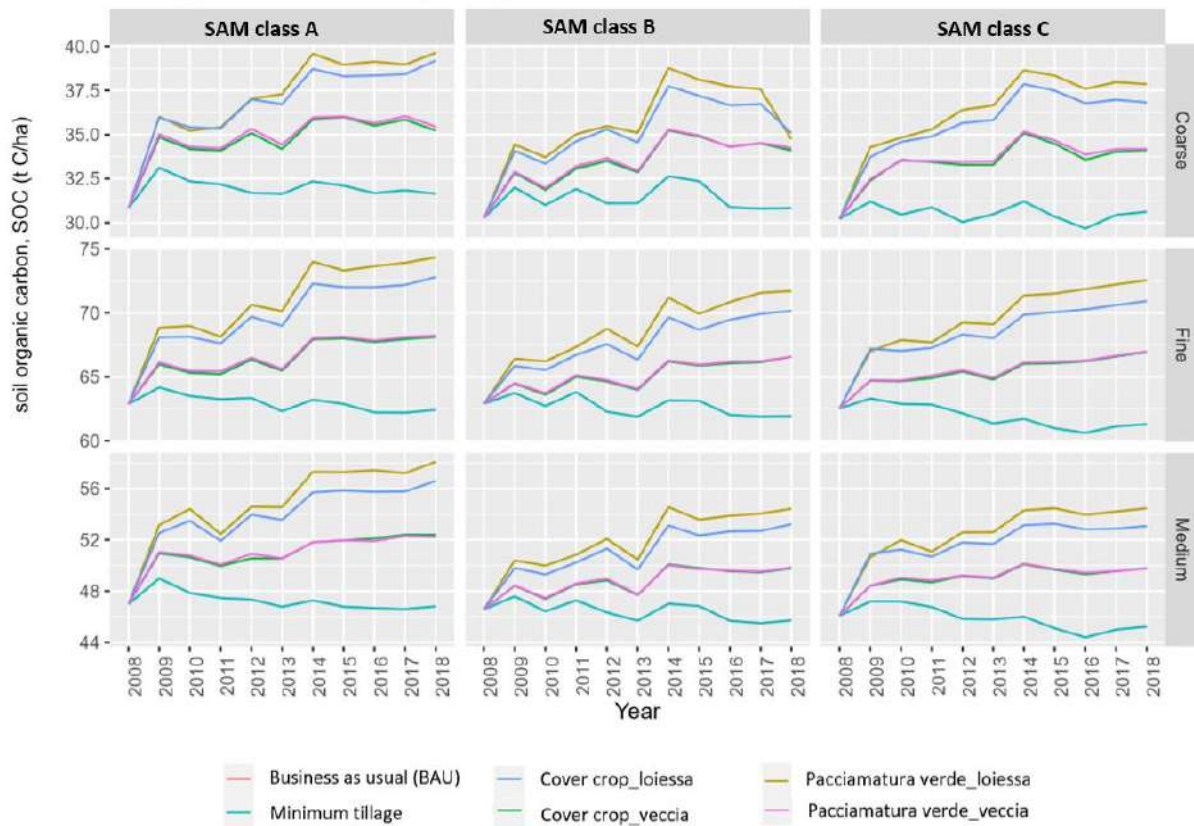


Figura 4. Dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo (soil organic carbon, SOC,  $t C ha^{-1}$ ) nel decennio considerato, riferiti alla profondità di 30 cm, nel caso dell'epoca di semina media. I grafici sono organizzati secondo una griglia con diverse combinazioni di classe di suolo (righe) e classe agroclimatica SAM (colonne).

Analizzando la variazione di stock di C nei primi 30 cm di suolo (SOC,  $t C ha^{-1}$ , Tabella 5) nel decennio considerato rispetto allo scenario baseline (differenza assoluta tra SOC alla fine dell'anno 10 per i diversi scenari gestionali e SOC all'anno 1 dello scenario BAU), il valore medio complessivo di tutti gli scenari gestionali è risultato pari a  $4.6 t C ha^{-1}$ , con valori che variano, rispettivamente per specie leguminose e graminacee, tra  $4.29 t C ha^{-1}$  e  $8.37 t C ha^{-1}$  nel caso di adozione di cover crops, e tra  $4.49 t C ha^{-1}$  e  $8.86 t C ha^{-1}$  nel caso di pacciamatura verde (Tabella 5).



**Tabella 5.** Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo ( $t\ C\ ha^{-1}$ ) nei primi 30 cm di profondità dopo dieci anni di diverse pratiche gestionali rispetto alla baseline (BAU, anno 1).

Sowing	SAM	Soil	Business as usual	Cover crop _ lojessa	Cover crop _ vecchia	Minimum tillage	Pacciamatura _ lojessa	Pacciamatura _ vecchia
Early	B	Coarse	0.881	3.722	1.032	0.885	3.874	1.5148
Early	C	Coarse	0.359	3.464	0.705	0.364	3.6384	1.1602
Early	D	Coarse	2.515	4.902	2.63	2.521	5.0364	3.1004
Early	E	Coarse	3.796	5.393	3.407	3.803	5.6442	4.1094
Late	A	Coarse	2.565	11.323	7.324	2.632	11.8418	7.6844
Late	B	Coarse	2.948	12.096	6.946	2.838	12.688	7.0388
Late	C	Coarse	3.654	12.592	7.761	3.716	13.2884	8.1626
Medium	A	Coarse	0.809	8.804	4.391	0.809	8.3684	4.6058
Medium	B	Coarse	0.57	4.465	3.828	0.57	4.8154	3.976
Medium	C	Coarse	0.408	7.642	3.884	0.408	6.6112	3.9656
Early	B	Fine	-0.685	4.482	1.12	-0.754	4.5556	1.2048
Early	C	Fine	-1.112	4.415	0.876	-1.181	4.4902	1.0024
Early	D	Fine	0.359	4.653	1.562	0.389	4.7226	1.6476
Early	E	Fine	1.991	5.174	2.71	2.033	5.2368	2.838
Late	A	Fine	-0.166	15.794	8.392	-0.077	16.64	8.75
Late	B	Fine	1.672	16.22	8.375	1.727	16.9292	8.6426
Late	C	Fine	2.519	16.452	9.377	2.721	17.2128	9.9626
Medium	A	Fine	-0.443	9.9152	5.24	-0.443	11.462	5.3436
Medium	B	Fine	-0.965	7.2534	3.667	-0.965	8.799	3.6678
Medium	C	Fine	-1.223	8.3812	4.41	-1.223	10.016	4.4504
Early	B	Medium	-0.544	4.03	1.156	-0.53	3.988	0.9844
Early	C	Medium	-1.087	4.002	0.336	-1.073	4.0688	0.51
Early	D	Medium	1.126	5.323	2.488	1.145	5.2894	2.4608
Early	E	Medium	1.939	5.322	2.679	1.958	5.328	2.8474
Late	A	Medium	0.998	14.328	7.882	1.001	14.972	8.2672
Late	B	Medium	0.966	14.152	6.434	0.961	14.6992	6.4808
Late	C	Medium	2.152	13.64	7.75	2.157	14.3336	8.2556
Medium	A	Medium	-0.167	9.6092	5.409	-0.167	11.1	5.2566
Medium	B	Medium	-0.852	6.6402	3.196	-0.852	7.859	3.2604
Medium	C	Medium	-0.846	6.9966	3.706	-0.846	8.385	3.6816
<b>media</b>			<b>0.80</b>	<b>8.37</b>	<b>4.29</b>	<b>0.82</b>	<b>8.86</b>	<b>4.49</b>

Dividendo i valori riportati in Tabella 5 per 10, si ottiene la variazione media annua di SOC ( $t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ ) che permette più facilmente di confrontare i valori riportati con quanto riportato in letteratura per mais.

I risultati ottenuti in questo studio indicano una variazione media annua di SOC compresa tra  $0.2\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  e  $1.33\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  a seguito dell'adozione di cover crops (sia sovesciate che usate per pacciamatura verde, media di tutte le combinazioni SAM× classe di suolo), con valori massimi assoluti pari a  $1.7\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ , in linea con studi sperimentali condotti da diversi autori.



Peng et al., (2023) e Mazzoncini et al. (2011) riportano un incremento medio annuo di SOC dato dall'adozione di cover crop compreso tra  $0.24 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  e  $0.49 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , mentre Locatelli et al. (2020) e Chahal et al. (2020) riportano, rispettivamente, incrementi medi annui di SOC compresi tra  $0.93$  e  $1.68 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  e tra  $1.1$  e  $2.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ . Test condotti in questo studio hanno evidenziato come, nel caso delle semine tardive, era possibile ottenere valori di incremento di SOC più elevati (fino a  $+2.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) terminando la cover crop graminacea un mese prima della semina. Tuttavia, questa soluzione è stata scartata (impostando invece la terminazione della cover crop nelle semine tardive in prefioritura, Tabella 4) per evitare perdite di resa elevate dovute a immobilizzazione dell'N nel suolo (fino a  $-20\%$ ).

Analizzando invece il tasso di variazione media annua nel caso di gestione standard (scenario BAU, Tabella 5), è importante rilevare come, in linea con quanto riportato in letteratura (Menmeng et al., 2023), anche in questo caso non si evidenzia in media una perdita di carbonio nel suolo (valore medio  $+0.8 \text{ t C ha}^{-1}$ , pari a  $+0.08 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ), grazie all'interramento dei residui colturali che nel mais dolce rappresentano una notevole fonte di biomassa.

Perdite di SOC nel caso di gestione BAU si evidenziano solo nel caso di epoche di semina medie (Figura 4, Tabella 5, valore medio pari a  $-0.03 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) in linea con studi condotti su mais con epoca di semina media nel contesto italiano da Mazzoncini et al. (2011). Questi ultimi riportano una perdita di SOC media annua di  $-0.06 \text{ t C ha}^{-1}$  ma con apporti medi di biomassa da residui colturali pari a circa la metà rispetto al contesto di mais dolce qui indagato ( $4.8 \text{ t ha}^{-1}$  di biomassa rispetto a  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ).

Analogamente a quanto riportato per pomodoro da industria, infine, non si evidenziano riduzioni di resa di rilievo per gli scenari gestionali alternativi rispetto a quello *Business as usual* tranne che nel caso delle cover crop graminacee (variazione media di resa rispetto allo scenario BAU pari a  $-7\%$ ) a seguito di stress azotato dovuto ad immobilizzazione dell'azoto nel suolo legato al rapporto C/N più elevato nella biomassa della loiessa rispetto alla veccia. Le maggiori riduzioni di resa si osservano nel caso delle semine tardive, dove le rese in presenza della loiessa sono ridotte dell'8% rispetto allo scenario BAU. Tuttavia, tali perdite di resa possono essere facilmente compensate attraverso un aumento della dose di N distribuita (in media  $50-60 \text{ kg N ha}^{-1}$  in più rispetto allo scenario BAU) che consente di ridurre i fenomeni di immobilizzazione dell'N nel suolo e conseguente stress azotato alla coltura.



## Bibliografia

- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussière, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillère, J.P, Hénault, C., Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.*, 18, 309-332.
- Chahal, I., Vyn, R.J., Mayers, D., Van Eerd, L.L., 2020. Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate. *Sci. Rep.*, 10, 13381.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 147, 36e46.
- Constantin, J., Le Bas, C., Justes, E., 2015. Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil-crop model. *Eur. J. Agron.* 69, 75-87.
- Li, H., Qiu, J., Wang, L., Xu, M., Liu, Z., Wang, W., 2012. Estimates of N<sub>2</sub>O emissions and mitigation potential from a spring maize field based on DNDC model. *J. Integr. Agric.*, 11, 2067-2078.
- Locatelli, J. L., Bratti, F., Ribeiro, R. H., Besen, M. R., Brancaloni, E., Piva, J. T., 2020. Soil carbon sequestration and stocks: short-term impact of maize succession to cover crops in Southern Brazil Inceptisol. *SJAR*, 18, e0304.
- Mazzoncini, M., Sapkota, T.B., Bàrberi, P., Antichi, D., Risaliti, R., 2011. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil Till. Res.* 114, 165-174.
- Mengmeng, X., Zhang, T., Liu, S., Liu, Z., Wang, Z., 2023. Profile soil organic and inorganic carbon sequestration in maize cropland after long-term straw return. *Front. Environ. Sci.*, 11:1095401.
- Peng, Y., Rieke, E. L., Chahal, I., Norris, C. E., Janovicek, K., Mitchell, J. P., Roozeboom, K. L., Hayden, Z. D., Strock, J. S., Machado, S., Sykes, V. R., Deen, B., Tavarez, O.B., Gamble, A. V., Scow, K. M., Brainard, D. C., Millar, N., Johnson, G. A., Schindelbeck, R. R., Kurtz, K. S.M., van Es, H., Kumar, S., Van Eerd, L. L., 2023. Maximizing soil organic carbon stocks under cover cropping: insights from long-term agricultural experiments in North America. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 356, 108599.



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO



## **Azione 2, Task 2.1: Calcolo fissazione simulata per le tre colture di interesse: pomodoro da industria, mais dolce e pero**

Data: 4/06/2024

Autori: Cassandra lab, Università degli Studi di Milano, ESP, Via Celoria 2, 20133 Milano.



## Indice

<b>Task 2.1 Calcolo fissazione simulata</b> .....	3
<b>1. Pomodoro da industria</b> .....	4
1.1. Parametrizzazione del modello colturale .....	4
1.2. Scenari agro-climatici e gestionali.....	5
1.3. Risultati.....	8
<b>2. Mais dolce</b> .....	12
2.1 Parametrizzazione del modello colturale .....	12
2.2. Scenari agro-climatici e gestionali.....	12
2.3. Risultati.....	15
<b>3. Pero</b> .....	19
3.1 Parametrizzazione del modello colturale .....	19
3.2. Scenari agro-climatici e gestionali.....	19
3.3. Risultati - varietà Williams .....	22
3.4. Risultati - varietà Abate Fétel.....	25
<b>Bibliografia</b> .....	27



## Riassunto

L'attività di questo task (2.1), svolto nell'ambito dell'Azione 2, si è focalizzata sulla quantificazione – tramite modelli di simulazione colturali – del potenziale sequestro di carbonio e delle performance agronomiche delle tre colture di interesse (mais dolce, pomodoro e pero) in ciascuno dei diversi contesti agro-climatici e scenari gestionali individuati nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni scenario agro-climatico (81 scenari in tutto), le performance agronomiche e ambientali dei diversi sistemi colturali indagati sono state valutate su serie decennali (date le lente dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo) e in modo comparativo, confrontando lo scenario gestionale standard (BAU, Business as Usual) con gli scenari gestionali alternativi, identificati come maggiormente sostenibili e al tempo stesso effettivamente implementabili nel contesto indagato, quali ad esempio, l'adozione di diverse specie di cover crops. I risultati hanno evidenziato elevate potenzialità in termini di sequestro di carbonio nel suolo per tutte le colture valutate, anche nel caso di colture erbacee. In quest'ultimo caso, i migliori risultati sono stati ottenuti nel caso del mais dolce rispetto al pomodoro da industria. Come atteso, il pero ha evidenziato le maggiori potenzialità, seppur con notevoli margini di miglioramento. Le strategie gestionali testate non hanno infine influenzato negativamente le performance agronomiche dei sistemi colturali testati, evidenziando come una gestione agronomica oculata può consentire di ottenere risultati produttivi soddisfacenti e al tempo stesso, una maggiore sostenibilità ambientale.



## Task 2.1 Calcolo fissazione simulata

L'obiettivo di questo Task riguarda l'analisi – tramite modelli di simulazione colturali - del potenziale sequestro di carbonio e delle performance agronomiche delle colture di interesse (mais dolce, pomodoro, pero) per i diversi contesti agro-climatici e i diversi scenari gestionali individuati nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1).

Per ogni scenario agro-climatico, le performance agronomiche e ambientali dei diversi sistemi colturali indagati sono state valutate in modo comparativo, confrontando lo scenario gestionale standard (BAU, *Business as Usual*) con gli scenari gestionali alternativi, identificati come maggiormente sostenibili e al tempo stesso effettivamente implementabili nel contesto indagato, come dettagliato nel report relativo al Task 1.1. In sintesi, tali pratiche gestionali alternative riguardano:

- per pomodoro da industria e mais dolce:
  1. uso di cover crops (valutando sia leguminose che graminacee);
  2. adozione di pratiche di minima lavorazione;
  3. a livello esplorativo, tecniche di pacciamatura verde nell'interfila;
- per pero:
  1. uso di subirrigazione profonda (per cv. Abate Fétel);
  2. adozione di sovescio nell'interfila (per cv. William);
  3. a livello esplorativo, tecniche di pacciamatura verde nell'interfila (cv. William).

Nel presente documento si riportano i risultati riferiti alle tre colture di interesse ovvero pomodoro da industria, mais dolce e pero.

### 1. Pomodoro da industria

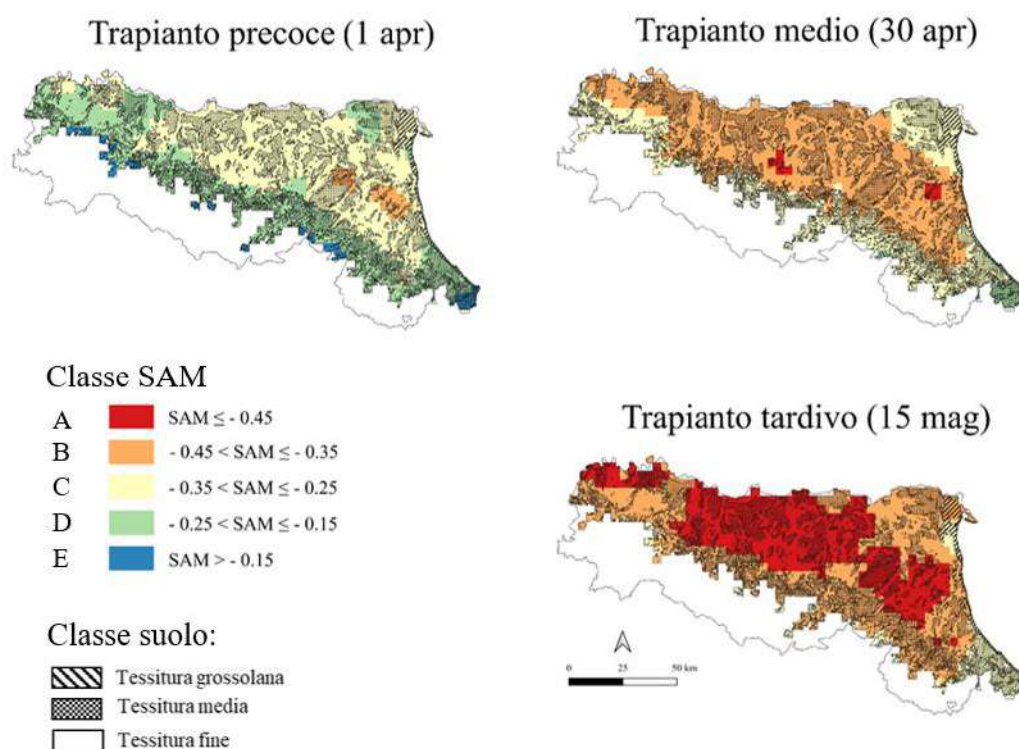
#### 1.1. Parametrizzazione del modello colturale

Come da piano di progetto, il modello utilizzato per l'analisi è STICS (v. 8.3; Brisson et al., 2003). Per quanto riguarda il pomodoro da industria, è stata utilizzata la parametrizzazione già disponibile presso il laboratorio Cassandra lab dell'Università degli Studi di Milano a seguito delle attività condotte in collaborazione con Conserve Italia nell'ambito di progetti svolti in precedenza (FEASR PSR 2014-2020 sottomisura 16.1.01, domanda 5004939).

Per quanto riguarda le due colture di copertura testate – vecchia (*Vicia sativa* L.) come esempio di specie leguminosa e loiessa (*Lolium multiflorum* Lam.) come graminacea – sono state utilizzate le parametrizzazioni disponibili per il modello colturale utilizzato (Constantin et al., 2012 e Constantin et al., 2015).

## 1.2. Scenari agro-climatici e gestionali

A titolo riepilogativo, in Figura 1 si riporta la zonazione agro-climatica definita per pomodoro da industria nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni epoca di trapianto (precoce, media e tardiva) viene riportata la mappa della Regione Emilia Romagna con la zonazione ottenuta intersecando le diverse classi tessiture di suolo (fine, media, grossolana) e la caratterizzazione climatica definita tramite l'indicatore agro-meteorologico SAM (*Synthetic AgroMeteorological indicator*) che caratterizza in modo sintetico lo squilibrio tra precipitazioni e richiesta evapotraspirativa (evapotraspirazione di riferimento, ETO, mm). Tale squilibrio decresce progressivamente procedendo dalla classe "A" – dove i valori di SAM marcatamente negativi indicano un ETO molto maggiore rispetto alle precipitazioni – alla classe "E". Per ogni classe SAM è stata quindi individuata la cella meteo centroide (i.e., cella con SAM prossimo alla mediana dei valori della classe), utilizzata quale unità di simulazione nelle fasi successive dell'analisi.



**Figura 1.** Zonazione ottenuta per pomodoro da industria intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, *Synthetic AgroMeteorological indicator*, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiture di suolo. La zonazione è stata condotta per le diverse epoche di trapianto essendo il periodo di permanenza in campo della coltura diverso.





Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, come descritto nel report relativo al Task 1.1, le mappe tessiturali rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna sono state utilizzate per classificare i suoli della regione in tre categorie: a tessitura fine (argilla > 35% e sabbia < 65%), a tessitura grossolana (argilla < 17.5% e sabbia > 65%) o a media tessitura (tutti i suoli rimanenti).

Le classi ottenute differiscono tra loro anche per il contenuto di azoto organico e di carbonio organico, come riassunto in Tabella 1. Tali informazioni, derivate dalle mappe pedologiche rese disponibili dalla Regione Emilia Romagna, sono state utilizzate per definire i parametri di suolo del modello colturale, al fine di rispecchiare al meglio le condizioni edafiche esplorate dalla coltura nei diversi contesti agro-climatici individuati.

Dall'intersezione della zonazione climatica e di quella dei suoli è stato possibile individuare 28 contesti agro-climatici, 11 per i trapianti precoci, 8 per i medi e 9 per i tardivi.

Per quanto riguarda la gestione agronomica, il modello è stato impostato in modo da rispecchiare le strategie gestionali definite nell'Azione 1, sia per lo scenario baseline (BAU, *Business as Usual*) che per gli scenari gestionali alternativi. Il dettaglio relativo alle impostazioni di management utilizzate nelle simulazioni è riportato in Tabella 2.

**Tabella 1.** Parametrizzazione dei suoli considerati.

Parametro	Classe tessiturale		
	Grossolana	Media	Fine
Argilla (%):	8	26	43
Norg. (% d.w.):	0.052	0.091	0.13
SOC (%):	0.8	1.4	2
C/N :	9	9	9

**Tabella 2.** Informazioni gestionali utilizzate per le diverse colture.

Coltura	Intervento	Modalità	Note
Pomodoro	Irrigazione	Fertirrigazione	Irrigazione a goccia, frequenza definita in modo dinamico tramite soglia di intervento <sup>a</sup> .
	Concimazione	Azoto fornito al momento del trapianto e via fertirrigazione	Concime utilizzato: urea.
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura <sup>b</sup>	Aratura a 30 cm un mese prima del trapianto, erpicatura a 10 cm il giorno prima del trapianto
	Residui colturali	Interramento	Tramite aratura <sup>d</sup> a 30 cm
Cover crops	Irrigazione	Nessuna	
	Concimazione	Nessuna	
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura	Per interramento dei residui della coltura principale e preparazione del letto di semina; profondità pari a
	Residui colturali	Interramento <sup>c</sup>	Tramite aratura a 30 cm un mese prima del trapianto del pomodoro

<sup>a</sup>: soglia di intervento: rapporto tra evapotraspirazione potenziale e reale pari a 0.8. Soglia definita tramite calibrazione in modo da rispecchiare la frequenza di intervento attualmente utilizzata nell'areale di interesse.

<sup>b</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con minima lavorazione. In tal caso è stata impostata solo un'erpicatura a 5 cm.

<sup>c</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con pacciamatura verde. In tal caso la biomassa della coltura di copertura non viene interrata ma lasciata in superficie.

<sup>d</sup>: se il pomodoro è seguito da cover crop, l'aratura di interramento dei residui colturali è la stessa utilizzata per la preparazione del letto di semina della coltura di copertura.



La valutazione dei diversi scenari gestionali è stata condotta tramite simulazioni continue per un arco temporale decennale (2008-2018, il primo anno per inizializzazione del modello), al fine di rendere apprezzabili le variazioni di contenuto di carbonio organico nei suoli. Si è evitato di considerare dinamiche temporali di maggiore durata per evitare un effetto confondente dovuto a variazioni climatiche di lungo termine. La serie decennale analizzata inizia nel 2008 poiché il dato di contenuto di carbonio organico nei suoli utilizzato per l'inizializzazione del modello è stato derivato dal database messo a disposizione della Regione Emilia Romagna, il cui periodo di riferimento si conclude nel 2007.

Durante le simulazioni in successione il modello utilizza i parametri edafici dell'anno precedente per la simulazione successiva, permettendo così una valutazione in continuo delle dinamiche dell'acqua, dell'azoto e del carbonio nel suolo nel lungo periodo.

Le successioni colturali valutate nei diversi scenari gestionali, selezionate nell'ambito dell'Azione 1 come potenzialmente vantaggiose per l'accumulo di carbonio nel suolo, sono state le seguenti:

- scenario "*Business as usual*": pomodoro/ suolo nudo;
- scenario "*Minima lavorazione*": come il precedente ma senza aratura;
- scenario "*Cover crop*": pomodoro/veccia oppure pomodoro/loiessa;
- scenario "*Pacciamatura verde interfila*": a titolo esplorativo, come il precedente ma con terminazione conservativa della cover crop (senza interrimento) nell'interfila e lavorazione sulle file (*strip tillage*). Il risultato è un suolo lavorato sul 60% della superficie e una pacciamatura verde sul restante 40%. Da notare come nell'analisi non vengono considerate possibili interazioni nelle dinamiche di C, N e acqua tra la porzione di suolo con pacciamatura verde e quella con cover crop interrata.

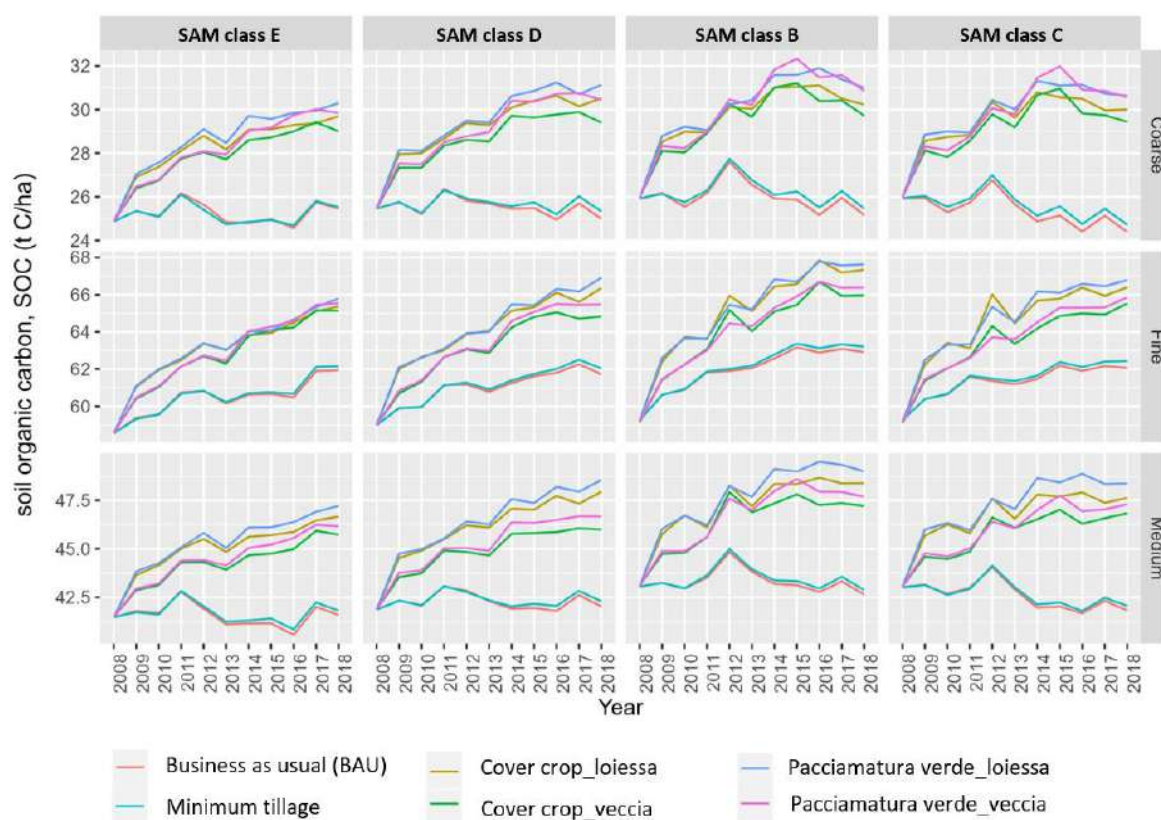
Le diverse strategie gestionali sono state valutate considerando diverse variabili di performance del sistema colturale, non solo aspetti legati alla produzione agricola e al sequestro di CO<sub>2</sub>, ma anche quelli legati ai consumi idrici e azotati.

### **1.3. Risultati**

In questo report vengono di seguito commentati e riportati brevemente solo i dati con le dinamiche di maggior rilievo, mentre tutti i dati sono forniti tramite i file Excel allegati. L'analisi e discussione completa dei dati verrà presentata nel report finale complessivo.

Per quanto riguarda le dinamiche del carbonio organico nel suolo (Figura 2), i risultati hanno evidenziato chiari benefici dati dall'adozione di colture di copertura, sia leguminose che graminacee, con un progressivo aumento del contenuto di carbonio stoccato. I benefici maggiori si hanno nel caso dell'adozione di pacciamatura verde rispetto all'interrimento integrale della cover crop, e con l'uso di specie graminacee rispetto alle leguminose a causa del rapporto C/N maggiore della loro biomassa che ne rallenta la degradazione. La minima lavorazione di per sé (non abbinata a cover crop come nel caso dello strip tillage della pacciamatura verde) invece non ha effetti di rilievo, con un contenuto di C del suolo solo leggermente più alto rispetto allo scenario baseline (BAU). In media, l'aumento di stock di C nei primi 30 cm di suolo (t C ha<sup>-1</sup>) dopo 10 anni rispetto allo scenario baseline

(BAU, anno 1) nel caso di adozione di cover crop varia tra il 3.4 t C ha<sup>-1</sup> e 11.4 t C ha<sup>-1</sup> mentre con l'adozione di tecniche di pacciamatura verde varia tra 4.2 t C ha<sup>-1</sup> e 12.6 t C ha<sup>-1</sup> (Tabella 3). In quest'ultimo caso il potenziale accumulo di C è leggermente maggiore per dinamiche di degradazione della biomassa lasciata in superficie più lente rispetto all'interramento. In generale, queste considerazioni si ripropongono in tutti gli scenari agro-climatici considerati. Per quanto riguarda la tessitura, si evidenzia un chiaro effetto sul potenziale stoccaggio di C non solo sui valori di partenza (Figura 2) ma anche, seppur in misura minore, sulle dinamiche dell'accumulo C nel suolo negli anni con una possibile perdita di C negli anni nel caso dello scenario BAU e minimum tillage nei suoli più grossolani rispetto ai suoli con tessitura media e fine. Per quanto riguarda l'epoca di trapianto, l'incremento di C nel suolo è leggermente maggiore nei trapianti medi e tardivi (Tabella 3), a causa di una terminazione della cover crop più tardiva che determina una biomassa vegetale interrata maggiore e con un rapporto C/N più elevato.



**Figura 2:** Dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo (soil organic carbon, SOC, t C/ha) nel decennio considerato (2008-2018) riferiti alla profondità di 30 cm. Esempio riferito ai trapianti precoci. I grafici sono organizzati secondo una griglia data dalla combinazione tra classe di suolo (righe) e classe agro-climatica SAM (colonne).



Tali considerazioni valgono per tutte le altre variabili legate al carbonio nel suolo. Ad esempio l'incremento di contenuto di sostanza organica (SOM, %) nel decennio interessato dalle diverse pratiche gestionali varia tra 0.14% e 0.44% nel caso di cover crop e tra 0.165 e 0.49% nel caso della pacciamatura verde. La minima lavorazione di per sé non mostra effetti di rilievo con variazioni comprese tra -0.1 e +0.2%, analogamente allo scenario BAU (range tra -0.11% e +0.19%).

**Tabella 3.** *Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo (t C ha<sup>-1</sup>) nei primi 30 cm di profondità dopo dieci anni di diverse pratiche gestionali rispetto alla baseline (BAU, anno 1).*

	Trapianto	SAM	Soil	Business as usual	Cover crop_loiessa	Cover crop_veccia	Minimum tillage	Pacciamatura_loiessa	Pacciamatura_veccia
Precoce E	Coarse	0.583	4.822	4.126	0.649	5.4188	4.9672		
Precoce D	Coarse	-0.467	5.05	3.939	-0.133	5.67	4.9698		
Precoce B	Coarse	-0.764	4.304	3.796	-0.466	5.07	4.9328		
Precoce C	Coarse	-1.552	4.058	3.489	-1.219	4.6888	4.6154		
Tardivo B	Coarse	-0.9	7.576	6.877	-0.917	8.6104	8.2782		
Tardivo A	Coarse	-1.829	8.345	7.131	-1.91	9.4134	7.9694		
Tardivo C	Coarse	-2.554	6.698	5.973	-2.568	7.6812	6.8022		
Medio D	Coarse	-0.979	7.245	6.674	-0.605	8.2946	8.0804		
Medio B	Coarse	1.137	8.834	5.899	1.351	9.9452	6.8462		
Medio A	Coarse	-0.067	8.652	6.943	0.257	9.7376	7.755		
Medio C	Coarse	4.916	10.242	7.786	5.118	11.0556	9.166		
Precoce E	Fine	3.38	6.807	6.59	3.612	7.2398	6.9876		
Precoce D	Fine	2.73	7.365	5.841	3.043	7.9158	6.483		
Precoce B	Fine	3.675	8.111	6.737	3.967	8.3998	7.149		
Precoce C	Fine	2.807	7.135	6.264	3.167	7.527	6.5968		
Tardivo B	Fine	0.03	9.668	8.288	0.044	10.5764	8.7412		
Tardivo A	Fine	0.506	11.339	8.405	0.544	12.6774	8.8226		
Tardivo C	Fine	-1.344	8.808	6.047	-1.311	9.8588	6.3658		
Medio D	Fine	-0.455	5.596	7.163	-0.1	6.3388	7.517		
Medio B	Fine	0.027	6.472	4.841	0.292	6.79	5.263		
Medio A	Fine	0.835	7.221	6.693	1.166	7.7566	7.181		
Medio C	Fine	4.839	7.86	7.897	5.001	7.8216	8.1474		
Precoce E	Medium	0.117	5.204	4.264	0.339	5.7484	4.6932		
Precoce D	Medium	0.173	6.089	4.131	0.43	6.687	4.8082		
Precoce B	Medium	-0.423	5.328	4.144	-0.186	5.932	4.6312		
Precoce C	Medium	-1.204	4.598	3.814	-0.967	5.346	4.2696		
Tardivo B	Medium	-1.341	8.478	6.697	-1.342	9.5852	7.6362		
Tardivo A	Medium	-1.995	9.063	6.816	-1.997	10.225	7.198		
Tardivo C	Medium	-2.777	7.553	5.228	-2.725	8.4798	5.9436		
Medio D	Medium	-2.793	5.598	5.444	-2.375	6.3876	6.166		
Medio B	Medium	-1.319	7.269	4.101	-0.896	7.8798	4.5342		
Medio A	Medium	-1.712	7.14	5.294	-1.214	7.8536	5.9468		
Medio C	Medium	2.929	8.172	6.518	3.11	8.4584	7.1812		



Per quanto riguarda le performance agronomiche, non si evidenziano riduzioni di resa di rilievo tranne che nel caso delle cover crop con graminacee (valori medio di riduzione pari a -7.7%) a seguito di stress azotato dovuto ad immobilizzazione dell'azoto nel suolo (a causa del rapporto C/N più elevato nella biomassa della loiessa rispetto alla vecchia) e ad un volume irriguo inferiore (probabilmente dovuto ad una maggiore ritenzione idrica grazie al maggiore contenuto di sostanza organica nel suolo e ad una minore evaporazione del suolo) che, nel caso della fertirrigazione, determina anche una riduzione dell'N distribuito. In tal caso una compensazione con un aumento della concimazione (circa  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) è sufficiente a riportare le rese a valori del tutto comparabili con lo scenario baseline (BAU).



## 2. Mais dolce

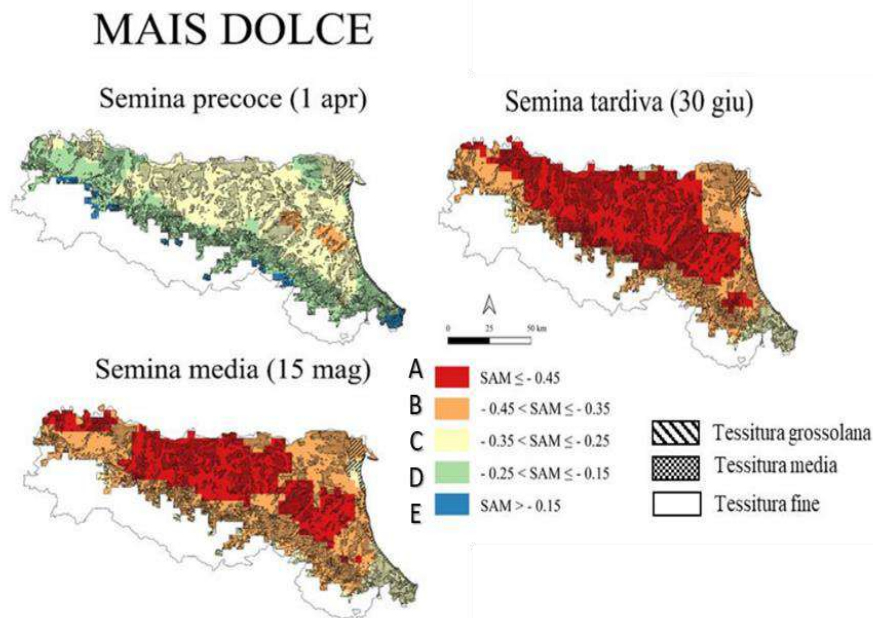
### 2.1 Parametrizzazione del modello colturale

Analogamente a quanto riportato per il pomodoro da industria, il modello colturale utilizzato per l'analisi è STICS (v. 8.3; Brisson et al., 2003), già parametrizzato per mais dolce da Cassandra lab nell'ambito di progetti svolti in precedenza in collaborazione con Conserve Italia (FEASR PSR 2014-2020 sottomisura 16.1.01, domanda 5004939).

Anche le parametrizzazioni per le due colture di copertura testate (vecchia e loiessa) sono le medesime utilizzate per pomodoro da industria (Constantin et al., 2012 e Constantin et al., 2015).

### 2.2. Scenari agro-climatici e gestionali

In Figura 1 si riporta la zonazione agro-climatica definita per mais dolce nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Per ogni epoca di semina (precoce, media e tardiva) viene riportata la zonazione ottenuta intersecando le diverse classi tessiturali di suolo (fine, media, grossolana) e la caratterizzazione agro-climatica ottenuta tramite l'indicatore agro-meteorologico SAM (*Synthetic AgroMeteorological indicator*) che permette di caratterizzare in modo sintetico lo squilibrio tra precipitazioni e richiesta evapotraspirativa (evapotraspirazione di riferimento,  $ET_0$ , mm). Tale squilibrio decresce progressivamente procedendo dalla classe "A" – dove i valori di SAM marcatamente negativi indicano un  $ET_0$  molto maggiore rispetto alle precipitazioni – alla classe "E". Analogamente a quanto descritto per pomodoro da industria, per ogni classe SAM è stata individuata la cella meteo centroide (i.e., cella con SAM prossimo alla mediana dei valori della classe), utilizzata quale unità di simulazione nelle fasi successive dell'analisi.



**Figura 3:** Zonazione per il mais dolce ottenuta intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, Synthetic AgroMeteorological indicator, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiturali di suolo. La zonazione è stata condotta per le diverse epoca di trapianto essendo il periodo di permanenza in campo della coltura diverso.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, sono state utilizzate le medesime mappe tessiturali descritte per la zonazione del pomodoro da industria, classificando i suoli come fini, medi, o grossolani in relazione alla loro tessitura (fini: argilla > 35% e sabbia < 65%); grossolani: argilla < 17.5% e sabbia > 65%; medi: tutti i suoli rimanenti). Per ogni classe tessiturale, è stata utilizzata la parametrizzazione riportata per pomodoro in Tabella 1. Dall'intersezione della zonazione climatica e della classificazione dei suoli sono stati individuati 29 contesti agro-climatici, 11 per le semine precoci, 9 per le semine medie e 9 per quelle tardive.

Per quanto riguarda la gestione agronomica, il modello è stato impostato in modo da rispecchiare le strategie gestionali definite nell'Azione 1, sia per lo scenario baseline (BAU, *Business as Usual*) che per gli scenari gestionali alternativi, come dettagliato in Tabella 4.



**Tabella 4.** Informazioni gestionali utilizzate per le diverse colture.

Coltura	Intervento	Modalità	Note
Mais	Irrigazione	Irrigazione per aspersione	Frequenza definita in modo dinamico tramite soglia di intervento <sup>a</sup> .
	Concimazione	Azoto fornito al momento del trapianto e in due interventi di copertura.	Concime utilizzato: urea. Prima copertura allo stadio v3, seconda copertura allo stadio v5
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura <sup>b</sup>	Aratura a 30 cm un mese prima della semina, erpicatura a 10 cm il giorno prima della semina
	Residui colturali	Interramento	Tramite aratura <sup>d</sup> a 30 cm
Cover crops	Irrigazione	Nessuna	
	Concimazione	Nessuna	
	Lavorazioni	Aratura ed erpicatura	Per interramento dei residui della coltura principale e preparazione del letto di semina; profondità pari a rispettivamente a 30 cm e 10 cm
	Residui colturali	Interramento <sup>c</sup>	Tramite aratura a 30 cm un mese prima della semina del mais (semine precoci e medie) o comunque in prefioritura (semine tardive)

<sup>a</sup>: soglia di intervento: rapporto tra evapotraspirazione potenziale e reale pari a 0.6. Soglia definita tramite calibrazione in modo da rispecchiare la frequenza di intervento attualmente utilizzata nell'areale di interesse.

<sup>b</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con minima lavorazione. In tal caso è stata impostata solo un'erpicatura a 5 cm.

<sup>c</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con pacciamatura verde. In tal caso la biomassa della coltura di copertura non viene interrata ma lasciata in superficie.

<sup>d</sup>: se il mais è seguito da cover crop, l'aratura di interramento dei residui colturali è la stessa utilizzata per la preparazione del letto di semina della coltura di copertura.



Analogamente a quanto descritto per pomodoro da industria, la valutazione dei diversi scenari gestionali è stata condotta per un arco di temporale decennale (2008-2018), con anno di avvio definito in base al riferimento temporale del contenuto di carbonio organico nei suoli utilizzato per l'inizializzazione del modello (database Regione Emilia Romagna). Come per lo studio sul pomodoro, il modello utilizza i dati edafici dell'anno precedente per la simulazione successiva, permettendo così una valutazione in continuo delle dinamiche di acqua, C e N nel suolo di lungo periodo.

Le successioni colturali valutate nei diversi scenari gestionali sono le stesse già descritte per pomodoro da industria:

- scenario "*Business as usual*": mais/suolo nudo;
- scenario "*Minima lavorazione*": come il precedente ma senza aratura;
- scenario "*Cover crop*": mais/veccia oppure mais/loiessa, con terminazione della cover crop tramite aratura;
- scenario "*Pacciamatura verde*", a titolo esplorativo, con terminazione conservativa della cover crop (senza aratura) e lavorazione lungo la fila ("*strip tillage*").

Le diverse strategie gestionali sono state valutate considerando diverse variabili di performance del sistema colturale, non solo aspetti legati alla produzione agricola e al sequestro di CO<sub>2</sub>, ma anche quelli legati ai consumi idrici e azotati.

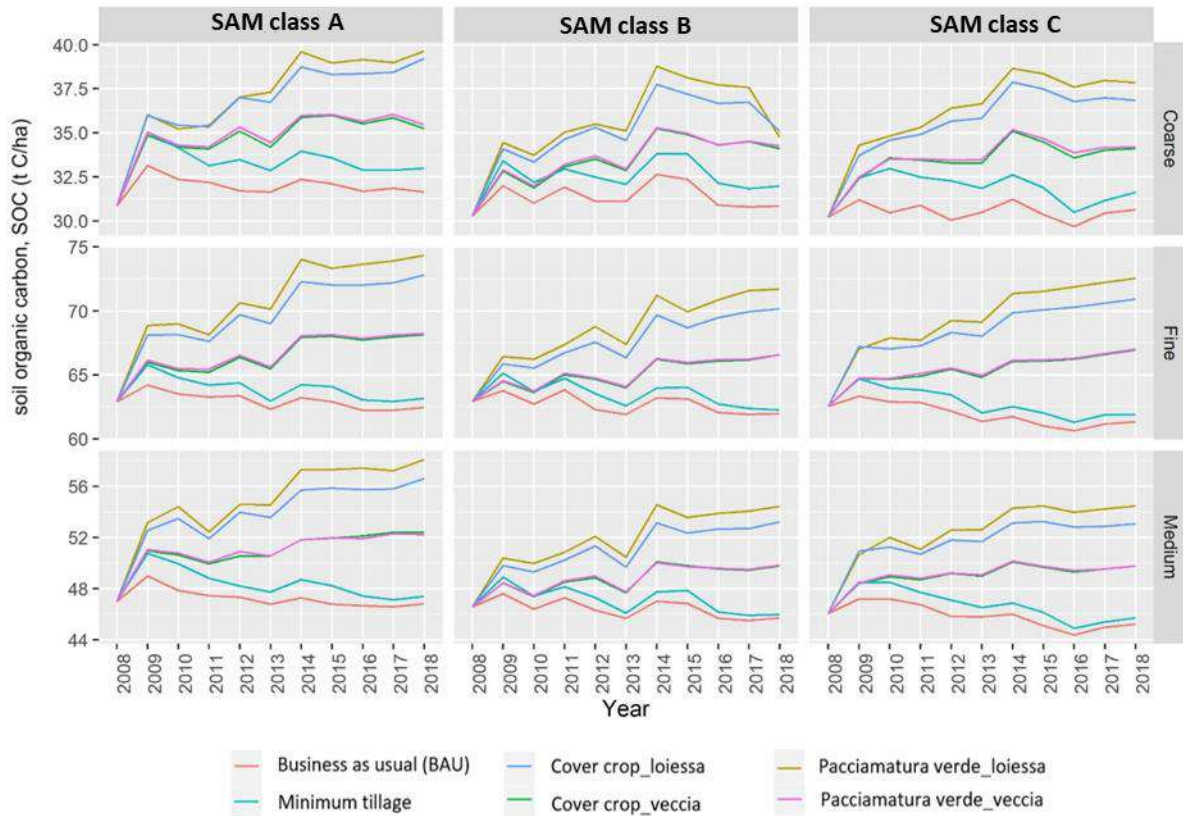
### **2.3. Risultati**

Di seguito vengono riportate e commentate solo le variabili di maggior rilievo, mentre tutti i dati sono forniti tramite i file Excel allegati al presente documento.

Per quanto riguarda le dinamiche del carbonio organico nel suolo in risposta a diverse pratiche gestionali (SOC, t C ha<sup>-1</sup>, Figura 4), i risultati evidenziano chiari benefici dall'adozione di colture di copertura, sia leguminose che graminacee, con un progressivo aumento del contenuto di carbonio stoccato nel suolo.

Analogamente a quanto osservato per pomodoro, anche nel mais l'incremento di sostanza organica più elevato si rileva nel caso di cover crop graminacee, grazie al maggiore accumulo di biomassa rispetto alla veccia e, soprattutto, al rapporto C/N maggiore che ne rallenta la degradazione. Per quanto riguarda la pacciamatura verde, nel caso della veccia l'incremento di carbonio stoccato nel suolo risulta molto simile a quanto ottenuto nello scenario con cover crop interrata. Questa dinamica è legata all'uso di irrigazione per aspersione in mais che, a differenza della microirrigazione utilizzata su pomodoro, bagna anche l'interfila favorendo così la degradazione della sostanza organica accumulata in superficie. Nel caso della pacciamatura verde con specie graminacee, invece, si evidenziano comunque benefici grazie ad una biomassa più recalcitrante la degradazione come descritto in precedenza (rapporto C/N più elevato).

Per quanto riguarda la minima lavorazione, come osservato per pomodoro essa di per sé (non abbinata a cover crops come nel caso della pacciamatura verde) non ha effetti di rilievo, con un contenuto di C del suolo molto simile allo scenario baseline (BAU).



**Figura 4.** Dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo (soil organic carbon, SOC,  $t C ha^{-1}$ ) nel decennio considerato, riferiti alla profondità di 30 cm, nel caso dell'epoca di semina media. I grafici sono organizzati secondo una griglia con diverse combinazioni di classe di suolo (righe) e classe agroclimatica SAM (colonne).

Analizzando la variazione di stock di C nei primi 30 cm di suolo (SOC,  $t C ha^{-1}$ , Tabella 5) nel decennio considerato rispetto allo scenario baseline (differenza assoluta tra SOC alla fine dell'anno 10 per i diversi scenari gestionali e SOC all'anno 1 dello scenario BAU), il valore medio complessivo di tutti gli scenari gestionali è risultato pari a  $4.6 t C ha^{-1}$ , con valori che variano, rispettivamente per specie leguminose e graminacee, tra  $4.29 t C ha^{-1}$  e  $8.37 t C ha^{-1}$  nel caso di adozione di cover crops, e tra  $4.49 t C ha^{-1}$  e  $8.86 t C ha^{-1}$  nel caso di pacciamatura verde (Tabella 5).



**Tabella 5.** Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo ( $t C ha^{-1}$ ) nei primi 30 cm di profondità dopo dieci anni di diverse pratiche gestionali rispetto alla baseline (BAU, anno 1).

Sowing	SAM	Soil	Business as usual	Cover crop _lojessa	Cover crop _vecchia	Minimum tillage	Pacciamatura _lojessa	Pacciamatura _vecchia
Early	B	Coarse	0.881	3.722	1.032	0.885	3.874	1.5148
Early	C	Coarse	0.359	3.464	0.705	0.364	3.6384	1.1602
Early	D	Coarse	2.515	4.902	2.63	2.521	5.0364	3.1004
Early	E	Coarse	3.796	5.393	3.407	3.803	5.6442	4.1094
Late	A	Coarse	2.565	11.323	7.324	2.632	11.8418	7.6844
Late	B	Coarse	2.948	12.096	6.946	2.838	12.688	7.0388
Late	C	Coarse	3.654	12.592	7.761	3.716	13.2884	8.1626
Medium	A	Coarse	0.809	8.804	4.391	2.142	8.3684	4.6058
Medium	B	Coarse	0.57	4.465	3.828	1.695	4.8154	3.976
Medium	C	Coarse	0.408	7.642	3.884	1.41	6.6112	3.9656
Early	B	Fine	-0.685	4.482	1.12	-0.754	4.5556	1.2048
Early	C	Fine	-1.112	4.415	0.876	-1.181	4.4902	1.0024
Early	D	Fine	0.359	4.653	1.562	0.389	4.7226	1.6476
Early	E	Fine	1.991	5.174	2.71	2.033	5.2368	2.838
Late	A	Fine	-0.166	15.794	8.392	-0.077	16.64	8.75
Late	B	Fine	1.672	16.22	8.375	1.727	16.9292	8.6426
Late	C	Fine	2.519	16.452	9.377	2.721	17.2128	9.9626
Medium	A	Fine	-0.443	9.9152	5.24	0.252	11.462	5.3436
Medium	B	Fine	-0.965	7.2534	3.667	-0.663	8.799	3.6678
Medium	C	Fine	-1.223	8.3812	4.41	-0.679	10.016	4.4504
Early	B	Medium	-0.544	4.03	1.156	-0.53	3.988	0.9844
Early	C	Medium	-1.087	4.002	0.336	-1.073	4.0688	0.51
Early	D	Medium	1.126	5.323	2.488	1.145	5.2894	2.4608
Early	E	Medium	1.939	5.322	2.679	1.958	5.328	2.8474
Late	A	Medium	0.998	14.328	7.882	1.001	14.972	8.2672
Late	B	Medium	0.966	14.152	6.434	0.961	14.6992	6.4808
Late	C	Medium	2.152	13.64	7.75	2.157	14.3336	8.2556
Medium	A	Medium	-0.167	9.6092	5.409	0.417	11.1	5.2566
Medium	B	Medium	-0.852	6.6402	3.196	-0.593	7.859	3.2604
Medium	C	Medium	-0.846	6.9966	3.706	-0.366	8.385	3.6816
<b>media</b>			<b>0.80</b>	<b>8.37</b>	<b>4.29</b>	<b>1.03</b>	<b>8.86</b>	<b>4.49</b>



Dividendo i valori riportati in Tabella 5 per 10, si ottiene la variazione media annua di SOC ( $\text{t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) che permette più facilmente di confrontare i valori riportati con quanto riportato in letteratura per mais.

I risultati ottenuti in questo studio indicano una variazione media annua di SOC compresa tra  $0.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  e  $1.33 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  a seguito dell'adozione di cover crops (sia sovesciate che usate per pacciamatura verde, media di tutte le combinazioni SAM× classe di suolo), con valori massimi assoluti pari a  $1.7 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , in linea con studi sperimentali condotti da diversi autori.

Peng et al., (2023) e Mazzoncini et al. (2011) riportano un incremento medio annuo di SOC dato dall'adozione di cover crop compreso tra  $0.24 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  e  $0.49 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ , mentre Locatelli et al. (2020) e Chahal et al. (2020) riportano, rispettivamente, incrementi medi annui di SOC compresi tra  $0.93$  e  $1.68 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$  e tra  $1.1$  e  $2.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ . Test condotti in questo studio hanno evidenziato come, nel caso delle semine tardive, era possibile ottenere valori di incremento di SOC più elevati (fino a  $+2.2 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) terminando la cover crop graminacea un mese prima della semina. Tuttavia, questa soluzione è stata scartata (impostando invece la terminazione della cover crop nelle semine tardive in prefioritura, Tabella 4) per evitare perdite di resa elevate dovute a immobilizzazione dell'N nel suolo (fino a  $-20\%$ ).

Analizzando invece il tasso di variazione media annua nel caso di gestione standard (scenario BAU, Tabella 5), è importante rilevare come, in linea con quanto riportato in letteratura (Menmeng et al., 2023), anche in questo caso non si evidenzia in media una perdita di carbonio nel suolo (valore medio  $+0.8 \text{ t C ha}^{-1}$ , pari a  $+0.08 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ), grazie all'interramento dei residui colturali che nel mais dolce rappresentano una notevole fonte di biomassa.

Perdite di SOC nel caso di gestione BAU si evidenziano solo nel caso di epoche di semina medie (Figura 4, Tabella 5, valore medio pari a  $-0.03 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ) in linea con studi condotti su mais con epoca di semina media nel contesto italiano da Mazzoncini et al. (2011). Questi ultimi riportano una perdita di SOC media annua di  $-0.06 \text{ t C ha}^{-1}$  ma con apporti medi di biomassa da residui colturali pari a circa la metà rispetto al contesto di mais dolce qui indagato ( $4.8 \text{ t ha}^{-1}$  di biomassa rispetto a  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ).

Analogamente a quanto riportato per pomodoro da industria, infine, non si evidenziano riduzioni di resa di rilievo per gli scenari gestionali alternativi rispetto a quello *Business as usual* tranne che nel caso delle cover crop graminacee (variazione media di resa rispetto allo scenario BAU pari a  $-7\%$ ) a seguito di stress azotato dovuto ad immobilizzazione dell'azoto nel suolo legato al rapporto C/N più elevato nella biomassa della loiessa rispetto alla veccia. Le maggiori riduzioni di resa si osservano nel caso delle semine tardive, dove le rese in presenza della loiessa sono ridotte dell'8% rispetto allo scenario BAU. Tuttavia, tali perdite di resa possono essere facilmente compensate attraverso un aumento della dose di N distribuita (in media  $50\text{-}60 \text{ kg N ha}^{-1}$  in più rispetto allo scenario BAU) che consente di ridurre i fenomeni di immobilizzazione dell'N nel suolo e conseguente stress azotato alla coltura.



### 3. Pero

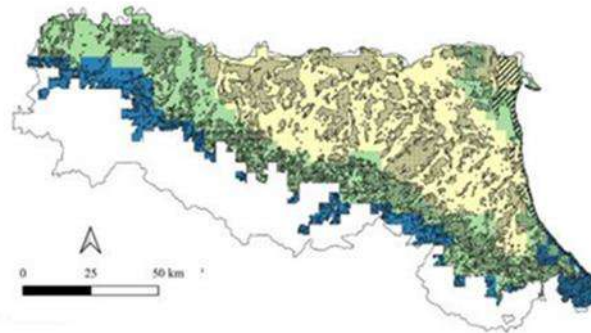
#### 3.1 Parametrizzazione del modello colturale

Analogamente a quanto riportato per il pomodoro da industria e per il mais dolce, il modello colturale utilizzato per l'analisi è STICS (Brisson et al., 2003). Il modello è stato parametrizzato per pero raffinando la parametrizzazione già disponibile per melo (Chen et al., 2023) utilizzando dati ottenuti da letteratura scientifica (Wu et al, 2013; Sheren et al, 2015; Choi et al., 2014; Wang et al., 2022) e i dati di resa forniti da Conserve Italia. Il confronto tra dati osservati e simulati ha permesso di evidenziare come il modello sia in grado di riprodurre in modo molto soddisfacente la coltura nell'area studio. Nello specifico, per quanto riguarda la resa, il modello ha evidenziato in valore di RMSE pari a 29.5, un errore medio assoluto (MAE) pari a  $1 \text{ t ha}^{-1}$ , un'efficienza modellistica (Nasch-Sutcliffe Modelling efficiency) pari a 0.42, con un'assenza di sovra- o sotto-stime sistematiche come evidenziato dal coefficiente di massa residua prossimo a 0 (CRM, valore ottenuto pari a 0.06).

Per quanto riguarda invece le parametrizzazioni per le due colture di copertura testate (veccia e loiessa), sono state utilizzate le medesime citate per pomodoro da industria e mais dolce (Constantin et al., 2012 e Constantin et al., 2015). La parametrizzazione del prato stabile è invece stata ottenuta raffinando la parametrizzazione di STICS disponibile per festuca con dati riportati in letteratura (Lilly et. Al, 2015).

#### 3.2. Scenari agro-climatici e gestionali

In Figura 5 viene riportata la zonazione agro-climatica definita per il pero nell'ambito dell'Azione 1 (Task 1.1). Tale caratterizzazione del contesto agro-climatico esplorato è stata ottenuta intersecando le diverse classi tessiturali di suolo (fine, media, grossolana) e le classi agro-climatiche ottenute tramite l'indicatore agro-meteorologico SAM (*Synthetic AgroMeteorological indicator*), un indice sintetico dello squilibrio tra precipitazioni e evapotraspirazione di riferimento (ET<sub>0</sub>). Tale squilibrio decresce progressivamente procedendo dalla classe "A" – dove i valori di SAM negativi indicano un ET<sub>0</sub> molto maggiore rispetto alle precipitazioni – alla classe "E". Analogamente a quanto descritto per pomodoro da industria e mais dolce, per ogni classe SAM è stata individuata la cella meteo centroide (i.e., cella con SAM prossimo alla mediana dei valori della classe), utilizzata quale unità di simulazione nelle fasi successive dell'analisi.



## Classe SAM

A		$SAM \leq -0.45$
B		$-0.45 < SAM \leq -0.35$
C		$-0.35 < SAM \leq -0.25$
D		$-0.25 < SAM \leq -0.15$
E		$SAM > -0.15$

## Classe suolo:

	Tessitura grossolana
	Tessitura media
	Tessitura fine

**Figura 5:** Zonazione per il pero ottenuta intersecando informazioni agro-climatiche (SAM, Synthetic AgroMeteorological indicator, Confalonieri et al., 2010) e classi tessiturali di suolo.

Per quanto riguarda le caratteristiche dei suoli, è stata utilizzata la stessa classificazione descritta per pomodoro da industria e mais dolce, che raggruppa i suoli in tre classi in relazione alla loro tessitura: fini: argilla > 35% e sabbia < 65%; grossolani: argilla < 17.5% e sabbia > 65%; medi: tutti i suoli rimanenti. Per ogni classe tessiturale, è stata utilizzata la parametrizzazione riportata in Tabella 1. Dall'intersezione della zonazione climatica e della classificazione dei suoli sono stati individuati 9 contesti agro-climatici, per ciascuno dei quali le simulazioni sono state condotte separatamente per la varietà Williams e la varietà Abate, vista la diversa gestione dei residui di potatura e dell'interfila nelle due varietà (vedi Report Azione 1 per maggiori dettagli). Per quanto riguarda la gestione agronomica, il modello è stato impostato in modo da rispecchiare le strategie gestionali definite nell'Azione 1, sia per lo scenario baseline (BAU, *Business as Usual*) che per gli scenari gestionali alternativi, come dettagliato in Tabella 6.

**Tabella 6.** Informazioni gestionali utilizzate per l'analisi su pero.

Coltura	Intervento	Modalità	Note
Pero	Irrigazione	Irrigazione a goccia	Frequenza definita in modo dinamico tramite soglia di intervento <sup>a</sup> .
	Concimazione	Concimazione organica invernale Azoto minerale fornito tramite fertirrigazione.	Concime minerale utilizzato: urea.
	Gestione interfila	Inerbimento permanente con trinciatura periodica per Williams, suolo lavorato senza inerbimento per Abate Fétel	
	Residui colturali	Trinciatura e interrimento (Abate Fétel) o asportazione (Williams)	
Cover crops	Irrigazione	Nessuna	
	Concimazione	Nessuna	
	Lavorazioni	Pre-semina e per terminazione nel caso di sovescio	
	Residui colturali	Interramento alla fine della fioritura del pero <sup>b</sup>	

<sup>a</sup>: soglia di intervento: rapporto tra evapotraspirazione potenziale e reale pari a 0.6. Soglia definita tramite calibrazione in modo da rispecchiare la frequenza di intervento attualmente utilizzata nell'areale di interesse

<sup>b</sup>: non per lo scenario gestionale alternativo con pacciamatura verde. In tal caso la biomassa della coltura di copertura non viene interrata ma lasciata in superficie.

Analogamente a quanto descritto per le precedenti colture, la valutazione dei diversi scenari gestionali è stata condotta per un arco di temporale decennale (2008-2018), con anno di avvio definito in base al riferimento temporale del contenuto di carbonio organico nei suoli utilizzato per l'inizializzazione del modello (database Regione Emilia Romagna). Le simulazioni sono condotte anche in questo caso in continuo per tutta la serie decennale, utilizzando come valori iniziali della simulazione i dati edafici dell'anno precedente in modo da ottenere una valutazione in continuo delle dinamiche di acqua, C e N nel suolo di lungo periodo.





Le pratiche gestionali alternative testate sono di seguito riportate:

Pero cv. Williams, pratiche alternative riferite alle modalità di gestione dell'interfila:

- Scenario "*Buisness as usual*": interfila con inerbimento permanente;
- Scenario "*Cover crop*": interfila con vecchia oppure loiessa, entrambe seminate in autunno e sovesciate in prossimità della fioritura;
- Scenario "*Pacciamatura verde*": come il precedente ma senza interrimento della biomassa della cover crop, che rimane in superficie con effetto pacciamante.

Pero cv. Abate Fétel, pratiche gestionali alternative riferite alla modalità di irrigazione:

- Scenario "*Buisness as usual*": interfila con lavorazioni periodiche del suolo per evitare inerbimenti, irrigazione a goccia;
- Scenario "*Subirrigazione*": come precedente ma con subirrigazione profonda (40 cm) invece che irrigazione a goccia.

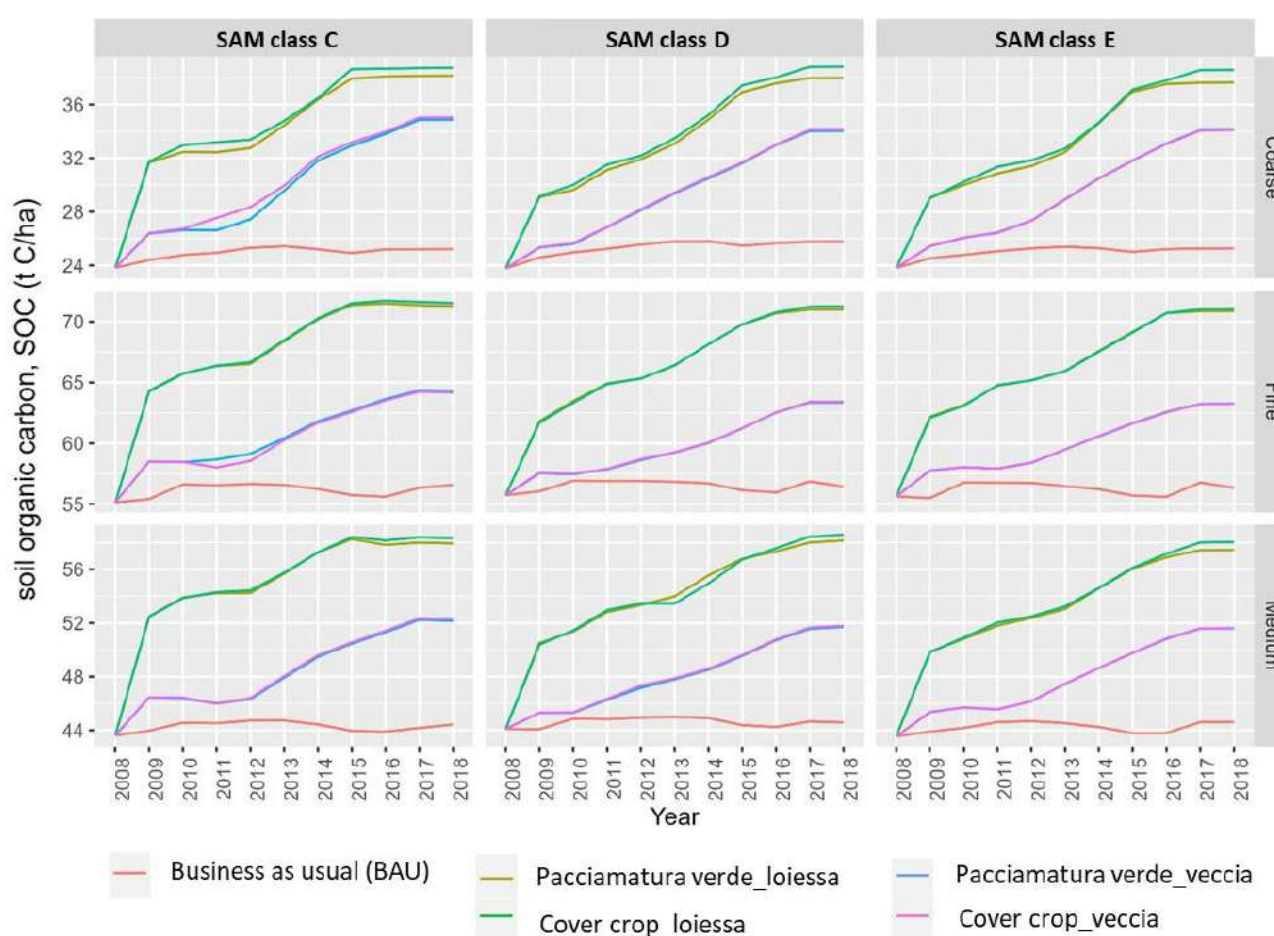
Le variabili di output considerate per valutare le diverse strategie gestionali sono le medesime indagate per pomodoro da industria e mais dolce, quindi non solo variabili legate al sequestro di CO<sub>2</sub> nel suolo ma anche quelle relative alle produzioni e ai consumi idrici e azotati. Un aspetto importante da considerare è che nelle simulazioni si fa riferimento ad un pereto già in produzione e con dinamiche di assorbimento di carbonio legate ad una diversa gestione dell'interfila.

### **3.3. Risultati - varietà Williams**

Di seguito vengono riportate e commentate solo le variabili di maggior rilievo, mentre tutti i dati sono forniti tramite i file Excel allegati al presente documento.

Per quanto riguarda le dinamiche del carbonio organico nel suolo in risposta a diverse pratiche gestionali (SOC, t C ha<sup>-1</sup>, Figura 5, Tabella 6), anche nel caso del pero i risultati evidenziano chiari benefici dall'adozione di colture di copertura, sia leguminose che graminacee, con un progressivo aumento del contenuto di carbonio stoccato nel suolo. Come già osservato in precedenza per le colture orticole, anche in questo caso l'uso di cover crop graminacee determina i maggiori incrementi di SOC rispetto alle leguminose (1.4 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> rispetto a 0.9 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>) a causa del maggior quantitativo di biomassa accumulata e dal suo rapporto C/N più elevato, che determina dinamiche di degradazione della sostanza organica più lente. Non si evidenziano invece differenze marcate tra terminazione classica della cover crop (sovescio) e terminazione conservativa (pacciamatura verde) essendo la lavorazione di interrimento eseguita in modo abbastanza superficiale per non arrecare danno all'apparato radicale della coltura. Come atteso, nel caso del pero anche la gestione BAU permette di accumulare un certo quantitativo di C dal suolo, grazie all'inerbimento permanente. In media, l'incremento di SOC nel decennio considerato nel caso dello scenario BAU è infatti risultato pari a 1.3 t C ha<sup>-1</sup> (pari a 0.13 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>), leggermente inferiori

rispetto a quanto osservato per la varietà Abate Fétel (Tabella 7). Da ricordare come nel caso della varietà Williams (i) il legno di potatura viene asportato per questioni fitosanitarie, non andando quindi ad incrementare il pool di SOC, e (ii) gli sfalci ripetuti dell'interfilare determinano una biomassa apportata al suolo caratterizzata da una degradabilità elevata. Per quanto riguarda le performance agronomiche, la diversa gestione dell'interfilare non determina alcun effetto sulle produzioni della coltura né sui consumi idrici, essendo il confronto relativo già ad una condizione di inerbimento permanente.



**Figura 5.** Dinamiche di accumulo di carbonio nel suolo (soil organic carbon, SOC, t C ha<sup>-1</sup>) nel decennio considerato, riferiti alla profondità di 30 cm, nel caso di pereto in produzione, varietà Williams. I grafici sono organizzati secondo una griglia con diverse combinazioni di classe di suolo (righe) e classe agroclimatica SAM (colonne).



**Tabella 6.** *Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo ( $t\ C\ ha^{-1}$ ) nei primi 30 cm di profondità dopo dieci anni di diverse pratiche gestionali rispetto alla baseline (BAU, anno 1). Varietà Williams.*

SAM	Soil	Businnes as Usual	Cover crop _ lojessa	Cover crop _ vecchia	Pacciamatura verde _ lojessa	Pacciamatura verde _ vecchia
C	Coarse	1.39	14.34	11.06	14.91	11.22
D	Coarse	1.98	14.19	10.24	15.02	10.32
E	Coarse	1.46	13.85	10.32	14.79	10.30
C	Fine	1.44	16.13	9.12	16.39	9.03
D	Fine	1.29	15.85	8.22	16.10	8.27
E	Fine	1.20	15.74	8.12	15.90	8.10
C	Medium	0.89	14.38	8.62	14.77	8.72
D	Medium	1.03	14.59	8.16	15.03	8.24
E	Medium	1.07	13.90	8.05	14.48	8.06
<b>media</b>		<b>1.31</b>	<b>14.78</b>	<b>9.10</b>	<b>15.27</b>	<b>9.14</b>

Dividendo i valori riportati in Tabella 6 per 10 si ottengono i tassi di accumulo annui di carbonio nel suolo, permettendo un confronto più agevole con i dati riportati in letteratura. Tale confronto ha permesso di evidenziare come i risultati ottenuti in questo studio siano pienamente in linea con quanto riportato da altri autori. In questo studio i valori di incremento annuo di SOC a seguito dell'uso di cover crop sono risultati infatti compresi tra  $0.9\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  (leguminose) e  $1.5\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  (graminacee). Come illustrato nella meta-analisi globale svolta da Hu et al. (2022), i tassi medi di accumulo di carbonio in frutteti gestiti con interfilare inerbito con cover crop sono mediamente pari a  $2\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$ , con valori osservati per le zone a clima mediterraneo – e quindi più simili al nostro contesto – compresi tra di  $1.03\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  (Vicente-Vicente et al., 2016) e di  $1.59\ t\ C\ ha^{-1}\ anno^{-1}$  (Gonzales-Sanchez et al., 2012).



### **3.4. Risultati - varietà Abate Fétel**

Nel caso della varietà Abate Fétel, gli incrementi di SOC nel decennio considerato nello scenario BAU sono risultati pari a  $1.8 \text{ t ha}^{-1}$  (Tabella 7, pari a  $0.18 \text{ t C ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}$ ), quindi leggermente maggiori rispetto a quanto osservato per la varietà Williams. Tale risultato era atteso a causa della diversa gestione dei residui di potatura che, nella varietà Abate vengono trinciati ed interrati invece che asportati come nel caso della Williams. Tali residui, caratterizzati da un rapporto C/N molto elevato (dovuto al contenuto in lignina), risultano poco degradabili e più facilmente umificati, a tutto vantaggio del sequestro di C nel suolo. Inoltre, le lavorazioni effettuate per mantenere il terreno libero dalle infestanti non hanno effetti marcati sulla mineralizzazione della sostanza organica a causa della loro natura superficiale. Nella varietà Williams, invece l'asportazione dei residui colturali non viene bilanciata dall'inerbimento permanente dell'interfilare essendo la biomassa della copertura erbacea inferiore in peso e molto degradabile (ridotto contenuto di lignina) anche a causa degli sfalci periodici. Questo ovviamente solo in riferimento allo scenario BAU. Negli scenari con uso di cover crops, pereti con varietà Williams sono caratterizzati da accumuli di SOC molto elevati, non ottenibili nel caso di varietà Abate a causa dei problemi fitosanitari che impediscono inerbimenti (dettagli riportati nel report relativo all'Azione 1).

Come atteso, l'adozione di subirrigazione non determina effetti di rilievo sulle dinamiche di sequestro di carbonio, con una variazione positiva del tutto trascurabile dovuta alla riduzione dell'attività degradativa della biomassa microbica negli strati più superficiali di terreno a causa del loro contenuto idrico ridotto rispetto all'irrigazione a goccia.

Il minor contenuto idrico negli strati più superficiali di terreno nel caso della subirrigazione rispetto alla goccia determina però una riduzione della crescita di infestanti e, pertanto, un minor numero di interventi di lavorazione dell'interfila (Tabella 8). In media, si evidenzia una riduzione del numero di interventi pari a  $0.55 \text{ interventi anno}^{-1}$ , che possono quindi permettere una riduzione delle emissioni di  $\text{CO}_2$  legate al consumo di combustibili fossili durante le lavorazioni.

L'adozione di impianti a subirrigazione rispetto all'irrigazione localizzata superficiale non ha invece determinato alcuna variazione in termini di performance agronomiche né in termini di consumi idrici, a causa di un'efficienza d'uso dell'acqua già molto elevata nel caso degli impianti a goccia.



**Tabella 7.** Variazione assoluta di carbonio organico nel suolo ( $t C ha^{-1}$ ) nei primi 30 cm di profondità rispetto alla baseline (BAU, anno 1), dopo dieci anni di gestione Business as Usual (BAU) e con scenario alternativo con sub-irrigazione. Varietà Abate.

SAM	Soil	Business as Usual (BAU)	Subirrigazione
C	Coarse	1.71	1.76
D	Coarse	1.60	2.20
E	Coarse	1.95	2.06
C	Fine	2.09	1.631
D	Fine	2.27	2.274
E	Fine	2.08	2.064
C	Medium	1.03	0.92
D	Medium	1.81	1.83
E	Medium	1.60	1.65
<b>media</b>		<b>1.79</b>	<b>1.82</b>

**Tabella 8.** Riduzione del numero di interventi di lavorazione dell'interfila rispetto alla baseline (BAU, anno 1) nel decennio considerato nel caso di scenario alternativo con sub-irrigazione.

Classe SAM	Classe suolo	Interventi risparmiati
C	Coarse	5.45
D	Coarse	6.46
E	Coarse	5.15
C	Fine	6.94
D	Fine	5.12
E	Fine	4.27
C	Medium	5.74
D	Medium	5.31
E	Medium	5.27
<b>media</b>		<b>5.52</b>



## Bibliografia

- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussi re, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudill re, J.P, H nault, C.,  
Maraux, F., Seguin, B., Sinoquet, H., 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.*, 18, 309-332.
- Chahal, I., Vyn, R.J., Mayers, D., Van Eerd, L.L., 2020. Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate. *Sci. Rep.*, 10, 13381.
- Chen, R.; Wang, J.; Li, Y.; Song, Y.; Huang, M.; Feng, P.; Qu, Z.; Liu, L., 2023. Quantifying the impact of frost damage during flowering on apple yield in Shaanxi province, China. *Eur. J. Agron.* 2023, 142, 126642.
- Choi, J.J., Gu, M., Choi, J.H., Han, J.H., Yim, S.H., Kim, Y.K., Jung, S.K., Choi, H.S., 2014. Growth and fruit production of asian pear trees grown on Y-, T-, and vase-training systems. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 55, 1–8.
- Constantin, J., Beaudoin, N., Launay, M., Duval, J., Mary, B., 2012. Long-term nitrogen dynamics in various catch crop scenarios: test and simulations with STICS model in a temperate climate. *Agric. Ecosyst. Environ.* 147, 36e46.
- Constantin, J., Le Bas, C., Justes, E., 2015. Large-scale assessment of optimal emergence and destruction dates for cover crops to reduce nitrate leaching in temperate conditions using the STICS soil–crop model. *Eur. J. Agron.* 69, 75-87.
- Hu, Y., Zhan, P., Thomas, B.W., Zhao, J., Zhang, X., Yan, H., Zhang, Z., Chen, S., Shi, X., Zhang, Y., 2022. Organic carbon and nitrogen accumulation in orchard soil with organic fertilization and cover crop management: A global meta-analysis. *Sci. Total Environ.*, 852, 158402.
- Li, H., Qiu, J., Wang, L., Xu, M., Liu, Z., Wang, W., 2012. Estimates of N<sub>2</sub>O emissions and mitigation potential from a spring maize field based on DNDC model. *J. Integr. Agric.*, 11, 2067-2078.
- Lilly, P.J., Jenkins, J.C., Carroll, M.J., 2015. Management alters C allocation in turfgrass lawns. *Lands. Urban Plan.*, 134, 119-126.



- Locatelli, J. L., Bratti, F., Ribeiro, R. H., Besen, M. R., Brancaleoni, E., Piva, J. T., 2020. Soil carbon sequestration and stocks: short-term impact of maize succession to cover crops in Southern Brazil Inceptisol. *SJAR*, 18, e0304.
- Mazzoncini, M., Sapkota, T.B., Bàrberi, P., Antichi, D., Risaliti, R., 2011. Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil Till. Res.* 114, 165-174.
- Mengmeng, X., Zhang, T., Liu, S., Liu, Z., Wang, Z., 2023. Profile soil organic and inorganic carbon sequestration in maize cropland after long-term straw return. *Front. Environ. Sci.*, 11:1095401.
- Peng, Y., Rieke, E. L., Chahal, I., Norris, C. E., Janovicek, K., Mitchell, J. P., Roozeboom, K. L., Hayden, Z. D., Strock, J. S., Machado, S., Sykes, V. R., Deen, B., Tavares, O.B., Gamble, A. V., Scow, K. M., Brainard, D. C., Millar, N., Johnson, G. A., Schindelbeck, R. R., Kurtz, K. S.M., van Es, H., Kumar, S., Van Eerd, L. L., 2023. Maximizing soil organic carbon stocks under cover cropping: insights from long-term agricultural experiments in North America. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 356, 108599.
- Sheren, A., Abd El-Hamied, Eman., I., El-Amary, 2015. Improving Growth and Productivity of “Pear” Trees Using Some Natural Plants Extracts under North Sinai Conditions. *IOSR-JAVS*, 8, 1-9.
- Wang, C., Zhang, N., Li, M., Li, L., Bai, T., 2022. Pear Tree Growth Simulation and Soil Moisture Assessment Considering Pruning. *Agriculture*, 12, 1653
- Wu, Y., Zhao, Z., Wang, W., Ma, Y., Huang, X., 2013. Yield and growth of mature pear trees under water deficit during slow fruit growth stages in sparse planting orchard. *Sci. Hort.*, 164, 189–195.
- Vicente-Vicente, J.L., Garcia-Ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., Smith, P., 2016. Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: a meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 235, 204–214



# CE.Si.S.P.

Centro per lo Sviluppo della Sostenibilità dei Prodotti

Dettagli documento	
Titolo	Azione 1 - Analisi del contesto locale (Emilia Romagna), delle pratiche colturali (pomodoro- mais- pera) e studio di fattibilità
Sottotitolo	Task 1.2 Studio di fattibilità
Progetto	FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE - Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio CONTROL CARBON
Data	21 giugno 2023
Versione	0.0
Autore	CESISP, Università di Genova
Cliente	Conserve Italia

## Storia documento

REV.	DATA	REDATTA	VERIFICATA	APPROVATA	DESCRIZIONE
0	21/06/2023	E. Gagliano	M. Gallo	P. Crudele A. Del Borghi	Prima emissione

CE.Si.S.P.  
Centro Interuniversitario tra:  
DICCA, Università di Genova – Scuola Universitaria Superiore di Pisa S. Anna  
Sede amministrativa: Villa Cambiaso Via Montallegro 1, 16145 Genova c/o DICCA;  
<http://cesisp.unige.it> Email: [cesisp@cesisp.unige.it](mailto:cesisp@cesisp.unige.it)  
Tel: +39 010 353.2918; Fax: +39 010 353.2971  
P.IVA 00754150100



## INDICE

1	ASPETTI GENERALI .....	2
1.1	INTRODUZIONE.....	2
1.2	BACKGROUND .....	3
1.3	CONTESTO E PRATICHE COLTURALI.....	4
2	STANDARD E METODOLOGIE .....	10
2.1.	STANDARD INTERNAZIONALI.....	10
2.1.1.	UNFCCC.....	11
2.1.2.	Gold Standard.....	11
2.1.3.	Verra: VCS Standard.....	12
2.1.4.	Puro.hearth.....	12
2.2.	STANDARD NAZIONALI .....	13
2.2.1.	CREA.....	13
2.2.2.	Linee Guida UNI .....	14
2.3.	DOPPIO CONTEGGIO .....	14
3	VALUTAZIONE.....	15
3.1	POMODORO .....	15
3.2	MAIS.....	18
3.3	PERO.....	21
	BENEFICI AMBIENTALI .....	15
	BENEFICI AMBIENTALI .....	18
	BENEFICI AMBIENTALI .....	21
4	BIBLIOGRAFIA.....	23

## 1 ASPETTI GENERALI

### 1.1 INTRODUZIONE

La Società CONSERVE ITALIA SOC. COOP. AGRICOLA, azienda che ha sempre puntato allo sviluppo sostenibile quale fattore positivo e caratterizzante della propria mission, ha deciso di realizzare un progetto relativo alla contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio. Il progetto è stato finanziato all'interno della FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE.

All'interno del progetto, l'Azione 1 prevede di effettuare un'analisi del contesto locale (Emilia Romagna), delle pratiche colturali (pomodoro- mais-pera) e di realizzare uno studio di fattibilità.

Il presente documento riporta i risultati dello studio di fattibilità, declinati nelle fasi seguenti:

1. analisi degli standard e dei sistemi esistenti a livello internazionale ed europeo per la definizione della baseline, degli inventari di emissioni/rimozioni di gas a effetto serra e della generazione di crediti di carbonio in agricoltura;
2. analisi di come le iniziative di sequestro del carbonio nei suoli agricoli possono coordinarsi con le relazioni trasmesse dagli Stati membri in vista del conseguimento degli obiettivi nazionali in materia di assorbimenti netti evitando problemi di doppio conteggio;
3. selezione delle azioni di sequestro del carbonio nei suoli agricoli tra quelli individuati nel Task 1.1, che portino ad un aumento del carbonio sequestrato e valutazione del relativo impatto sulla riduzione delle emissioni, sugli assorbimenti di carbonio e sull'ambiente, in particolare sulla biodiversità.

#### **AZIENDA**

CONSERVE ITALIA	Via Paolo Poggi, 11
SOC. COOP. AGRICOLA	40068 San Lazzaro di Savena (BO) - Italia
	Web: <a href="http://www.conserveitalia.it">www.conserveitalia.it</a>

#### **PERSONE DI CONTATTO**

Dott. Pietro Crudele	Responsabile Sostenibilità Ambientale e Certificazioni
	Tel: (+39) 051 6228319
	E-mail: <a href="mailto:pcrudele@ccci.it">pcrudele@ccci.it</a>

#### **PERSONE DI RIFERIMENTO Università di Genova**

Prof. Ing Adriana Del Borghi	e-mail: <a href="mailto:adriana.delborghi@unige.it">adriana.delborghi@unige.it</a>
Prof. Dott. Michela Gallo	<a href="mailto:michela.gallo@unige.it">michela.gallo@unige.it</a>
Prof. Ing. Erica Gagliano	<a href="mailto:erica.gagliano@unige.it">erica.gagliano@unige.it</a>

## 1.2 BACKGROUND

In risposta all'urgente necessità di un'azione per il clima, l'Unione europea ha sancito l'obiettivo della neutralità climatica entro il 2050 in tutti i settori dell'economia stabilendo che entro tale data sia raggiunto l'equilibrio tra le emissioni e gli assorbimenti di gas a effetto serra all'interno dell'UE (Regolamento (UE) 2021/1119 del Parlamento europeo e del Consiglio che istituisce il quadro per il conseguimento della neutralità climatica). L'Unione si è inoltre prefissata di diventare resiliente ai cambiamenti climatici entro il 2050, definendo una strategia di adattamento agli effetti degli stessi (COM(2021) 82. Plasmare un'Europa resiliente ai cambiamenti climatici – La nuova strategia dell'UE di adattamento ai cambiamenti climatici).

Per conseguire tali obiettivi, nel dicembre 2021 la Commissione ha adottato la comunicazione sui cicli di carbonio sostenibili (COM(2021) 800 Sustainable Carbon Cycles) identificando tre azioni principali:

1. ridurre drasticamente la dipendenza dal carbonio, migliorando l'efficienza degli edifici, dei mezzi di trasporto e delle industrie, riducendo il consumo di risorse primarie e passando a un'economia circolare, nonché potenziando le energie rinnovabili;
2. riciclare il carbonio proveniente dai flussi di rifiuti, da fonti di biomassa sostenibili o direttamente dall'atmosfera, così da poterlo utilizzare al posto di quello di origine fossile nei settori dell'economia che resteranno inevitabilmente dipendenti dal carbonio (Economia circolare; carbon capture and use, CCU);
3. potenziare le soluzioni per l'assorbimento del carbonio che catturano CO<sub>2</sub> dall'atmosfera e lo immagazzinano a lungo termine negli ecosistemi, grazie alla protezione della natura e al sequestro del carbonio nei suoli agricoli, o in altre forme di stoccaggio mediante soluzioni industriali, evitando nel contempo impatti negativi sulla biodiversità o il degrado degli ecosistemi

In particolare, in riferimento al terzo punto, la comunicazione definisce azioni a breve e medio termine volte ad affrontare le attuali sfide del cosiddetto “carbon farming”, ovvero il legame tra le attività agricole sostenibili e il sequestro di carbonio con conseguente riduzione delle emissioni, al fine di migliorare questo modello di business verde che premi i gestori del territorio per l'adozione di pratiche che portino al sequestro del carbonio, insieme a forti benefici per la biodiversità.

Una tappa fondamentale in tal senso è l'istituzione di un quadro normativo per l'identificazione chiara e trasparente delle attività che assorbono inequivocabilmente carbonio dall'atmosfera e che possono ridurre la concentrazione atmosferica di CO<sub>2</sub>, elaborando un quadro UE per la certificazione degli assorbimenti basato su solide norme di contabilizzazione che garantisca assorbimenti sostenibili e di alta qualità sia da ecosistemi naturali sia da soluzioni industriali

A tale scopo, a dicembre 2022, è stata pubblicata la proposta di regolamento europeo COM(2022) 672 “establishing a Union certification framework for carbon removals”, il c.d. Regolamento sul carbon farming, che entrerà in vigore nel 2023, con lo scopo di incentivare un'adeguata certificazione e

permettere lo sviluppo del mercato dei crediti di carbonio, al fine di contribuire, in coerenza con il Green Deal e il regolamento europeo sul clima, alla riduzione netta delle emissioni di gas a effetto serra di almeno il 55% entro il 2030 rispetto ai livelli del 1990. La proposta di regolamento ha inoltre l'obiettivo di divulgare le riduzioni delle emissioni diverse dal CO<sub>2</sub> come benefici collaterali della rimozione del carbonio.

In particolare, la proposta intende incentivare e accelerare la diffusione degli assorbimenti di carbonio attraverso il sequestro nei suoli agricoli, lo stoccaggio nei prodotti e lo stoccaggio permanente. Essa si articola in tre pilastri:

1. il primo fissa i quattro criteri di qualità che rendono gli assorbimenti ammissibili alla certificazione;
2. il secondo stabilisce gli elementi essenziali del processo di verifica e certificazione;
3. il terzo prevede norme per il funzionamento dei sistemi di certificazione responsabili dell'attuazione del quadro di certificazione dell'Unione e il loro riconoscimento da parte della Commissione europea.

Tra le modalità di sequestro di carbonio rientra quello che si può effettuare nei suoli agricoli: il carbonio può essere immagazzinato naturalmente grazie ad attività che ne migliorano la cattura nei suoli e nelle foreste (ad esempio l'agrosilvicoltura, il ripristino delle foreste, la gestione migliorata del suolo) e/o ne riducono il rilascio dai suoli nell'atmosfera (ad esempio il ripristino delle torbiere). Queste attività contribuiscono a perseguire l'obiettivo dell'UE di 310 Mt di assorbimenti netti di CO<sub>2</sub> nel settore dell'uso del suolo, del cambiamento di uso del suolo e della silvicoltura (c.d. LULUCF).

## **1.3 CONTESTO E PRATICHE COLTURALI**

### **1.3.1 Analisi del contesto locale**

Il presente progetto mira a sviluppare un'iniziativa pilota nel settore dei vegetali coltivati sul territorio regionale dell'Emilia-Romagna. Conserve Italia, gruppo cooperativo con sede a San Lazzaro di Savena (BO), leader in Italia nel settore della trasformazione alimentare, gestisce completamente la filiera, ovvero tutto il ciclo del prodotto, dalla coltivazione fino al consumatore finale. Ciò permette di poter valutare le performance del comparto agricolo della filiera e la sperimentazione di pratiche per il raggiungimento di un'economia climaticamente neutra, insieme ai benefici sulla biodiversità.

In particolare, il mais dolce, il pomodoro e il pero sono stati selezionati in quanto colture strategiche ritenute al fine di individuare pratiche che portino ad un incremento del sequestro del carbonio e alla diminuzione delle emissioni di gas serra da attività agricole. Nell'area di studio (Emilia-Romagna) si concentra infatti il 60% della coltivazione nazionale di mais dolce delle aziende agricole afferenti Conserve Italia. Mentre le due varietà di pero più diffuse nell'area studio sono William e Abate Fétel, occupando rispettivamente il 60% e il 30% della superficie totale coltivata a pero nelle aziende afferenti alla Società Conserve Italia Soc. Coop. Agricola.

La zonazione agro-climatica condotta dal laboratorio Cassandra Lab dell'Università degli Studi di Milano ha permesso di identificare aree omogenee dell'area di studio (regione Emilia-Romagna) in termini di caratteristiche climatiche, pedologiche e gestionali per il mais dolce, il pomodoro da industria e il pero, colture di interesse per il presente progetto. Tra i principali risultati ottenuti nella Task 1.1. vi è l'individuazione di 28 contesti agro-climatici per mais dolce e pomodoro da industria (11 per le semine precoci, 8 per le medie e 9 per le tardive) e 9 contesti agro-climatici nel caso del pero.

### 1.3.2. Pratiche agricole BAU (Business As Usual) e pratiche gestionali alternative

Il Piano strategico nazionale della PAC (Politica Agricola Comune) comprende una serie di interventi e azioni volti a ridurre le emissioni di gas climalteranti e ad aumentare le capacità di sequestro del carbonio del settore agricolo e forestale, nonché a ridurre le emissioni di metano e protossido di azoto connesse alla gestione degli allevamenti zootecnici e all'impiego di fertilizzanti azotati di sintesi:

- il mantenimento dei prati permanenti e il divieto di conversione o aratura dei prati permanenti nei siti di Natura 2000;
- la protezione adeguata di zone umide e torbiere;
- la rotazione delle colture;
- la copertura del suolo.

Dall'analisi del contesto gestionale, condotta mediante le informazioni raccolte presso Conserve Italia Soc. Coop. Agricola, sono state individuate per ciascuna coltura le epoche di semina/trapianto e la durata media del ciclo colturale o di attività vegetativa nonché le pratiche agricole BAU (Business As Usual), sintetizzate in Tabella 1.

L'analisi condotta, all'interno del contesto pianificatorio nazionale, ha permesso di individuare le strategie gestionali alternative promettenti in termini di sequestro di CO<sub>2</sub> e adatte ai contesti operativi indagati. Le principali pratiche gestionali alternative che saranno oggetto di sperimentazione sono riportate in Tabella 1. Sono previsti anche test esplorativi per valutare tecniche innovative di pacciamatura verde basate sulla semina di miscugli specifici e successiva terminazione tramite rullatura e rottura dei culmi.

**Tabella 1.** Pratiche agricole BAU (Business As Usual) e pratiche gestionali alternative individuate per le colture di interesse.

Colture di interesse	Pratiche agricole BAU (Business As Usual)	Pratiche gestionali alternative
Pomodoro da industria	<b>Epoche di trapianto:</b> precoce: inizio aprile; media: fine aprile; tardiva: metà maggio; <b>durata media del ciclo colturale</b> (periodo da semina a raccolta): 110-115 giorni.	<i>Cover crops</i> (colture di copertura) autunno-vernine e l'uso di specie caratterizzate da un diverso rapporto C/N (e.g.,

	<p><b>Metodo irriguo</b> irrigazione a goccia, aspersione in misura minore, interventi irrigui complessivi: n. 8 in media con rotolone, n. 30 con irrigazione a goccia.</p> <p><b>Concimazione:</b> ~120 kg N ha<sup>-1</sup> n. 3 interventi se irrigato ad aspersione (al trapianto, due sarchiature), con fertirrigazione se irrigato a goccia.</p> <p><b>Lavorazioni del suolo:</b> aratura ed erpicatura. <b>Gestione residui colturali</b> trinciatura e interrimento con aratura.</p>	<p>leguminose come la veccia e graminacee come ad esempio la loiessa)</p> <p>Tecniche di <i>minimum tillage</i> (minima lavorazione) al fine di ridurre il tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo.</p>
Mais dolce	<p><b>Epoche di semina:</b> precoce: 1 aprile; media: 15 maggio; tardiva: 30 giugno;</p> <p><b>durata media del ciclo colturale</b> (periodo da semina a raccolta): 85-90 giorni.</p> <p><b>Metodo irriguo</b> prevalente: aspersione con rotolone; (pivot e scorrimento in misura minore), numero di interventi irrigui complessivi: 3-6.</p> <p><b>Concimazione:</b> ~240 kg N ha<sup>-1</sup> in 2-3 interventi.</p> <p><b>Lavorazioni del suolo:</b> Aratura, passaggio con estirpatore ed erpice, rullatura.</p> <p><b>Gestione residui colturali</b> (e.g., stocchi, foglie, tutoli): Interrimento tramite aratura.</p>	<p><i>Cover crops</i> (colture di copertura) autunno-vernine e l'uso di specie caratterizzate da un diverso rapporto C/N (e.g., leguminose come la veccia e graminacee come ad esempio la loiessa)</p> <p>Tecniche di <i>minimum tillage</i> (minima lavorazione) al fine di ridurre il tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo.</p>
Pero varietà William	<p><b>Epoca di raccolta</b> agosto (I settimana);</p> <p><b>durata media del ciclo colturale</b> (periodo di attività vegetativa): da metà marzo a fine novembre.</p> <p><b>Metodo irriguo</b> prevalente: ala gocciolante, con interventi irrigui bisettimanali (da fine marzo a fine giugno) e a giorni alterni (a luglio). <b>Concimazione:</b> ~100 kg N ha<sup>-1</sup> con fertirrigazione, concimi organo-minerali e concimi fogliari; <b>ammendamento</b> stallatico nel periodo invernale (novembre-gennaio).</p>	<p>Sovescio nell'interfila con specie in grado di garantire produzioni elevate di sostanza organica stabile.</p>

	<p><b>Lavorazioni del suolo/gestione interfila:</b> inerbimento permanente con trinciatura periodica (6-7 interventi all'anno). <b>Gestione residui colturali</b> (legno di potatura): asportazione.</p>	
<p>Pero varietà Abate Fétel</p>	<p><b>Epoca di raccolta</b> agosto (ultima settimana), settembre (I settimana); <b>durata media del ciclo colturale</b> (periodo di attività vegetativa): da metà marzo a fine novembre.</p> <p><b>Metodo irriguo</b> prevalente: ala gocciolante, con interventi irrigui bisettimanali (da fine marzo a fine giugno) e a giorni alterni (a luglio).</p> <p><b>Concimazione:</b> ~100 kg N ha<sup>-1</sup> con fertirrigazione, concimi organo-minerali e concimi fogliari; <b>ammendamento</b> stallatico nel periodo invernale (novembre-gennaio).</p> <p><b>Lavorazioni del suolo/gestione interfila:</b> lavorazione dell'interfila (fresatura a 15-20 cm di profondità, 3-4 volte all'anno).</p> <p><b>Gestione residui colturali</b> (legno di potatura): trinciatura e interrimento (con fresatura a 15-20 cm di profondità).</p>	<p>Subirrigazione profonda</p>

### 1.3.3. Dati di riferimento

Al fine di procedere al calcolo del bilancio del carbonio, i dati di riferimento possono essere raccolti e raggruppati secondo le seguenti macrocategorie:

- a) **Emissioni** di gas serra (greenhouse gases, GHG) che verranno quantificate mediante uno studio di life cycle assessment (LCA) condotto secondo ISO 14064-1 e ISO 14064-2. Si riportano di seguito gli esempi principali:
- Emissioni di CO<sub>2</sub> dovute al consumo di energia (i.e., combustibile, elettricità).
  - Emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla produzione di pesticidi impiegati in campo (se applicabile).
  - Emissioni di CO<sub>2</sub> dovute alla produzione di fertilizzanti impiegati in campo (se applicabile).

- Emissioni di N<sub>2</sub>O, NO e NH<sub>3</sub> dovute all'applicazione di fertilizzanti azotati in funzione al tipo di suolo (i.e., pH, drenaggio, tessitura).
  - Emissioni di N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub> dovute alla gestione dei residui colturali.
  - Emissioni di CO<sub>2</sub> dovute all'ossidazione del carbonio nel suolo durante le pratiche di gestione.
- b) **Perdite** di carbonio dovute a diversi fenomeni che possono essere sintetizzati come:
- Erosione del suolo. Si assume che tale perdita sia una percentuale della perdita di suolo complessiva che può essere calcolata sulla base dell'equazione RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), i cui parametri principali dipendono dalla quantità di precipitazioni nell'area, la tessitura del suolo, la pendenza del terreno, dal tipo di copertura e dal tipo di lavorazione.
  - Conversione della sostanza organica del terreno (soil organic matter, SOM) in carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) ad opera dei microrganismi determina delle perdite di C in quanto
  - Evapotraspirazione.
- c) **Accumulo** di carbonio nel suolo, ossia la quantità di carbonio immagazzinata nel suolo considerando sia l'uso del suolo (i.e., foresta, campo agricolo, vegetazione rada) che il tipo di lavorazione effettuata nell'area oggetto di studio (i.e., convenzionale, lavorazione minima, nessuna lavorazione del terreno o utilizzo di colture di copertura). I residui colturali possono contribuire all'accumulo di carbonio nel suolo e l'entità di tale contributo è direttamente
- d) **Accumulo** di carbonio nella biomassa della parte epigea. Tale contributo può essere calcolato considerando la crescita annuale della biomassa relativa ad una data coltivazione (ISMEA, 2018<sup>1</sup>).

A titolo esemplificativo e non completamente esaustivo, in Tabella 2 sono riportate le principali informazioni e i dati necessari per lo sviluppo di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio.

**Tabella 2.** Sintesi delle principali informazioni e dati.

<b>Informazioni generali</b>
Area geografica (Emilia-Romagna)
Provincia, località
Dati climatici (i.e., temperatura, precipitazioni annue)

<sup>1</sup> ISMEA, Ronga M., Chiriaco M. V., Pellis G., Perugini L., Valentini R., 2018: *Metodologia per l'attuazione di meccanismi volontari di riduzione e compensazione delle emissioni a livello di distretto zootecnico. Rete rurale nazionale 2014-2020, Piano di azione biennale 2017-18. Scheda progetto ISMEA 14.1 Cambiamenti climatici, emissioni.*



Estensione area di studio [ha]
Estensione campo sperimentale [ha]
<b>Dati del suolo</b>
Profondità del suolo considerato [cm]
pH del suolo
Profondità del suolo considerato
Densità apparente del terreno (bulk density, BD) [g/cm <sup>3</sup> ]
Tessitura del terreno
Carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) [MgC/ha]
Sostanza organica nel suolo
Azoto Totale nel suolo
Rapporto C/N
Umidità e temperatura del suolo
<b>Dati agronomici</b>
Tipo di coltura (mais/pomodoro/pero)
Resa della coltura nell'anno di riferimento [t/ha]
Caratteristiche della coltura (i.e., diametro del tronco e altezza albero di pero)
Tipologia di pesticida impiegato
Quantitativo di pesticida impiegato [kg/ha]
Tipologia di fertilizzante impiegato
Quantitativo di fertilizzante impiegato [kg/ha]
Tipologia di ammendante/concime impiegato
Quantitativo di ammendante/concime impiegato [kg/ha]
<b>Informazioni su pratiche agricole BAU (Business As Usual)</b>
Metodo irriguo e frequenza
Consumo energetico per irrigazione [kWh/ha]
Lavorazioni del suolo/gestione interfila
Gestione residui colturali
<b>Informazioni su pratiche gestionali alternative</b>
Metodo irriguo e frequenza
Superficie gestita con minima lavorazione del suolo [ha] (pomodoro/mais)
Superficie gestita con colture di copertura (cover crop) [ha] (pomodoro/mais)
Superficie gestita con sovescio dell'interfila [ha] (pero varietà William)
Superficie gestita con subirrigazione profonda [ha] (pero varietà Abate Fétel)
Consumi energetici [kWh]

## 2 STANDARD E METODOLOGIE

Nel seguito sono riassunti gli esiti dell'analisi degli standard e dei sistemi esistenti a livello internazionale ed europeo per la definizione della baseline, degli inventari di emissioni/rimozioni di gas a effetto serra e della generazione di crediti di carbonio in agricoltura.

### 2.1. STANDARD INTERNAZIONALI

Numerose iniziative pionieristiche in Europa hanno sviluppato o iniziato a sviluppare progetti e schemi che affrontano le emissioni/rimozioni di gas a effetto serra in agricoltura (EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE-GENERAL CLIMATE ACTION Directorate C – Climate strategy, governance and emissions from non-trading sectors. Carbon Farming Schemes in Europe - Roundtable Background document). Nello specifico:

- Nell'ambito della Politica Agricola Comune (PAC), molte misure, tra cui la misura agro-climatico-ambientale, aiutano gli agricoltori a cambiare gestione fornendo una compensazione per i costi aggiuntivi e il mancato guadagno dovuto ai cambiamenti nella gestione. Gli agricoltori non vengono pagati per i miglioramenti verificati rispetto a un indicatore di risultato specifico, ma vengono incoraggiati e/o premiati per i cambiamenti incentrati sulla gestione. In alcuni di questi schemi, tuttavia, sono stati fatti tentativi per catturare gli effetti di mitigazione in modo più qualitativo, senza una metodologia chiara per il monitoraggio, la verifica e la rendicontazione.
- Alcuni progetti sono schemi puramente informativi/di sensibilizzazione, in cui gli agricoltori sono informati, ma non sono tenuti ad attuare pratiche (approcci di strumenti per il carbonio come Cap2ER o Cool Farm Tool quando questi non sono legati a pagamenti per la gestione o risultati). Il focus del progetto LIFE C-FARMS è ad esempio l'implementazione delle pratiche di Carbon Farming attraverso un miglioramento delle conoscenze per sviluppare un quadro normativo volto alla certificazione degli assorbimenti di carbonio basato su uno schema di contabilità del carbonio scientificamente solido e trasparente in relazione all'inventario nazionale dei gas serra (GHG).
- Altri progetti prevedono forme di remunerazione degli agricoltori che ricevono crediti di carbonio equivalenti al loro impatto di mitigazione secondo una metodologia approvata. Tali crediti possono essere acquistati da attori privati e imprese che desiderano ridurre la propria impronta climatica (ad es. MoorFutures, UK Woodland Carbon Code; Carbon AGRI).
- Infine, ci sono anche iniziative esistenti o iniziative in corso di realizzazione sviluppate da rivenditori o aziende agroalimentari nell'ambito della loro gestione della catena di approvvigionamento, in base alla quale gli agricoltori nelle loro catene di approvvigionamento vengono premiati per i cambiamenti che contribuiscono a migliorare i risultati climatici (ad es. SPAR/WWF Progetto Suoli Sani per Alimenti Sani). Facendo anche un ulteriore passo avanti,

ci sono iniziative che spingono i prodotti e gli ingredienti alimentari desiderati per il carbon farming attraverso catene corte di approvvigionamento per soddisfare la domanda di cibo sostenibile, spesso biologico (ad esempio città di Copenaghen, Milano) per un'alimentazione più sana (progetto LIFE Organiko5).

Sulla base dell'approccio utilizzato dall'UNFCCC per i progetti Clean Development Mechanism (CDM), sono state sviluppate diverse iniziative private di sequestro del carbonio nei suoli agricoli nell'ambito delle quali i gestori di terreni vendono crediti di carbonio sui mercati volontari del carbonio (tra cui Gold Standard e Verra). Tali iniziative private applicano però parametri e norme molto diversi senza un consolidato grado di trasparenza, integrità ambientale e standardizzazione delle metodologie.

Si riporta di seguito una descrizione specifica degli strumenti e degli standard internazionali esistenti.

#### 2.1.1. UNFCCC

Nell'ambito della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC) sono state sviluppate diverse metodologie con l'obiettivo di creare uno standard internazionale per la valutazione della riduzione delle emissioni di gas serra e dell'assorbimento di CO<sub>2</sub> da progetti sviluppati all'interno del Clean Development Mechanism (CDM): il CDM consente ai diversi progetti, aventi luogo nei paesi in via di sviluppo, di ottenere crediti certificati di riduzione delle emissioni (Certified Emission Reductions - CERs), ciascuno equivalente a una tonnellata di CO<sub>2</sub> evitata o rimossa. I CER possono essere commercializzati, venduti e utilizzati dai paesi industrializzati per raggiungere una parte dei loro obiettivi di riduzione ai sensi del protocollo di Kyoto. Con l'avvento dei mercati volontari si è avvertita la necessità di avere un sistema di standardizzazione per la valutazione degli impatti dei diversi progetti: a questo scopo sono state prese in considerazione le metodologie già sviluppate nell'ambito del CDM. Vengono di seguito riportate le principali metodologie presenti nello standard UNFCCC riferite all'ambito agricolo.

- [AMS-III.A.](#): Offsetting of synthetic nitrogen fertilizers by inoculant application in legumes-grass rotations on acidic soils on existing cropland --- Version 3.0
- [AMS-III.AU.](#): Methane emission reduction by adjusted water management practice in rice cultivation --- Version 4.0
- [AMS-III.BF.](#): Reduction of N<sub>2</sub>O emissions from use of Nitrogen Use Efficient (NUE) seeds that require less fertilizer application --- Version 2.0

#### 2.1.2. Gold Standard

Gold Standard for the Global Goals (GS4GG) è lo standard promosso dal programma "Gold Standard (GS)" sviluppato per quantificare e certificare gli impatti ambientali associati a interventi per la

mitigazione del cambiamento climatico in accordo ai 17 Obiettivi di Sviluppo Sostenibile delle Nazioni Unite (SDGs). È stato concepito con l'intento di garantire che i crediti di carbonio siano reali, verificabili e che i progetti contribuiscano in modo misurabile allo sviluppo sostenibile. L'obiettivo del GS è quello di attribuire un'etichetta di qualità ai crediti di carbonio generati in modo che possano poi essere acquistati e commercializzati.

Nell'ambito di questo standard sono state individuate le seguenti metodologie.

- [“Soil organic carbon framework methodology”](#): è una framework methodology che prevede l'utilizzo di diversi activity modules a seconda della pratica agricola considerata. Di seguito si riportano gli activity modules ad oggi sviluppati:
  - [Soil organic carbon activity module: increasing soil carbon through improved tillage practices](#);
  - [Soil organic carbon activity module for application of organic soil improvers from pulp and paper mill sludges](#).

#### 2.1.3. Verra: VCS Standard

Lo standard VCS (Verified Carbon Standard) è il più largamente diffuso al mondo contando al suo interno oltre 1500 progetti certificati, con oltre 900 milioni di crediti rilasciati. Lo standard VCS è gestito da Verra, cioè una ONG, fondata nel 2007, nata dalla necessità di fornire maggiori garanzie di qualità nei mercati volontari del carbonio.

All'interno di questo standard è stata individuata una metodologia in riferimento alle pratiche agricole la quale, però, risulta attualmente in fase di revisione.

- [VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v1.0](#)<sup>2</sup>

#### 2.1.4. PURO.HEARTH

[Puro.heart](#) rappresenta un'iniziativa di neutralizzazione delle emissioni basata su un Carbon Removal Standard (Carbon Removal Method) che porta al rilascio di crediti di carbonio CORC, o CO<sub>2</sub> Removal Certificate. Lo standard consta delle seguenti [metodologie](#) di calcolo:

- Biochar,
- Carbonated Building Elements,
- Geologically Stored Carbon,
- Enhanced Rock Weathering and Woody Biomass Burial

---

<sup>2</sup> VCS Methodology, VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0. December 2021 Sectoral Scope 14. <https://verra.org/methodologies/>

## 2.2. STANDARD NAZIONALI

A livello nazionale, esistono numerose iniziative per la quantificazione delle emissioni/rimozioni di gas a effetto serra in agricoltura e per la realizzazione di inventari. Inoltre, misure per aumentare l'assorbimento di carbonio nel settore agricolo sono state introdotte recentemente nell'ordinamento italiano (articolo 45, comma 2-quater- 2-octies, D.L. n. 13/2023).

Di seguito un'analisi delle iniziative e degli standard nazionali esistenti.

### 2.2.1. CREA

Al fine di valorizzare le pratiche di gestione agricole e forestali sostenibili, in grado di migliorare le capacità di assorbimento del carbonio atmosferico, e aggiuntive rispetto a quelle prescritte dalla normativa unionale e nazionale in materia di conduzione delle superfici agricole e forestali, è stato recentemente istituito presso il CREA (Consiglio per la ricerca in agricoltura e l'analisi dell'economia agraria) il Registro pubblico dei crediti di carbonio generati su base volontaria dal settore agroforestale nazionale<sup>3</sup>.

Il CREA ammette all'iscrizione nel Registro i crediti di carbonio generati e certificati secondo le modalità stabilite dalle linee guida, su richiesta dei soggetti proprietari ovvero gestori di superfici agroforestali, come definite ai sensi degli articoli 3, comma 3, e 4 del decreto legislativo 3 aprile 2018, n. 34 e dal Piano Strategico della Politica agricola comune di cui al regolamento (UE) 2021/2115 del Parlamento europeo e del Consiglio, del 2 dicembre 2021, che realizzano attività di imboschimento, rimboschimento e gestione sostenibile agricola e forestale, aggiuntive a quelle previste dalla vigente normativa unionale e nazionale di settore.

Alte iniziative, sviluppate rendere più efficace e trasparente la gestione del sistema volontario, sono le seguenti:

1. Nucleo Monitoraggio Carbonio CREA, gruppo di lavoro del Centro di Ricerca Politiche e Bioeconomia del CREA. Con il coordinamento dell'Osservatorio Foreste CREA e in collaborazione con il dipartimento TeSAF, dell'Università degli Studi di Padova, il Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC) e la Compagnia delle Foreste, si propone l'analisi e il monitoraggio dello stato di avanzamento dei Mercati/finanziamenti volontari dei Servizi Eco-sistemici a livello nazionale, con particolare riferimento ai progetti forestali di compensazione delle emissioni.
2. Il Codice Forestale del Carbonio è un documento che definisce le Linee Guida e di indirizzo per la realizzazione di progetti forestali, su proprietà pubbliche e private, la cui azione possa essere riconosciuta dal mercato volontario e istituzionale. Nello specifico identifica i criteri minimi

---

<sup>3</sup> <https://temi.camera.it/leg19/post/assorbimento-del-carbonio.html>

qualitativi per generare e vendere crediti di CO<sub>2</sub>e nel mercato volontario, il tutto nel rispetto dei principi di Addizionalità, Permanenza, Leakage e Doppio conteggio previsti dalle linee guida IPCC (“Codice forestale del Carbonio” (CFC) V.1.0 2014).

### **2.2.2. Linee Guida UNI**

Il documento UNI/PDR 99/2021 (Linee guida per il calcolo, la riduzione e la compensazione delle emissioni di gas serra di organizzazioni e prodotti, e requisiti per i progetti di generazione di crediti di carbonio - 15 aprile 2021) definisce i requisiti e le linee guida per calcolare, ridurre e compensare le emissioni di gas serra, sia a livello di organizzazione che a livello di prodotto (bene o servizio), e individua i requisiti per la generazione di crediti di carbonio nel mercato volontario.

Non si tratta di una norma nazionale, ma di un documento elaborato dall’Ente Nazionale Italiano di Unificazione (UNI) che indica le prescrizioni relative alle prassi condivise in tema di contabilizzazione di carbonio.

Il documento è strutturato in due programmi: uno sulla compensazione delle emissioni, l’altro sulla generazione di crediti di carbonio da progetti di riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Il primo programma permette di migliorare la propria immagine e reputazione nei confronti degli stakeholder, contribuendo al contempo ad aumentare la competitività sul mercato.

Il secondo programma mira invece a generare crediti di carbonio grazie a progetti controllati e trasparenti. Grazie a queste iniziative, l’azienda riesce ad avere una testimonianza tangibile circa la propria attenzione alle tematiche del climate change e a promuovere iniziative di mercato a supporto del miglioramento della capacità di assorbimento della CO<sub>2</sub>, in modo da compensare le emissioni che non potrebbero essere ulteriormente ridotte internamente.

### **2.3. DOPPIO CONTEGGIO**

Nel seguito sono riassunti gli esiti dell’analisi di come le iniziative di sequestro del carbonio nei suoli agricoli possono coordinarsi con le relazioni trasmesse dagli Stati membri in vista del conseguimento degli obiettivi nazionali in materia di assorbimenti netti evitando problemi di doppio conteggio.

I crediti registrati sul Registro CREA saranno utilizzabili nell’ambito di un mercato volontario nazionale, in coerenza con le disposizioni relative al Registro nazionale dei serbatoi di carbonio agro-forestali di cui al D.M. Ambiente 1 aprile 2008.

Per evitare il doppio conteggio, tali crediti dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- non possono essere utilizzati né nel mercato EU-ETS né nel mercato CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation);

- pur contribuendo al raggiungimento degli obiettivi nazionali di assorbimento delle emissioni di gas serra contabilizzati da ISPRA nell'ambito degli obblighi internazionali, rilevano, ai fini dell'impiego su base volontaria, esclusivamente per le pratiche aggiuntive di gestione sostenibile, ferma restando la competenza di ISPRA per le attività connesse all'Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio (INFC).

### 3 VALUTAZIONE

Nel seguito è riportata una sintesi dei risultati qualitativi della valutazione del relativo impatto sulla riduzione delle emissioni, sugli assorbimenti di carbonio e sull'ambiente per ciascuna coltura evidenziando i principali benefici ambientali e socio-economici ottenibili dalle pratiche gestionali alternative nei suoli agricoli tra quelli individuati nel Task 1.1.

#### 3.1 POMODORO

Con riferimento alla coltura del pomodoro, la Tabella 3 riporta una sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative ("Recommended Management Practices", RMP) individuate nel Task 1.1, in particolare la pratica relativa al *Cover crops* (colture di copertura) e la pratica agricola del *minimum tillage* (minima lavorazione).

**Tabella 3.** Sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative ("Recommended Management Practices", RMP) individuate nel Task 1.1 per la coltura del pomodoro.

<b>PRATICA 1</b>	<i>Cover crops</i> (colture di copertura) autunno-vernine e l'uso di specie caratterizzate da un diverso rapporto C/N (e.g., leguminose come la veccia e graminacee come ad esempio la loiessa)
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	<p>Studi sperimentali condotti mediante colture di copertura<sup>4</sup> hanno evidenziato un valore medio annuale di SOC sequestrato pari a <math>0,32 \pm 0,08 \text{ ton ha}^{-1} \text{ y}^{-1}</math>, dal quale sulla base del rapporto stechiometrico tra CO<sub>2</sub> e C (44/12) è possibile stimare le tonnellate di CO<sub>2</sub> sequestrata <math>\sim 1,15 \text{ tonCO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}</math>.</p> <p>Un accumulo di C (C stock) in 3 anni pari a <math>3,24 \text{ ton C ha}^{-1}</math> è stato osservato in uno studio sperimentale recentemente condotto sul pomodoro dimostrando i benefici dell'impiego di colture di copertura come</p>

<sup>4</sup> Poeplau C. e Don A. (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.

	<p>le leguminose<sup>5</sup>. In quest'ultimo caso è possibile stimare un quantitativo di CO<sub>2</sub> sequestrata in 3 anni di sperimentazione pari a 11,66 tonCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup>.</p> <p>Si precisa che i valori riportati rappresentano solamente una stima preliminare condotta sulla base di dati di letteratura. I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>
<b>Scenario di base</b>	Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l'utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO <sub>2</sub> .
<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	L'inserimento di colture di copertura consente di ridurre i fenomeni erosivi del suolo e il compattamento, favorire il ricircolo degli elementi nutritivi, di agevolare il controllo di infestanti e parassiti, di aumentare la sostanza organica presente nel suolo.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	Il principale beneficio ambientale ottenibile a scala globale è l'elevato potenziale di mitigazione dei GHG nei terreni coltivati.  Altri benefici sono l'aumento della biodiversità, miglioramento della qualità dell'aria.
<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Tra i benefici socio-economici ottenibili è possibile citare l'incremento della resa agricola delle colture. L'impiego delle colture di copertura come pacciamatura viva, in particolare quando si utilizzano leguminose rappresenta un potenziale strumento per migliorare la resa delle colture. Infatti, in uno studio sperimentale recentemente condotto la rotazione colturale cavolfiore/pomodoro ha mostrato una maggiore produzione quando il sistema includeva le colture di copertura con leguminose (i.e., <i>Trifolium incarnatum</i> L.) rispetto alla gestione convenzionale. È stato inoltre dimostrato che le leguminose, rilasciando C nel sistema, stimolano l'attività microbica migliorando la qualità del terreno stesso <sup>6</sup> .
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di incremento di resa agricola. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.
<b>Altri benefici ottenibili</b>	Sperimentazione di tecnologie emergenti per la gestione sostenibile dei suoli.

<sup>5</sup> Persiani A., Diacono M., Montemurro F. (2022) Soil hydraulic arrangement and agro-ecological practices in organic rotations: effects on crop performance, soil properties and carbon balance, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46:8, 1173-1197, DOI: 10.1080/21683565.2022.2106009.

<sup>6</sup> Persiani A., Diacono M., Montemurro F. (2022) Soil hydraulic arrangement and agro-ecological practices in organic rotations: effects on crop performance, soil properties and carbon balance, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46:8, 1173-1197, DOI: 10.1080/21683565.2022.2106009.



	<p>Continuo monitoraggio mediante schemi “learning by doing” dei costi, dei benefici e degli effetti della pratica gestionale.</p> <p>Miglioramento della qualità della vita.</p>
<b>PRATICA 2</b>	Tecniche di <i>minimum tillage</i> (minima lavorazione)
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	<p>Il potenziale sequestro è molto variabile e dipende da numerosi fattori sito-specifici (come il tipo di suolo, condizioni ambientali e climatiche, modalità e tipologia di tecniche di gestione dei terreni) e da apporti di carbonio organico esterni (come concimazione e gestione dei residui colturali).</p> <p>I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>
<b>Scenario di base</b>	Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l'utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO <sub>2</sub> .
<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	Riduzione del tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo. Ottenimento di un letto di semina soddisfacente senza inversione completa degli strati.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	<p>Il principale beneficio ambientale ottenibile a scala globale è l'elevato potenziale di mitigazione dei GHG nei terreni coltivati.</p> <p>Altri benefici sono l'aumento della biodiversità, miglioramento della qualità dell'aria.</p>
<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Riduzione del numero di passaggi di macchina
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di uso gestionale delle risorse. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.
<b>Altri benefici ottenibili</b>	<p>Sperimentazione di tecnologie emergenti per la gestione sostenibile dei suoli.</p> <p>Continuo monitoraggio mediante schemi “learning by doing” dei costi, dei benefici e degli effetti della pratica gestionale.</p> <p>Miglioramento della qualità della vita.</p>

### 3.2 MAIS

Con riferimento alla coltura del mais, la Tabella 4 riporta una sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative (“Recommended Management Practices”, RMP) individuate nel Task 1.1, in particolare la pratica relativa al *cover crops* (colture di copertura) e la pratica agricola del *minimum tillage* (minima lavorazione).

**Tabella 4.** Sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative individuata nel Task 1.1 per la coltura del mais.

<b>PRATICA 1</b>	<i>Cover crops</i> (colture di copertura) autunno-vernine e l'uso di specie caratterizzate da un diverso rapporto C/N (e.g., leguminose come la veccia e graminacee come ad esempio la loiessa)
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	<p>Gli studi sperimentali condotti mediante colture di copertura hanno evidenziato valori annuali di C sequestrato molto variabili in funzione della tipologia di coltura di copertura utilizzata e delle condizioni sperimentali impiegati. Sinteticamente si riportano alcuni valori e relativa stima della CO<sub>2</sub> sequestrata:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- l'utilizzo della specie leguminosa <i>Mucuna Pruriens Var</i><sup>7</sup> ha determinato un tasso di sequestro di C (Carbon sequestration rate) pari a 1,3 ton ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, dal quale, sulla base del rapporto stechiometrico tra CO<sub>2</sub> e C (44/12), è possibile stimare ~4,77 tonCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.</li> <li>- l'utilizzo di graminacee<sup>8</sup> ha determinato un tasso di sequestro di C (Carbon sequestration rate) pari a 0,52 ton ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> dal quale, sulla base del rapporto stechiometrico tra CO<sub>2</sub> e C (44/12), è possibile stimare ~1,91 tonCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.</li> </ul> <p>Si precisa che i valori riportati rappresentano solamente una stima preliminare condotta sulla base di dati di letteratura.</p> <p>Il potenziale sequestro è molto variabile e dipende da numerosi fattori sito-specifici (come il tipo di suolo, condizioni ambientali e climatiche, modalità e tipologia di tecniche di gestione dei terreni) e da apporti di carbonio organico esterni (come concimazione e gestione dei residui colturali).</p> <p>I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>

<sup>7</sup> Barthès, B., Barthès, B., Azontonde, A., Blanchart, E., Girardin, C., Villenave, C., Lesaint, S., Oliver, R., & Feller, C. (2004). Effect of a legume cover crop on soil carbon in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. *Soil Use and Management*, 20(2), 231–239. <https://doi.org/10.1079/SUM2004235>.

<sup>8</sup> Porwollik, V., Rolinski, S., Heinke, J., von Bloh, W., Schaphoff, S., & Müller, C. (2022). The role of cover crops for cropland soil carbon, nitrogen leaching, and agricultural yields – a global simulation study with LPJmL (V. 5.0-tillage-cc). *Biogeosciences*, 19(3), 957–977. <https://doi.org/10.5194/bg-19-957-2022>

<b>Scenario di base</b>	Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l'utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO <sub>2</sub> .
<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	L'inserimento di colture di copertura consente di ridurre i fenomeni erosivi del suolo e il compattamento, favorire il ricircolo degli elementi nutritivi, di agevolare il controllo di infestanti e parassiti, di aumentare la sostanza organica presente nel suolo.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	Il principale beneficio ambientale ottenibile a scala globale è l'elevato potenziale di mitigazione dei GHG nei terreni coltivati.  Altri benefici sono l'aumento della biodiversità, miglioramento della qualità del suolo, dell'aria.
<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Incremento della disponibilità di nutrienti nel terreno.  L'impiego delle colture di copertura come pacciamatura viva, in particolare quando si utilizzano leguminose rappresenta un potenziale strumento per migliorare la resa delle colture. È stato inoltre dimostrato che le leguminose, rilasciando C nel sistema, stimolano l'attività microbica migliorando la qualità del terreno stesso <sup>9</sup> .
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di incremento di resa agricola. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.
<b>Altri benefici ottenibili</b>	I parchi e le aree verdi rappresentano luoghi di svago e interazione sociale per i cittadini rafforzando il loro legame con il territorio e la natura provocando un generale miglioramento della qualità della vita.
<b>PRATICA 2</b>	Tecniche di <i>minimum tillage</i> (minima lavorazione)
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	Gli studi sperimentali condotti mediante colture di copertura hanno evidenziato valori annuali di C sequestrato molto variabili in funzione della tipologia di coltura di copertura utilizzata e delle condizioni sperimentali impiegati. Sinteticamente si riportano alcuni valori e relativa stima della CO <sub>2</sub> sequestrata:

<sup>9</sup> Persiani A., Diacono M., Montemurro F. (2022) Soil hydraulic arrangement and agro-ecological practices in organic rotations: effects on crop performance, soil properties and carbon balance, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46:8, 1173-1197, DOI: 10.1080/21683565.2022.2106009.

	<p>- la lavorazione condotta a 5 cm di profondità e la rotazione riso/mais<sup>10</sup> hanno determinato un tasso di sequestro di C (Carbon sequestration rate) pari a 3,8 ton C ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>, dal quale, sulla base del rapporto stechiometrico tra CO<sub>2</sub> e C (44/12), è possibile stimare ~13,95 tonCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.</p> <p>- l'utilizzo combinato di minima lavorazione e colture di copertura in un'area geografica semiarida<sup>11</sup> ha determinato un tasso di sequestro di C (Carbon sequestration rate) pari a 0,65 ton ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> dal quale, sulla base del rapporto stechiometrico tra CO<sub>2</sub> e C (44/12), è possibile stimare ~2,38 tonCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup>.</p> <p>Si precisa che i valori riportati rappresentano solamente una stima preliminare condotta sulla base di dati di letteratura.</p> <p>Il potenziale sequestro è molto variabile e dipende da numerosi fattori sito-specifici (come il tipo di suolo, condizioni ambientali e climatiche, modalità e tipologia di tecniche di gestione dei terreni) e da apporti di carbonio organico esterni (come concimazione e gestione dei residui colturali).</p> <p>I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>
<b>Scenario di base</b>	Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l'utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO <sub>2</sub> .
<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	Riduzione del tasso di mineralizzazione della sostanza organica del suolo. Ottenimento di un letto di semina soddisfacente senza inversione completa degli strati.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	Il principale beneficio ambientale ottenibile a scala globale è l'elevato potenziale di mitigazione dei GHG nei terreni coltivati.  Altri benefici sono l'aumento della biodiversità, miglioramento della qualità del suolo, dell'aria.
<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Riduzione del numero di passaggi di macchina.
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di uso gestionale delle risorse. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.

<sup>10</sup> Liu, W.-X., Wei, Y.-X., Li, R.-C., Chen, Z., Wang, H.-D., Virk, A. L., Lal, R., Zhao, X., & Zhang, H.-L. (2022). Improving soil aggregates stability and soil organic carbon sequestration by no-till and legume-based crop rotations in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 847, 157518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157518>.

<sup>11</sup> Porwollik, V., Rolinski, S., Heinke, J., von Bloh, W., Schaphoff, S., & Müller, C. (2022). The role of cover crops for cropland soil carbon, nitrogen leaching, and agricultural yields – a global simulation study with LPJmL (V. 5.0-tillage-cc). *Biogeosciences*, 19(3), 957–977. <https://doi.org/10.5194/bg-19-957-2022>

<b>Altri benefici ottenibili</b>	<p>Sperimentazione di tecnologie emergenti per la gestione sostenibile dei suoli.</p> <p>Continuo monitoraggio mediante schemi “learning by doing” dei costi, dei benefici e degli effetti della pratica gestionale.</p> <p>Miglioramento della qualità della vita.</p>
----------------------------------	---

### 3.3 PERO

Con riferimento alla coltura del pero, la Tabella 5 riporta una sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative (“Recommended Management Practices”, RMP) individuate nel Task 1.1, in particolare la pratica relativa al Sovescio nell’interfila (per la varietà William) e la pratica agricola della subirrigazione profonda (varietà Abate Fétel).

**Tabella 5.** Sintesi dei principali benefici ambientali e socio-economici relativi alle pratiche gestionali alternative individuata nel Task 1.1 per la coltura del pero.

<b>PRATICA</b> [varietà William]	<b>Sovescio nell’interfila</b>
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	<p>Un recente studio ha dimostrato che la combinazione di due diverse specie nell’interfila (<i>Astragalus sinicus</i> L e <i>Lathyrus sativus</i> L.) permette di aumentare il sequestro di carbonio in un pereto<sup>12</sup>. In funzione alla variazione delle percentuali delle due specie sono stati ottenuti valori di C fissato compresi tra 0,846 e 13,2 ton ha<sup>-1</sup>.</p> <p>Si precisa che i valori riportati rappresentano solamente una stima preliminare condotta sulla base di dati di letteratura. I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>
<b>Scenario di base</b>	<p>Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l’utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO<sub>2</sub>.</p>

<sup>12</sup> Zhang Q, Peng Y, Wang J, Li L, Yao D, Zhang A, Wang W, Kuang S, Liao H, Zhu Q, Zhang B. Improving Ecological Functions and Ornamental Values of Traditional Pear Orchard by Co-Planting of Green Manures of *Astragalus sinicus* L. and *Lathyrus sativus* L. *Sustainability*. 2021; 13(23):13092. <https://doi.org/10.3390/su132313092>.

<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	Riduzione erosione suolo e miglioramento fertilità del suolo. Incremento sostanza organica stabile presente nel suolo. Miglioramento della biodiversità.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	Il principale beneficio ambientale ottenibile a scala globale è l'elevato potenziale di mitigazione dei GHG nei terreni coltivati.  Altri benefici sono l'aumento della biodiversità, miglioramento della qualità del suolo, dell'aria.
<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi.
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di uso razionale delle risorse. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.
<b>Altri benefici ottenibili</b>	Sperimentazione di tecnologie emergenti per la gestione sostenibile dei suoli.  Continuo monitoraggio mediante schemi "learning by doing" dei costi, dei benefici e degli effetti della pratica gestionale.  Miglioramento della qualità della vita.
<b>PRATICA</b> [varietà Abate Fétel]	<b>Subirrigazione profonda</b>
<b>BENEFICI AMBIENTALI</b>	
<b>Stima del sequestro di CO<sub>2</sub></b>	I dati sperimentali e il confronto con le pratiche agricole BAU forniranno dei valori più accurati relativi alla stima del sequestro di CO <sub>2</sub> per questa pratica agricola.
<b>Scenario di base</b>	Lo scenario di base è considerato quello che si verificherebbe in assenza del progetto in esame. Sarà quindi necessario confrontare la pratica agricola BAU con la pratica gestionale che prevede l'utilizzo delle colture di copertura in termini di sequestro di CO <sub>2</sub> .
<b>Benefici ambientali a scala locale</b>	Uso razionale della risorsa idrica. Minore crescita di specie erbacee infestanti.
<b>Benefici ambientali a scala globale</b>	Riduzione delle emissioni e del tasso di mineralizzazione della sostanza organica.

<b>BENEFICI SOCIO-ECONOMICI</b>	
<b>Effetti socio-economici ottenibili</b>	Minore quantitativo di acqua utilizzata per l'irrigazione. Riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti e diserbanti.
<b>Comunità beneficiarie del progetto</b>	Le aziende agricole saranno le beneficiarie principali dei miglioramenti in termini di uso razionale delle risorse. Tuttavia, i benefici ottenibili si estenderanno anche a scala locale e globale.
<b>Altri benefici ottenibili</b>	Sperimentazione di tecnologie emergenti per la gestione sostenibile dei suoli. Continuo monitoraggio mediante schemi "learning by doing" dei costi, dei benefici e degli effetti della pratica gestionale. Miglioramento della qualità della vita.

#### 4 BIBLIOGRAFIA

- Liu, W.-X., Wei, Y.-X., Li, R.-C., Chen, Z., Wang, H.-D., Virk, A. L., Lal, R., Zhao, X., & Zhang, H.-L. (2022). Improving soil aggregates stability and soil organic carbon sequestration by no-till and legume-based crop rotations in the North China Plain. *Science of The Total Environment*, 847, 157518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157518>.
- ISMEA, Ronga M., Chiriaco M. V., Pellis G., Perugini L., Valentini R., 2018: Metodologia per l'attuazione di meccanismi volontari di riduzione e compensazione delle emissioni a livello di distretto zootecnico. Rete rurale nazionale 2014-2020, Piano di azione biennale 2017-18. Scheda progetto ISMEA 14.1 Cambiamenti climatici, emissioni.
- Porwollik, V., Rolinski, S., Heinke, J., von Bloh, W., Schaphoff, S., & Müller, C. (2022). The role of cover crops for cropland soil carbon, nitrogen leaching, and agricultural yields – a global simulation study with LPJmL (V. 5.0-tillage-cc). *Biogeosciences*, 19(3), 957–977. <https://doi.org/10.5194/bg-19-957-2022>
- Barthès, B., Barthès, B., Azontonde, A., Blanchart, E., Girardin, C., Villenave, C., Lesaint, S., Oliver, R., & Feller, C. (2004). Effect of a legume cover crop on soil carbon in an Ultisol under maize cultivation in southern Benin. *Soil Use and Management*, 20(2), 231–239. <https://doi.org/10.1079/SUM2004235>.
- Persiani A., Diacono M., Montemurro F. (2022) Soil hydraulic arrangement and agro-ecological practices in organic rotations: effects on crop performance, soil properties and carbon balance, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 46:8, 1173-1197, DOI: 10.1080/21683565.2022.2106009.

Poeplau C. e Don A. (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 200, 33-41.

<https://temi.camera.it/leg19/post/assorbimento-del-carbonio.html>

Zhang Q, Peng Y, Wang J, Li L, Yao D, Zhang A, Wang W, Kuang S, Liao H, Zhu Q, Zhang B. Improving Ecological Functions and Ornamental Values of Traditional Pear Orchard by Co-Planting of Green Manures of *Astragalus sinicus* L. and *Lathyrus cicera* L. *Sustainability*. 2021; 13(23):13092. <https://doi.org/10.3390/su132313092>.

IPCC 2019, (2019) 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.

Standard for sustainability credits from sustainable olive grove management. LIFE15 CCM/IT/000141 [www.OLIVE4CLIMATE.eu](http://www.OLIVE4CLIMATE.eu)

UNFCCC Small-scale Methodology AR-AMS0007: Simplified baseline and monitoring methodology for small scale CDM afforestation and reforestation project activities implemented on lands other than wetlands. <https://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved>

VCS (Verified Carbon Standard) v4.2. The VCS Standard sets out all specific requirements for developing projects and for the validation, monitoring and verification of projects and GHG emission reductions and removals. 20 January 2022

VCS Methodology, VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0. December 2021 Sectoral Scope 14. <https://verra.org/methodologies/>

VCS Methodology, VM0017 Adoption of Sustainable Agricultural Land Management, v1.014 Sectoral Scope 14. <https://verra.org/methodologies/>

VCS Methodology, VM0021 Soil Carbon Quantification Methodology, v1.014 Sectoral Scope 14. <https://verra.org/methodologies/>

VCS Methodology, VM0022 Quantifying N2O Emissions Reductions in Agricultural Crops through Nitrogen Fertilizer Rate Reduction, v1.1 Sectoral Scope 14. <https://verra.org/methodologies/>





# CE.SI.S.P.

Centro per lo Sviluppo della Sostenibilità dei Prodotti

<b>Dettagli documento</b>	
Titolo	Azione 3: Elaborazione di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio nel carbon farming e calcolo delle emissioni nette
Sottotitolo	Task 3.1 Definizione della metodologia per colture erbacee ed arboree
Progetto	FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE - Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio CONTROL CARBON
Data	13 giugno 2024
Versione	0.1
Autore	Università degli Studi di Genova
Cliente	Conservas Italia Soc. Coop. Agr.

01	13/06/2024	S.Spotorno	M. Gallo	P. Crudele A. Del Borghi	Modifiche post revisione
00	31/05/2024	S.Spotorno	M. Gallo	P. Crudele A. Del Borghi	Prima emissione
REV.	DATA	REDATTA	VERIFICATA	APPROVATA	DESCRIZIONE

## INDICE

1.	PREMESSA .....	3
2.	ANALISI DELLE METODOLOGIE ESISTENTI.....	4
3.	CONTENUTI DELLA METODOLOGIA .....	4
4.	PRATICHE DI CARBON FARMING .....	4
5.	ELEGGIBILITÀ DEI PROGETTI .....	5
6.	ADDIZIONALITÀ DEI PROGETTI.....	6
7.	CONFINI DEL SISTEMA.....	8
8.	QUANTIFICAZIONE .....	10
9.	MODALITÀ DI RACCOLTA DATI.....	11
10.	CALCOLO DEL SEQUESTRO DI CARBONIO.....	12
11.	MONITORAGGIO .....	13
	<b>ALLEGATO A - METODO DI CALCOLO PER LE COLTURE OGGETTO DELLO STUDIO ....</b>	<b>15</b>
1.	MAIS E POMODORO .....	15
1.1.	MODELLO PRELIMINARE.....	15
1.2.	MODELLO ROTH C .....	16
2.	PERO .....	18
2.1.	MODELLO PRELIMINARE.....	18
3.	MODELLO SPECIFICO PER PRATICHE SPECIFICHE DI CARBON FARMING .....	19
3.1.1.	Introduzione di colture di copertura .....	20
3.1.2.	Opzioni di lavorazione meccanica del terreno (Tillage).....	20
3.1.3.	Sostituzione di fertilizzanti inorganici con fertilizzanti organici .....	23
3.2.	PERO .....	23
3.2.1.	Introduzione di colture di copertura nell'interfila.....	23
3.2.2.	Inerbimento permanente nell'interfila.....	23
3.2.3.	Reintroduzione in campo dei residui di potatura.....	24
3.2.4.	Utilizzo di fertilizzante organico .....	24
3.3.	DATI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DEI MODELLI .....	26
3.3.1.	Mais e pomodoro – Modello preliminare .....	26
3.3.2.	Mais e pomodoro – Modello RothC.....	26
3.3.3.	Pero – Modello preliminare .....	26
	<b>ALLEGATO B - FORMULE IMPIEGATE NELLE EQUAZIONI.....</b>	<b>29</b>
1.	MAIS E POMODORO .....	29
2.	PERO .....	33

## 1. PREMESSA

La Società CONSERVE ITALIA SOC. COOP. AGRICOLA, azienda che ha sempre puntato allo sviluppo sostenibile quale fattore positivo e caratterizzante della propria mission, ha deciso di realizzare un progetto relativo alla contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio. Il progetto è stato finanziato all'interno della FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE.

Il presente documento riporta i risultati del TASK 3.1 DEFINIZIONE DELLA METODOLOGIA. In particolare, le attività svolte sono declinate nelle fasi seguenti:

1. Analisi delle metodologie esistenti di monitoraggio, comunicazione e verifica del sequestro del carbonio nei suoli agricoli utilizzati sia nel campo degli standard volontari che nei regolamenti cogenti.
2. Predisposizione di una metodologia ad hoc per le azioni di sequestro del carbonio nei suoli agricoli tra quelle selezionate nel Task 1.2
3. Definizione di una base a supporto della contabilizzazione e della certificazione fissando requisiti solidi dal punto di vista scientifico in termini di qualità delle misurazioni, standard di monitoraggio, protocolli di comunicazione, strumenti di verifica e replicabilità dei risultati.
4. Definizione della tipologia, della qualità e delle modalità di raccolta dati relative alle singole colture oggetto dello studio.
5. Definizione delle formule e degli strumenti di calcolo della baseline o alternativamente del cap di riferimento per la quantificazione dei crediti di carbonio generabili.

---

### AZIENDA

CONSERVE ITALIA	Via Paolo Poggi, 11
SOC. COOP. AGRICOLA	40068 San Lazzaro di Savena (BO) - Italia
	Web: <a href="http://www.conserveitalia.it">www.conserveitalia.it</a>

---

### PERSONE DI CONTATTO

Dott. Pietro Crudele	Responsabile Sostenibilità Ambientale e Certificazioni
	Tel: (+39) 051 6228319
	E-mail: <a href="mailto:pcrudele@ccci.it">pcrudele@ccci.it</a>

---

### PERSONE DI RIFERIMENTO Università di Genova

Prof. Ing Adriana Del Borghi	e-mail: <a href="mailto:adriana.delborghi@unige.it">adriana.delborghi@unige.it</a>
Prof. Dott. Michela Gallo	<a href="mailto:michela.gallo@unige.it">michela.gallo@unige.it</a>

---

## 2. ANALISI DELLE METODOLOGIE ESISTENTI

Nell'ambito dei mercati volontari del carbonio (Voluntary Carbon Markets – VCM) esistono diversi Standard Internazionali che hanno sviluppato metodologie per la generazione di progetti applicabili in ambito agricolo. In particolare, alcune delle più rilevanti sono:

- Gold Standard “Soil organic carbon framework methodology”: framework methodology che prevede l'utilizzo di diversi activity modules a seconda della pratica agricola considerata.
- Verra VM0042 Methodology for Improved Agricultural Land Management, v2.0

Al momento della redazione del presente documento, non esiste un regolamento cogente per quanto riguarda il carbon farming, tuttavia la Commissione Europea sta lavorando ad un Regolamento che definirà uno schema di certificazione delle riduzioni di emissioni di gas serra e rimozioni di anidride carbonica in ambito agricolo.

## 3. CONTENUTI DELLA METODOLOGIA

La metodologia proposta è basata su impostazione analoga a metodologie esistenti per la generazione di progetti applicabili in ambito agricolo presentati dagli Standard internazionali Verra e Gold Standard, ed è strutturata sui seguenti paragrafi che definiscono i requisiti:

- Pratiche di carbon farming
- Eleggibilità dei progetti
- Addizionalità dei progetti
- Confini del sistema
- Quantificazione
- Modalità di raccolta dati
- Definizione della metodologia
- Monitoraggio

## 4. PRATICHE DI CARBON FARMING

Per Carbon Farming si intende l'insieme delle pratiche volte ad arricchire il terreno di carbonio organico tramite la gestione di terreni agricoli con un approccio a lungo termine. L'obiettivo è di ridurre la quantità di anidride carbonica in atmosfera e combattere il cambiamento climatico.

Un elenco, non esaustivo, di pratiche di carbon farming che può essere valutato con la presente metodologia è come segue:

Colture erbacee:

1. Uso di cover crops (valutando sia leguminose che graminacee);

2. Adozione di pratiche di minima lavorazione;
3. Tecniche di pacciamatura verde nell'interfila;
4. Aggiunta di letame solido/compost;

Colture arboree:

1. Uso di subirrigazione profonda (per cv. Abate fétel);
2. Adozione di sovescio nell'interfila (per cv. William);
3. A livello esplorativo, tecniche di pacciamatura verde nell'interfila (cv. William).
4. Uso di cover crops;
5. Inerbimento permanente dell'interfila;
6. Reintroduzione in frutteto dei residui di potatura;
7. Uso di fertilizzante organico quale letame o compost.

Viene ritenuto possibile valutare anche altre tecniche di carbon farming ritenute rilevanti dalla letteratura scientifica di settore e che possano potenzialmente apportare un importante aumento dello stock di carbonio nel terreno.

## 5. ELEGGIBILITÀ DEI PROGETTI

Questa metodologia si applica a una vasta gamma di attività di progetto volte all'aumento dello stoccaggio di SOC e/o alla riduzione delle emissioni nette di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O derivanti dalle operazioni di gestione sostenibile dei terreni agricoli rispetto allo scenario di base.

La metodologia è applicabile alle seguenti condizioni:

1. I progetti devono introdurre o attuare **una o più nuove modifiche alle pratiche esistenti** di gestione dei terreni agricoli che:
  - a) migliorino la gestione dei fertilizzanti (organici o inorganici);
  - b) riducano la lavorazione del terreno/migliorino la gestione dei residui;
  - c) migliorino la piantumazione e la raccolta delle colture (ad esempio, miglioramento agroforestale, rotazioni delle colture, introduzione di colture di copertura);
  - d) migliorino la gestione dell'acqua/irrigazione;

Un cambiamento nella pratica consiste nell'adozione di una nuova pratica, nella cessazione di una pratica preesistente o nell'adattamento a una prassi preesistente che comporta una riduzione delle emissioni di gas a effetto serra.

2. I progetti che introducono o attuano modifiche alle pratiche esistenti **devono essere misurabili** (ad esempio, la diminuzione del tasso di applicazione del fertilizzante) e **devono superare il valore preesistente**, calcolato rispetto alla baseline.

3. Le attività del progetto devono essere attuate su **terreni agricoli o prativi alla data di inizio del progetto**. Il terreno deve rimanere coltivato o prativo per tutta la durata del progetto, tranne nei seguenti scenari:
- e) Introduzione di prati temporanei nelle terre coltivate, qualora sia dimostrato, prima della data di inizio del progetto, che l'integrazione delle colture foraggere (ad esempio, erbe annuali/perenni, leguminose) nelle colture annuali faccia parte di un sistema sostenibile di gestione del terreno pianificato a lungo termine (ad esempio, sistema integrato di coltura e allevamento). I proponenti del progetto devono fornire la documentazione dei piani di gestione a lungo termine che coprono la durata del progetto, descrivendo le pratiche proposte, le colture e i benefici attesi e i risultati dell'integrazione della gestione dei prati coltivati; oppure
  - f) Una conversione una tantum da terreno erboso a terreno agricolo o viceversa, dove è dimostrato, prima della convalida del progetto, che i terreni del progetto nello scenario di base sono degradati e l'introduzione di un cambiamento di uso del suolo pratiche migliorerebbe significativamente la salute del suolo. I proponenti del progetto devono fornire documentazione che dimostri che i terreni sono degradati all'inizio del progetto e che il degrado continuerà nello scenario di base a causa della presenza di fattori di degradazione o pressioni nello scenario di riferimento.
4. **Le variazioni dello stock/emissioni devono essere stimate attraverso modelli empirici o "process-based" che:**
- a) siano pubblici, anche se non necessariamente a titolo gratuito, e resi disponibili da una fonte riconosciuta (ad esempio, il sito web dello sviluppatore del modello, IPCC o agenzia governativa) che fornisca documentazione sugli input, output e su come il modello rappresenta le dinamiche SOC;
  - b) siano basati su fonti e valori chiaramente esplicitati per tutti i parametri utilizzati nel modello,
  - c) non varino negli scenari di baseline e di progetto, analogamente ai parametri. I modelli possono essere ricalibrati o rivisti sulla base di nuovi dati o un nuovo modello può essere adottato, a condizione che siano soddisfatti i requisiti sopra menzionati.

## 6. ADDIZIONALITÀ DEI PROGETTI

Questa metodologia si basa sulla dimostrazione dell'addizionalità delle attività di progetto, rispetto ad uno scenario di baseline.

L'addizionalità deve essere dimostrata attraverso i seguenti passaggi:

1. Dimostrare un surplus normativo;
2. Identificare le barriere istituzionali che impedirebbero l'attuazione di un cambiamento nelle pratiche di gestione dei terreni agricoli preesistenti; e

### 3. Dimostrare che l'adozione della attività proposte non è una pratica comune.

#### *Passo 1: Surplus normativo*

Il promotore del progetto deve dimostrare un surplus normativo rispetto a quanto risulta previsto da leggi o regolamenti cogenti nell'area dove viene sviluppato il progetto che, pertanto, deve avere carattere volontario.

#### *Passo 2: Identificare le barriere che impedirebbero l'attuazione di un cambiamento nelle pratiche di gestione dei terreni agricoli preesistenti*

Il promotore del progetto deve determinare se esistono barriere finanziarie, temporali/informative, culturali/sociali (ad esempio, pratiche culturali e norme sociali) ed istituzionali ai cambiamenti proposti nelle pratiche di gestione dei terreni agricoli, che impediscono l'attuazione dell'attività di progetto senza l'intervento del promotore dello stesso.

Il promotore del progetto deve elencare e descrivere le barriere all'attuazione dei cambiamenti proposti alle pratiche di gestione dei terreni agricoli pre-progetto e dimostrare, facendo anche riferimento a studi specifici, che il cambiamento non avverrebbe se il progetto non fosse intrapreso dal promotore del progetto. Le barriere che devono essere superate possono includere conoscenze consolidate, consuetudini, condizioni di mercato e mancanza di incentivi per cambiare le pratiche, inclusi, ma non limitati a:

- Apertura del coltivatore a nuove idee e percezione dell'entità del cambiamento;
- Attrezzature e tecnologie tradizionali;
- Tolleranza al rischio del coltivatore e convinzioni sulla fattibilità dell'adozione di nuove pratiche.

#### *Passo 3: Dimostrare che l'adozione delle attività proposte non è pratica comune*

Il promotore del progetto deve determinare se l'attività proposta è pratica comune in ciascuna area inclusa nei confini geografici del progetto.

La pratica comune è definita in base alla prevalenza di attuazione. Un'attività con un tasso di attuazione esistente elevato può essere considerata addizionale solo attraverso la valutazione del tasso medio per tutti i terreni del progetto.

Il tasso di attuazione medio può essere dimostrato facendo riferimento a:

- a) Censimenti agricoli;
- b) Letteratura scientifica;
- c) Dati di ricerca indipendenti;
- d) Rapporti o valutazioni compilati da associazioni di settore.

Quando i Passaggi 1-3 sono soddisfatti, il progetto è addizionale.

## 7. CONFINI DEL SISTEMA

L'estensione geografica dei confini del progetto include tutti i terreni agricoli dove è prevista l'implementazione delle pratiche di carbon farming. Le riserve di carbonio incluse nei confini del sistema, sia nello scenario di base che in quello del progetto, sono elencate nella **Tabella 1**.

**Tabella 1.** Confini del sistema – riserve di carbonio

Fonte	Includere	Giustificazione
Biomassa legnosa fuori terra	Sì/Opzionale	La biomassa legnosa fuori terra deve essere inclusa quando le attività del progetto riducono significativamente questa riserva rispetto allo scenario di base. In tutti gli altri casi, la biomassa legnosa fuori terra è una riserva opzionale.
Biomassa non legnosa fuori terra	No	La riserva di carbonio non è inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Biomassa legnosa sotterranea	Opzionale	La biomassa legnosa sotterranea può essere inclusa opzionalmente quando le attività del progetto aumentano significativamente questa riserva rispetto allo scenario di base.
Biomassa non legnosa sotterranea	No	La riserva di carbonio non è inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Carbonio organico nel suolo (SOC)	Sì	Importante riserva di carbonio influenzata dall'attività del progetto che si prevede aumenterà nello scenario del progetto.
Prodotti in legno	No	Non pertinente per questa tipologia di progetti.

Le fonti di gas serra (GHG) inclusi nei confini del sistema negli scenari di baseline e di progetto sono elencate nella **Tabella 2**. Alcune specifiche riserve di carbonio e fonti di GHG possono essere considerate non significative e non necessitano di essere contabilizzate (cioè, il loro valore può essere impostato a zero). La riserva di Carbonio Organico nel Suolo (SOC) deve essere inclusa nei confini del progetto (cioè, deve essere monitorata come parte del progetto e non può essere considerata trascurabile).



**Tabella2.** Confini del sistema – fonti di GHG

Fonte	Gas	Includere	Giustificazione
Carbonio organico nel suolo (SOC)	CO <sub>2</sub>	Sì	Quantificato come variazione delle riserve nel serbatoio, anziché come fonte di emissioni
Combustibili fossili	CO <sub>2</sub>	S*	Le fonti di emissioni da combustibili fossili sono i veicoli (fonti mobili, come camion, trattori) e l'equipaggiamento meccanico necessario per l'attività di gestione del territorio agricolo.
Liming del terreno	CO <sub>2</sub>	S*	L'applicazione di calcare o dolomia come ammendante del suolo può rappresentare una significativa fonte di emissioni di CO <sub>2</sub> .
Metanogenesi del terreno	CH <sub>4</sub>	S*	Condizioni anossiche nel suolo possono portare alla metanogenesi del suolo.
Fermentazione enterica	CH <sub>4</sub>	Sì	Quando il bestiame è presente nello scenario del progetto o della baseline, le emissioni di CH <sub>4</sub> dalla fermentazione enterica devono essere incluse nel confine del progetto.
Deposizione del letame	CH <sub>4</sub>	Sì	Quando il bestiame è presente nello scenario del progetto o della baseline, le emissioni di CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O dalla deposizione e gestione del letame devono essere incluse nel confine del progetto.
Utilizzo di fertilizzanti azotati	N <sub>2</sub> O	Sì	Quando, nello scenario di baseline, l'area del progetto sarebbe stata soggetta a fertilizzazione azotata o quando la fertilizzazione azotata è maggiore nello scenario con progetto rispetto allo scenario di base, le emissioni di N <sub>2</sub> O dai fertilizzanti azotati devono essere incluse nel confine del progetto.
Combustione di biomassa	CO <sub>2</sub>	Escluso	Le diminuzioni delle riserve di carbonio dovute alla combustione sono contabilizzate come variazione delle riserve di carbonio.
Combustione di biomassa	CH <sub>4</sub>	S*	La combustione di biomassa rilascia CH <sub>4</sub> .
Combustione di biomassa	N <sub>2</sub> O	S*	La combustione di biomassa rilascia N <sub>2</sub> O.
Biomassa legnosa	CO <sub>2</sub>	S*	Quantificato come variazione delle riserve/dello stock nel serbatoio anziché come fonte di emissioni

S\* – Deve essere incluso quando l'attività del progetto aumenta significativamente le emissioni rispetto allo scenario di base e può essere incluso quando l'attività del progetto riduce le emissioni rispetto allo scenario di base.

## 8. QUANTIFICAZIONE

Questa metodologia fornisce gli strumenti per il calcolo della riduzione delle emissioni da parte delle fonti di GHG e/o l'aumento degli assorbimenti da parte dei serbatoi/pool di carbonio derivanti dall'adozione di pratiche di carbon farming.

L'obiettivo principale del calcolo è quantificare la variazione dello stock di carbonio organico del suolo (SOC) e le emissioni di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O (GHG) risultanti dallo scenario del progetto rispetto alla baseline.

Le emissioni vengono definite in termini di flusso di gas serra, espressi in tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente per unità di superficie e per periodo di monitoraggio.

I cambiamenti nello stoccaggio e nelle emissioni di ogni componente inclusa vengono considerati in relazione all'area campionata.

I metodi per quantificare le emissioni di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O sono elencati nella **Tabella 3**.

Un progetto può utilizzare differenti approcci di quantificazione ammissibili per una determinata fonte durante il periodo di durata del progetto, a condizione che venga utilizzato lo stesso metodo sia per il progetto che per lo scenario di baseline.

Gli approcci di quantificazione sono i seguenti:

### Metodo di Quantificazione 1: Misura e Modellazione

Si utilizza un modello per stimare il flusso di gas serra in base alle caratteristiche del suolo, alle pratiche di gestione agricola sostenibile implementate, ai valori iniziali misurati dello stock di carbonio organico nel suolo (SOC) e alle condizioni climatiche nelle unità campionate.

### Metodo di Quantificazione 2: Misura e Rilevamento Successivo

Si utilizza la misurazione diretta per quantificare le variazioni nello stock di SOC. Questo metodo è rilevante quando i modelli non sono disponibili o non sono ancora stati validati o parametrizzati, o quando i promotori del progetto preferiscono utilizzare un metodo di misurazione diretta per il cambiamento dello stock di SOC. Lo scenario di base viene misurato e rilevato direttamente presso un sito di controllo di base collegato a una o più unità campione. Il Metodo di Quantificazione 2 è applicabile solo al SOC.

### Metodo di Quantificazione 3: Fattori Predefiniti

Il flusso di gas serra viene calcolato utilizzando i fattori delle Linee Guida IPCC 2006 per gli Inventari Nazionali di Gas Serra (agg.2019), utilizzando le equazioni contenute nella presente metodologia.

**Tabella 3.** Metodi per quantificare le emissioni di CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O

GHG/ Pool	Fonte	Metodo 1	Metodo 2	Metodo 3
CO <sub>2</sub>	SOC	X	X	
	Combustibile fossile			X
	Liming			X

	Biomassa legnosa			X
	Combustione di biomassa			X
CH <sub>4</sub>	Metanogenesi del terreno	X		
	Fermentazione enterica			X
	Spandimento del letame			X
	Combustione di biomassa			X
N <sub>2</sub> O	Uso di fertilizzanti azotati	X		X
	Uso di specie che fissano azoto	X		X
	Spandimento del letame			X
	Combustione di biomassa			X

Nel caso in cui una determinata attività non venga praticata negli scenari di baseline o di progetto, risultando in un contributo effettivo pari a zero, tale elemento può essere trascurato nelle equazioni.

## 9. MODALITÀ DI RACCOLTA DATI

I dati e i parametri necessari per l'applicazione della metodologia si differenziano a seconda dell'approccio di quantificazione scelto. Di seguito sono specificate le fonti ammissibili di informazioni in ordine decrescente di accuratezza:

1. Misurazioni specifiche effettuate in campo per l'arco temporale necessario all'applicazione della metodologia scelta;
2. Database che coprano l'areale di implementazione del progetto, risultanti dalla combinazione di misurazioni puntuali e interpolazioni/adattamenti spaziali che siano supportati da pubblicazioni scientifiche;
3. Valori medi regionali (sub-nazionali) derivati da dati di censimento agricolo o altre fonti (anzianità massima dei dati 20 anni dalla data di inizio del progetto);
8. Dati provenienti da letteratura scientifica per la coltura d'interesse nel progetto.

Dove esiste discrezionalità nella selezione di un valore per un parametro, deve essere applicato il principio della conservatività.

Tutte le informazioni qualitative sulle pratiche di gestione dei terreni agricoli devono essere determinate tramite consultazione con l'agricoltore o il proprietario del terreno del terreno "campione". Qualora l'agricoltore o il proprietario del terreno non siano in grado di fornire informazioni qualitative (ad esempio, se un campo campione è appena stato affittato), il proponente del progetto può utilizzare le seguenti fonti ammissibili, in ordine decrescente di accuratezza:

1. Registri di gestione storici relativi al terreno campione selezionato (ad esempio, registri di gestione, ricevute o fatture, specifiche di attrezzature agricole, registri o file contenenti dati di macchine e/o sensori) o telerilevamento (ad esempio, immagini satellitari, riprese di veicoli aerei pilotati, immagini di droni), dove le informazioni richieste sulle pratiche di gestione dei terreni agricoli

possono essere determinate in modo affidabile con questi metodi (ad esempio, stato della lavorazione del terreno, tipo di coltura, irrigazione).

2. Piani di gestione storici supportati da una o più forme di prova documentale relativi al terreno campione selezionato.
3. Valori medi regionali (sub-nazionali) derivanti da censimenti agricoli o altre fonti entro un periodo di 20 anni antecedente alla data di inizio del progetto.

Questa gerarchia si applica a qualsiasi input quantitativo aggiuntivo richiesto dal modello (Approcci di Quantificazione 1 e 2) o fattore predefinito (Approccio di Quantificazione 3) selezionato. Il principio della conservatività deve essere applicato in tutti i casi.

## 10. CALCOLO DEL SEQUESTRO DI CARBONIO

L'equazione generale per il calcolo delle rimozioni nette impiegata nella presente metodologia deriva da analoghe equazioni presenti nella letteratura di settore all'interno di metodologie specifiche di settore (UNFCCC AR-ACM0003 CDM, 2013<sup>12</sup>; IPCC 2003<sup>3</sup>, 2006; Verra<sup>4</sup> VM-0042, 2023<sup>5</sup>).

La formula ed i parametri identificati sono specifici per l'area geografica e per le colture oggetto del progetto, ovvero **colture arboree ed erbacee**.

Le rimozioni nette di carbonio di carbonio ottenibili grazie all'applicazione di pratiche agricole di carbon farming sono calcolate attraverso la seguente formula generale:

$$\mathbf{RIMOZIONI\ NETTE = CARBON\ FARMING\ (CF) - BASELINE\ (BE) - EMISSIONI\ PROGETTO\ (PE)}$$

dove:

- **Rimozioni nette:** sequestro di carbonio dovute all'applicazione delle pratiche di carbon farming al netto delle emissioni di progetto
- **Carbon farming:** sequestro di carbonio nella biomassa e nel suolo a seguito dell'implementazione delle pratiche di carbon farming
- **Baseline:** scenario BAU in assenza delle pratiche di carbon farming
- **Emissioni progetto:** emissioni generate dall'applicazione della tecnica di carbon farming (es. passaggi aggiuntivi del trattore sul campo che causano più emissioni dovute al consumo di diesel).

---

<sup>2</sup> UNFCCC, AR-ACM0003: Afforestation and reforestation of lands except wetlands, Version 2.0, 2013.

<sup>3</sup> IPCC, Penman J., Gytarsky M., Hiraishi T., Krug T., Kruger D., Pipatti R., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K., Wagner F., 2003: Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. IPCC National Greenhouse gas inventory programme.

<sup>4</sup> IPCC, Aalde H., Gonzalez P., Gytarsky M., Krug T., Kurz W. A., Lasco R. D., Martino D. L., McConkey B. G., Ogle S., Paustian K., Raison J., Ravindranath N.H., Schoene D., Smith P., Somogyi Z., van Amstel A., Verhot I., 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

<sup>5</sup> Verra, VM0042, METHODOLOGY FOR IMPROVED AGRICULTURAL LAND MANAGEMENT Version 2.0, 2023.

La **baseline di progetto** è caratterizzata dallo stock di carbonio che può essere sequestrato nella biomassa vivente ( $LB_{CO2Stocked}$ ) (ad esempio nell'albero), nel suolo ( $SOC_{CO2Stocked}$ ) o in entrambi, a seconda del tipo di coltivazione, in assenza di progetto. Le colture arboree avranno uno stock di carbonio costituito sia dalla biomassa viva (l'albero) sia dal suolo, mentre per colture erbacee il contributo della biomassa viva è pari a zero e lo stock è dato unicamente dal suolo. Un'eventuale perdita di carbonio ( $L$ ) dovuta a fenomeni quali l'erosione del suolo può essere sottratta dalla  $CO_2$  stoccato. L'equazione per descrivere lo stock di baseline risulta:

$$BE = LB_{CO2Stocked} + SOCC_{CO2Stocked} - L$$

Le pratiche di **carbon farming** possono agire sequestrando il carbonio nella biomassa vivente ( $LB_{CO2Sequestered}$ ), nel suolo ( $SOC_{CO2Sequestered}$ ) o in entrambi, a seconda delle misure applicate. Un'eventuale perdita di carbonio ( $L$ ) dovuta all'applicazione pratica può essere sottratta dal  $CO_2$  sequestrato. L'equazione risultante per i progetti di carbon farming è:

$$CF = LB_{CO2Sequestered} + SOC_{CO2Sequestered} - L$$

Quest'equazione fornisce un valore del sequestro complessivo del carbonio delle tecniche di carbon farming.

**Le emissioni di progetto** sono calcolate sulla base dei dati di attività e dei fattori di emissione in termini di GWP (Global Warming Potential) con approccio LCA (Life Cycle Assessment).

I metodi di calcolo per le colture oggetto dello studio, i modelli, i dati necessari e le formule impiegate nelle equazioni sono riportati negli allegati alla presente metodologia e ne costituiscono parte integrante.

## 11. MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio, necessario per garantire la permanenza delle condizioni di progetto per tutta la sua durata, deve essere redatto ed allegato ai documenti progettuali entro 6 mesi dall'inizio effettivo delle attività di carbon farming di progetto.

Il piano di monitoraggio deve contenere almeno le seguenti informazioni:

- Descrizione di ogni attività di monitoraggio da svolgere e i requisiti tecnici relativi;
- Definizione del confine, delineando spazialmente eventuali differenze nei confini e/o nei metodi di quantificazione;
- Parametri da misurare, inclusi eventuali parametri richiesti per il modello selezionato;
- Dati da raccogliere e tecniche di raccolta dati e progettazioni dei campioni per i parametri direttamente campionati;
- Piani di gestione dei siti di controllo della baseline, ove applicabili, inclusa la posizione e i confini, con dettagli adeguati a consentire l'implementazione del programma annuale di attività per l'unità di campionamento collegata;

- Piano di riesame del baseline decennale, dettagliando la fonte dei dati regionali (sub-nazionali) sulla produzione agricola e le procedure per la revisione del programma delle attività di baseline;
- Se necessario, correggere i valori anomali; garantire la completezza; eseguire controlli indipendenti sui risultati delle analisi e altre misure di sicurezza, se del caso;
- Procedure di archiviazione dati, inclusa la gestione di eventuali aggiornamenti previsti dei formati dei file elettronici. Tutti i dati raccolti come parte del monitoraggio devono essere archiviati elettronicamente e conservati per almeno due anni dopo la fine dell'ultimo periodo di accredito del progetto;
- Ruoli, responsabilità e capacità del team di monitoraggio e della gestione;
- Piano di modellizzazione, ove applicato il metodo di Quantificazione 1. Il piano di modellizzazione del progetto deve descrivere i modelli selezionati, descrivere gli insiemi di dati che saranno utilizzati per la validazione e la calibrazione del modello, comprese le loro fonti, e specificare il programma di attività di gestione dei terreni agricoli di baseline per ciascuna unità di campionamento (fissato ex ante).

## ALLEGATO A - METODO DI CALCOLO PER LE COLTURE OGGETTO DELLO STUDIO

La metodologia, relativamente all'approccio di quantificazione 1, prevede due metodi differenti per il calcolo del sequestro di carbonio organico nel suolo sia nella baseline che nello scenario di progetto:

1. **Modello Preliminare**, che, con un numero limitato di parametri necessari, ha il fine di fornire una stima preliminare del potenziale sequestro di CO<sub>2</sub> da pratiche di Carbon Farming per comprendere la fattibilità tecnica di un progetto.
2. **Modello process-based (RothC)** che permette un calcolo più preciso e puntuale del potenziale sequestro di CO<sub>2</sub> da pratiche di Carbon Farming. Questa metodologia impiega un modello ampiamente riconosciuto ed impiegato per il calcolo di sequestro di carbonio nei terreni agricoli e richiede un numero più ampio di parametri e prestazioni computazionali più elevate.

### 1. MAIS E POMODORO

Per pomodoro e mais il metodo di calcolo elaborato si basa su entrambi i modelli. Nel seguito ne sono riportati i dettagli.

#### 1.1. MODELLO PRELIMINARE

Il potenziale di sequestro del carbonio può essere stimato con l'approccio NPP (Net Primary Productivity) descritto da Bolinder et al. (2007)<sup>6</sup>. In breve, l'approccio NPP quantifica il C fissato annualmente nella biomassa epigea e ipogea e determina l'apporto annuale complessivo di residui vegetali al suolo dai residui lasciati in campo, dal ricambio delle radici gli essudati radicali. Il potenziale di sequestro del carbonio è definito come la frazione di residui vegetali incorporata nel suolo e quindi integrata in una frazione stabile di Carbonio organico nel suolo (SOC).

Popp et al. (2011)<sup>7</sup> hanno sviluppato una metodologia volta a valutare il complessivo accumulo di carbonio nei terreni agricoli, prendendo in considerazione la biomassa epigea ed ipogea della specifica pianta.

Il livello 1, ossia la stima degli assorbimenti di carbonio, viene completato dalla combinazione degli studi appena riportati. La metodologia proposta da Bolinder et al. (2007), poi ampliata da Winans et al. (2015)<sup>8</sup>, è semplice efficace e diretta, per cui risulta anche in linea con la struttura basilare della

---

<sup>6</sup> Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & VandenBygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 29-42

<sup>7</sup> Popp, M., Nalley, L., Fortin, C., Smith, A., & Brye, K. (2011). Estimating net carbon emissions and agricultural response to potential carbon offset policies. *Agronomy journal*, 103(4), 1132-1143.

<sup>8</sup> Winans, K. S., Tardif, A. S., Lteif, A. E., & Whalen, J. K. (2015). Carbon sequestration potential and cost-benefit analysis of hybrid poplar, grain corn and hay cultivation in southern Quebec, Canada. *Agroforestry Systems*, 89, 421-433.

metodologia proposta. La metodologia presentata da Popp et al. (2011), invece, risulta più completa perché permette di tenere in conto efficacemente di due variabili importanti come opzioni di lavorazione tipologia di terreno. Entrambe le metodologie si basano sulla resa della coltura specifica da cui ne consegue la valutazione della quantità di biomassa generata e lasciata in campo. Tuttavia, a parità di configurazione selezionata (lavorazione del terreno convenzionale, nessun uso di colture di copertura, nessun uso di fertilizzante organico), la stima della quantità di carbonio sequestrato calcolato con la metodologia di Popp et al. risulta superiore a quella calcolata con la metodologia degli input di carbonio al suolo. Di conseguenza per ragioni cautelative, entrambe le metodologie vengono considerate, per permettere di tenere conto di più variabili ma anche di avere un approccio più conservativo. Quindi il sequestro totale di carbonio fornito dal tool di calcolo risulta essere la media fra il risultato ottenuto con i due diversi approcci. Infine, la quantità carbonio sequestrato viene moltiplicata per il rapporto dei pesi molari del Carbonio ( $C = 12$ ) e dell'anidride carbonica ( $CO_2 = 44$ ) per arrivare all'assorbimento di unità di  $CO_2$ -equivalenti. La metodologia proposta da Winans et al. (2015) fornisce un range di valori, fra questi viene preso il minimo.

Infine, l'errore nel calcolo viene stimato sul valore minimo in termini percentuali.

## 1.2. MODELLO ROTH C

Il Modello preliminare è propedeutico all'applicazione della metodologia di calcolo con il modello RothC. RothC-26.3 è un "process-based model" che consente la simulazione della dinamica del carbonio organico nei terreni agricoli. Su base mensile, il modello simula i cambiamenti di carbonio organico totale del suolo, suddividendolo in cinque tipologie di riserve distinte ("pool"). I principali dati di input richiesti riguardano la struttura del suolo, gli input di carbonio al terreno, il clima, la copertura vegetale e la decomponibilità del materiale vegetale in entrata. I cinque pool di carbonio organico che compongono il carbonio organico totale del suolo (SOC) sono: materiale vegetale decomponibile (DPM), materiale vegetale resistente (RPM), massa microbica (BIO), materia organica umificata (HUM), e materia organica inerte (IOM). Il materiale vegetale in entrata ha un certo rapporto tra materiale vegetale decomponibile (DPM) e materiale vegetale resistente (RPM). La maggior parte delle colture agricole hanno un rapporto DPM/RPM predefinito di 1,44, il che significa che il materiale vegetale è 59 % DPM e 41 % RPM. Sia DPM che RPM si decompongono in  $CO_2$ , BIO e HUM a tassi di decomposizione specifici. A loro volta, BIO e HUM si decompongono ulteriormente in  $CO_2$ , BIO e



HUM con velocità specifiche <sup>[9]</sup> <sup>[10]</sup> <sup>[11]</sup> <sup>[12]</sup>. I tassi di decomposizione dipendono dal clima, dal contenuto di argilla e dalla copertura della vegetazione.

RothC-26.3 viene implementato nella versione R 4.0.3<sup>[13]</sup> utilizzando la funzione "RothC Model" nel pacchetto SoilR<sup>[14]</sup>. La versione predefinita di SoilR viene modificata per includere gli effetti della copertura del suolo. In primo luogo, la funzione di umidità SoilR originale è stata modificata con un "fattore di copertura vegetale" per includere l'effetto di copertura del suolo ed emulare il modello RothC originale<sup>[15]</sup>. I dati relativi alla copertura della vegetazione sono stati utilizzati anche per determinare se la superficie del suolo sia nuda o vegetata. I valori NDVI sono stati sottoposti a un ridimensionamento in modo tale che 0 indica terreno nudo e 1 terreno completamente vegetato. Questa modifica consente di utilizzare questi valori come fattori di modifica dell'umidità e di fissare una soglia di 0,8 per determinare se il suolo è completamente coperto dalla vegetazione. Il modello può essere eseguito sia in modalità "inversa" che "in avanti". La modalità inversa consente il calcolo dell'input di carbonio annuale necessario per raggiungere un determinato contenuto di SOC di equilibrio. La modalità "in avanti" utilizza input di carbonio predefiniti per simulare le dinamiche SOC.

La fase di modellizzazione segue l'approccio proposto nel manuale "GSOCseq Global Soil Organic Carbon Sequestration Technical Map"<sup>[16]</sup>. Il modello viene inizialmente eseguito in modalità inversa per un periodo standard di 10.000 anni per calcolare l'input di carbonio annuale necessario per raggiungere il livello SOC iniziale misurato, supponendo che il livello SOC sia a equilibrio in quell'anno ("fase di spin-up"). Il clima medio per i vent'anni precedenti viene utilizzato come input. Nel caso in cui la misura di SOC più recente disponibile non sia quella attuale, per ridurre la variabilità fra la misura e lo stato iniziale e per tenere conto dei cambiamenti climatici tra l'anno di misura e l'anno d'inizio della simulazione, viene implementata una fase di inizializzazione secondaria ("fase di warm-up"). Questa fase, anche indicata come "breve spin-up", mira a minimizzare gli effetti di inizializzazione (ad esempio, deviazioni nella stima delle dimensioni iniziali di ciascun pool). Se fossero stati disponibili dati SOC

---

<sup>9</sup> Jenkinson, D.S., Coleman, K., 1994. Calculating the annual input of organic matter to soil from measurements of total organic carbon and radiocarbon. *Eur. J. Soil Sci.* 45, 167–174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1994.tb00498.x>.

<sup>10</sup> Jenkinson, D.S., Adams, D.E., Wild, A., 1991. Model estimates of CO<sub>2</sub> emissions from soil in response to global warming. *Nature* 351, 304–306. <https://doi.org/10.1038/351304a0>.

<sup>11</sup> Jenkinson, D.S., Harkness, D.D., Vance, E.D., Adams, D.E., Harrison, A.F., 1992. Calculating net primary production and annual input of organic matter to soil from the amount and radiocarbon content of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 24, 295–308. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(92\)90189-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(92)90189-5)

<sup>12</sup> Jenkinson, D.S., Andrew, S.P.S., Lynch, J.M., Goss, M.J., Tinker, P.B., Greenwood, D.J., Nye, P.H., Walker, A., 1997. The turnover of organic carbon and nitrogen in soil. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 329, 361–368. <https://doi.org/10.1098/rstb.1990.0177>.

<sup>13</sup> R Core Team, 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

<sup>14</sup> Sierra, Carlos A., Mueller, Markus, Trumbore, Susan E., 2012. Models of soil organic matter decomposition: the SoilR package, version 1.0. *Geosci. Model Dev.* 5, 1045–1060.

<sup>15</sup> Spotorno, S., Gobin, A., Vanongeval, F., Del Borghi, A., & Gallo, M. (2024). Carbon Farming practices assessment: Modelling spatial changes of Soil Organic Carbon in Flanders, Belgium. *Science of The Total Environment*, 922, 171267.

<sup>16</sup> FAO, 2020. Technical Specifications and Country Guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq).

molto recenti, questa fase non sarebbe necessaria. Dopo una fase di spin-up di 10.000 anni, il modello fornisce stime di input di carbonio al terreno e di diversi pool SOC ( $tCha^{-1}$ ). Durante la fase di “warm-up” gli input C vengono adeguati in base alle variazioni del NPP<sup>[17]</sup>. La NPP viene calcolata utilizzando il modello MIAMI<sup>[18]</sup>. Per il primo anno di modellizzazione nella fase di “warm-up” viene fissato pari alla media annua della NPP nel periodo ventennale precedente l’anno di campionamento del SOC. Infine, il modello viene eseguito in avanti per simulare le dinamiche SOC per il periodo d’interesse (“fase in avanti”). In questa fase viene utilizzato il clima medio presente nella fase di “warm-up”, assumendo che le condizioni climatiche non cambino significativamente nel breve periodo.

Gli input di Carbonio al terreno, utili alla simulazione tramite RothC, vengono calcolati con la stessa metodologia illustrata al capitolo precedente.

## 2. PERO

Per la coltura del pero viene proposto solo il modello preliminare, in quanto i dati derivanti da campo sperimentale non sono disponibili al momento della redazione del presente documento.

### 2.1. MODELLO PRELIMINARE

Nel caso della coltura del pero, relativamente alla formula di calcolo proposta, la baseline viene definita a partire dai concetti di biomassa vivente (“Living biomass”), quantità di SOC nel terreno ( $SOC_{Stock}$ ) e perdite (“carbon losses”). Gli agrosistemi legnosi perenni sono tra gli elementi meno quantificati ed esaminati nei cicli biogeochimici. Un recente studio sui meleti<sup>[19]</sup>, viene ipotizzato che i principali flussi di carbonio dell’ecosistema del frutteto possano essere considerati di entità comparabile rispetto a quelli di un ecosistema forestale naturale, considerando una foresta decidua temperata calda umida. La stessa approssimazione viene considerata in questo lavoro sui frutteti di pere (poiché fenologicamente simili a quelli delle mele), sostenendo la scelta di una metodologia forestale per il calcolo dello stock di carbonio della biomassa vivente. La quantità di carbonio stoccata come SOC è il risultato dell’equilibrio tra input e output (perdite e perdite di mineralizzazione). Sulla base di tale equilibrio, il suolo potrebbe essere sia una fonte di emissione di  $CO_2$ , nel caso in cui le perdite di mineralizzazione siano maggiori degli input, o potrebbero fare da serbatoio di carbonio, assorbendo de facto  $CO_2$  dall’atmosfera. Nei suoli naturali il bilancio del carbonio dipende solo da parametri quali il clima, la copertura vegetale e il tipo di suolo, mentre nei suoli agricoli l’equilibrio dipende anche dalle tecniche di coltivazione impiegate.

---

<sup>17</sup> Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Zaehle, S., Hiederer, R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Ewert, F., 2005. Projected changes in mineral soil carbon of European croplands and grasslands, 1990–2080. *Glob. Chang. Biol.* 11, 2141–2152. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001075.x>.

<sup>18</sup> Lieth, H., 1975. Modeling the primary productivity of the world. In: Lieth, H., Whittaker, R.H. (Eds.), *Primary Productivity of the Biosphere*, Ecological Studies. Springer, Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 237–263. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-80913-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-642-80913-2_12).

<sup>19</sup> Zanutelli D., Montagnani L., Manca G., Tagliavini M., 2013: Net primary productivity, allocation pattern and carbon use efficiency in an apple orchard assessed by integrating eddy covariance, biometric and continuous soil chamber measurements. *Biogeosciences*, 10, 3089–3108, 2013. doi:10.5194/bg-10-3089-2013

Fattori come l'estremo sfruttamento dei sistemi agricoli, la separazione della produzione agricola e animale e la lavorazione intensiva del terreno portano ad un impoverimento del suolo e di conseguenza alle emissioni di CO<sub>2</sub> in atmosfera<sup>[20]</sup>. La valutazione delle perdite di carbonio nel sistema del frutteto è una questione piuttosto complicata perché coinvolge molti fattori diversi che possono essere di derivazione complessa. I fattori che hanno un ruolo in questo meccanismo sono principalmente l'erosione del suolo, la conversione tra SOM e SOC e le perdite dovute all'evapotraspirazione. Al contrario, l'introduzione di pratiche di coltivazione più sostenibili, potrebbe invertire questa tendenza e far sì che i terreni agricoli svolgano anche funzione di assorbimento<sup>[21]</sup>. Poiché i terreni agricoli costituiscono potenzialmente grandi riserve di carbonio, a livello globale è cresciuto l'interesse per le strategie di gestione del suolo con il doppio obiettivo di aumentare la cattura del carbonio per mitigare il rischio di cambiamento climatico e migliorare la qualità del suolo stesso. Il tool sviluppato permette di tenere in conto di alcune di queste tecniche, nello specifico: uso di colture di copertura, zero tillage, copertura verde permanente, reintroduzione dei residui di potatura, creazione di bande arbustive intorno al frutteto, sub-irrigazione, consociazione, uso di fertilizzanti organici e biochar.

Quelle fra queste già messe in pratica costituiscono la baseline, mentre la scelta di adottarne una (o più) esclusivamente ai fini dell'assorbimento di anidride carbonica dall'atmosfera costituisce pratica di Carbon Farming, che a sua volta permette di generare crediti di carbonio.

### **3. MODELLO SPECIFICO PER PRATICHE SPECIFICHE DI CARBON FARMING**

Nel presente allegato sono state identificate alcune pratiche di carbon farming per le quali viene proposto un modello di calcolo. Tali pratiche sono state selezionate a scopo esemplificativo al fine di poter applicare la metodologia utilizzando modelli elaborati internamente (modello preliminare) o open source di immediata accessibilità (modello RothC), garantendo così un'immediata implementazione della metodologia proposta, che verrà successivamente applicata nel report relativo al Task 3.2. È importante notare che tali tecniche possono differire da quelle presentate nella relazione relativa al Task 1.2. Questa differenza è dovuta al fatto che, per alcune delle pratiche individuate, i modelli selezionati non sono immediatamente applicabili. Come da "Piano d'Innovazione -Conserve Italia", per il calcolo della fissazione simulata si rimanda al Task 2.1.

#### **3.1. MAIS E POMODORO**

Le pratiche di Carbon Farming individuate sono:

1. Introduzione di colture di copertura (Cover Crops)
2. Passaggio a lavorazione meccanica del terreno ridotta

---

<sup>20</sup> Toensmeier E., 2016: The carbon farming solution: A global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security. Chelsea Green Publishing. ISBN 9781603585729.

<sup>21</sup> Staffilani F., Tarocco P., Ungaro F., 2015: Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della pianura Emiliano-romagnola da 0 a 30 cm –Note illustrative 2° Edizione.

### 3. Sostituzione di fertilizzanti inorganici con fertilizzanti organici.

#### 3.1.1. Introduzione di colture di copertura

Coltivare colture e varietà che producono un fogliame denso, un sistema radicale profondo e lasciano un'elevata quantità di biomassa sul campo può essere utile per l'equilibrio carbonio organico nel suolo. Il fattore principale dell'aumento di carbonio organico nel suolo dopo l'adozione delle colture di copertura è attribuito principalmente all'aumento dell'input carbonio al suolo oltre ad altri effetti minori<sup>[22]</sup> che non vengono quindi presi in considerazione. Sia per nell'applicazione del modello preliminare, che del modello RothC viene considerato l'incremento di input di Carbonio al terreno. A seconda della varietà selezionata, vengono scelti valori specifici<sup>[23]</sup> di input di Carbonio al suolo o un incremento percentuale<sup>[24]</sup>.

#### 3.1.2. Opzioni di lavorazione meccanica del terreno (Tillage)

Sulla base della revisione degli studi scientifici pubblicati in letteratura è possibile ricavare dei valori tipici delle grandezze in esame, in particolare il contenuto di C nella biomassa ipogea e nella biomassa epigea. La **Tabella 4** riporta la frazione stimata di C contenuta nella biomassa ipogea ed epigea annualmente sequestrata in funzione delle opzioni di lavorazione del terreno nell'ipotesi che la totalità dei residui colturali venga lasciata in campo dopo la raccolta.

**Tabella 4:** Frazione stimata di C contenuta nella biomassa ipogea ed epigea annualmente sequestrata in funzione delle opzioni di lavorazione del terreno.

Opzione di lavorazione del terreno	Carbonio nella biomassa ipogea	Carbonio nella biomassa epigea
$\delta t \cdot \eta t$		
Nessuna lavorazione (No-till)	0,50	0,10
Lavorazione ridotta (Low tillage)	0,45	0,40
Lavorazione convenzionale (Conventional tillage)	0,40	0,70

La quantità di residui colturali incorporati nel suolo varia in modo significativo in base alle diverse opzioni di lavorazione, con ogni sistema che influisce sulle proprietà del suolo come la resistenza al taglio e la

<sup>22</sup> Bolinder, M.A., Crotty, F., Elsen, A., Frac, M., Kism´ anyoky, T., Lipiec, J., Tits, M., Toth, ´ Z., K" atterer, T., 2020. The effect of crop residues, cover crops, manures and nitrogen fertilization on soil organic carbon changes in agroecosystems: a synthesis of reviews. Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 25, 929–952. <https://doi.org/10.1007/s11027-020-09916-3>.

<sup>23</sup> Soil Service of Belgium, Ghent University, 2006. Develop an expert system for advising carbon management in agricultural soils. (Originally published in Dutch: Ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het koolstofbeheer in de landbouwbodems)

<sup>24</sup> Seitz, D., Fischer, L.M., Dechow, R., Wiesmeier, M., Don, A., 2023. The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. Plant Soil 488, 157–173. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05438-w>.

stabilità degli aggregati in modi diversi. Di seguito, un riassunto di come le diverse pratiche di lavorazione influiscono sull'incorporazione di residui colturali nel terreno.

- Aratura convenzionale: Questo metodo tradizionale capovolge profondamente il terreno, il che può portare a una significativa riduzione della stabilità degli aggregati del suolo e della resistenza al taglio. Inoltre, rispetto ad altri sistemi di lavorazione del terreno, i residui delle colture vengono incorporati nel terreno in misura minore.
- Lavorazione ridotta: le pratiche di lavorazione del terreno ridotte, come la lavorazione del sottosuolo o la lavorazione superficiale, riducono al minimo il disturbo del suolo. Questi metodi possono portare ad un aumento della resistenza al taglio del suolo e della stabilità degli aggregati, in quanto consentono l'incorporazione di più residui colturali nel terreno. Alcuni studi<sup>[25]</sup> hanno rilevato che l'incorporazione di residui vegetali nel terreno attraverso pratiche di non lavorazione prima della semina ha aumentato la stabilità degli aggregati nel terreno fino a due volte, rispetto all'aratura profonda convenzionale.
- No-Tillage: Pratiche di perforazione diretta o “non-lavorazione”, dove il suolo non è disturbato affatto, possono aumentare significativamente la stabilità degli aggregati del terreno. Alcuni studi hanno osservato che la perforazione diretta ha aumentato la stabilità degli aggregati fino a 1,9 volte rispetto all'aratura profonda convenzionale. Questo perché la lavorazione senza lavorazione consente l'incorporazione naturale di residui colturali nel terreno, che contribuisce alla salute e alla stabilità del suolo.

L'incorporazione di residui colturali nel terreno è significativamente influenzata dal sistema di lavorazione del terreno utilizzato. La lavorazione del terreno ridotta e le pratiche di non lavorazione del terreno, insieme alla ritenzione dei residui o alla pacciamatura, tendono ad aumentare la quantità di residui delle colture incorporati nel suolo, migliorando la salute e la stabilità del suolo. Tuttavia, l'impatto specifico può variare in base a fattori quali il tipo di suolo, il clima e la scelta di specie di colture di copertura, evidenziando l'importanza di considerazioni site-specific nelle pratiche agricole.

In generale, in sistemi di lavorazione convenzionale, dove il terreno viene regolarmente arato, una parte significativa dei residui vegetali viene solitamente asportata, utilizzata come foraggio o bruciata. La situazione è diversa nei sistemi di lavorazione conservativa, come il conservativo-tillage oppure il no-till, dove una maggiore percentuale di residui può rimanere in superficie. Inoltre, i sistemi conservativo-tillage possono contribuire a una maggiore fissazione del carbonio attraverso diversi meccanismi. Questi meccanismi riguardano la copertura della superficie grazie ai residui lasciati in campo, ad un disturbo del suolo ridotto, al contributo radicale e ad effetti a lungo termine. Nei sistemi conservativo-tillage i residui vegetali lasciati in superficie formano uno strato protettivo. Questa copertura di residui in superficie aiuta a ridurre l'erosione del suolo e protegge il terreno dall'impatto delle precipitazioni. I residui agiscono come una barriera fisica, prevenendo la perdita di terreno superficiale e riducendo la

---

<sup>25</sup> Shen, Y., McLaughlin, N., Zhang, X. et al. Effect of tillage and crop residue on soil temperature following planting for a Black soil in Northeast China. *Sci Rep* 8, 4500 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22822-8>

perdita di carbonio. L'assenza di lavorazione regolare nei sistemi conservative-tillage significa che la struttura del suolo rimane più intatta. Un ridotto disturbo del suolo preserva gli aggregati e la sostanza organica, fornendo condizioni stabili per la fissazione del carbonio. La lavorazione continua può accelerare la decomposizione della sostanza organica e rilasciare carbonio nell'atmosfera. I sistemi conservative-tillage spesso favoriscono un'attività microbica benefica nel suolo. La presenza di residui in superficie fornisce un habitat per gli organismi del suolo, e un disturbo ridotto consente alle comunità microbiche di prosperare. Questi microrganismi contribuiscono alla decomposizione della sostanza organica, e i sottoprodotti della decomposizione vengono incorporati nel suolo, contribuendo al carbonio organico del suolo. I sistemi conservative-tillage supportano la crescita delle radici delle piante senza disturbo. I sistemi radicali contribuiscono alla sostanza organica nel suolo attraverso i processi di ricambio delle radici e di essudazione. Ciò può portare alla formazione di aggregati del suolo stabili, migliorando la fissazione del carbonio. A lungo termine, l'impatto cumulativo della riduzione dell'erosione, del miglioramento della struttura del suolo e dell'attività microbica potenziata può risultare in un aumento della fissazione del carbonio nei sistemi conservative-tillage.

Nella metodologia semplificata, l'approccio di Popp et al. (2011) viene modificato introducendo un parametro che tiene in considerazione interamente del no-till. Mentre la quantità di biomassa incorporata nel suolo può essere inferiore nei sistemi no-till rispetto alla lavorazione convenzionale, il potenziale complessivo di fissazione del carbonio può risultare maggiore perché influenzato da molteplici fattori interagenti. Sebbene sia vero che nei sistemi senza lavorazione, una parte significativa dei residui colturali rimane sulla superficie del suolo anziché mescolarsi al terreno, diversi fattori contribuiscono ad aumentare il sequestro del carbonio. Viene introdotto un "tillage-dependent soil cover factor",  $\sigma_t$ .

**Tabella 5:** tillage-dependant soil cover factor al variare dell'opzione di lavorazione

Opzione di lavorazione del terreno	$\sigma_t$
Nessuna lavorazione (No-till)	0,80
Lavorazione ridotta (Low tillage)	0,30
Lavorazione convenzionale (Conventional tillage)	0,20

Nel modello RothC-26.3 le opzioni di lavorazione meccanica del terreno vengono simulate attraverso l'alterazione delle velocità di decomposizione attraverso l'introduzione di "Tillage Rate Modifying Factors" (TRMs)<sup>26</sup>. Per le pratiche di "no-tillage" il TRM calcolato è nell'intervallo 0.95 -1.02 e per le pratiche di "reduced-tillage" fra 0.93 e 0.99. Di questi, solo il TRM per lavorazione ridotta ha Intervalli

<sup>26</sup> Jordon, M. W., & Smith, P. (2022). Modelling soil carbon stocks following reduced tillage intensity: A framework to estimate decomposition rate constant modifiers for RothC-26.3, demonstrated in north-west Europe. *Soil and Tillage Research*, 222, 105428.

non sovrapposizione con i tassi di decomposizione sotto lavorazione convenzionale, risultando così significativamente diverso.

### **3.1.3. Sostituzione di fertilizzanti inorganici con fertilizzanti organici**

Anche in questo caso, come per l'introduzione di colture di copertura, l'effetto della pratica è dovuto principalmente all'aumento dell'input carbonio al suolo. L'ulteriore input di carbonio al suolo dovuto dall'applicazione di fertilizzante organico viene calcolato sulla base del tasso di applicazione [ $\text{t ha}^{-1}$ ] e sulla quantità di carbonio presente nel mix specifico di fertilizzante organico utilizzato [%C].

## **3.2. PERO**

Per quanto riguarda il pero, l'assenza di dati specifici al momento della redazione del presente report ha comportato una parziale identificazione del modello da utilizzare (solo modello preliminare).

Le pratiche di Carbon Farming sono:

1. Introduzione di colture di copertura (Cover Crops)
2. Inerbimento Permanente
3. Reintroduzione in campo dei residui di potatura
4. Utilizzo di fertilizzante organico (letame o compost).

### **3.2.1. Introduzione di colture di copertura nell'interfila**

L'introduzione delle colture di copertura nel frutteto, anziché lasciare il terreno a riposo durante l'inverno, aumenta lo stock di carbonio organico del suolo (SOC) aggiungendo un periodo di assimilazione del carbonio. Per favorire questo processo, le colture devono essere lasciate sul terreno dopo la falciatura, lasciate seccare e poi interrate nello strato superficiale del suolo. Questo tipo di sequestro del carbonio può durare oltre 100 anni, ma il 50% dell'effetto sul SOC si concentra nei primi 20 anni (Poeplau & Don, 2015). Sebbene l'accumulo di SOC tenda a stabilizzarsi dopo un certo periodo, per un periodo di studio di 20 anni, il cambiamento annuale nello stock di SOC può essere considerato lineare. Solo circa il 20% del carbonio organico aggiunto al suolo viene trasformato in SOC stabile (Bhattacharyya et al., 2009). Mediando i risultati per diverse miscele di colture di copertura, si ottiene un incremento medio di  $0,62 \text{ tC ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ .

### **3.2.2. Inerbimento permanente nell'interfila**

La pratica di inerbimento permanente può essere applicata solo nei frutteti dove vengono coltivate le varietà Williams e altre minoritarie (come Conference, Decana, Carmina e Guyot), circa il 70% della produzione complessiva dei coltivatori di Conserve Italia, escludendo i frutteti con Abate Fétel. Durante l'anno, la biomassa aerea viene periodicamente falciata e lasciata sul terreno; diversamente dalle

colture di copertura, l'intera pianta non deve essere completamente rimossa e interrata, evitando così la necessità di lavorazione meccanica del suolo che potrebbe causare una parziale mineralizzazione del carbonio organico. Questo può favorire una fissazione più permanente del carbonio nel tempo. La pratica di mantenere l'erba è interessante perché permette di mantenere e aumentare il livello di sostanza organica nei suoli, incrementando lo stock di SOC influenzando positivamente il bilancio del carbonio (ISMEA, 2018).

Il principale vantaggio dell'inerbimento permanente rispetto alle colture di copertura risiede nella sua natura duratura. Non richiede altre lavorazioni meccaniche oltre alla semina e alla falciatura periodica, risultando una pratica economica e a bassa manutenzione. L'erba consente una protezione duratura del suolo, che non è mai esposto direttamente all'aria, riducendo così il rischio di perdita di stock di carbonio per mineralizzazione. Per calcolare il sequestro di carbonio fornito da questa tecnica, è possibile fare riferimento ai dati raccolti dalla letteratura, da cui emerge un valore medio di circa 0,38 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

### **3.2.3. Reintroduzione in campo dei residui di potatura**

I residui di potatura legnosi nei frutteti vengono solitamente bruciati, comportando una perdita di carbonio e l'emissione di gas serra. Per evitare queste perdite, si potrebbe adottare la pratica sostenibile di tritare i residui e lasciarli sul terreno, contribuendo a aumentare lo stock di carbonio organico del suolo (SOC). Questa pratica permette ai nutrienti e al carbonio di rimanere nel frutteto, decomponendosi e venendo assimilati dal suolo, migliorando il ciclo dei nutrienti e lo stoccaggio di carbonio. La reintroduzione dei residui ha dimostrato di aumentare lo stock di SOC, riducendo anche la necessità di fertilizzanti e le relative emissioni di gas serra. La quantità di biomassa da potatura varia in base a diversi fattori, ma può essere stimata che l'interramento dei residui organici incrementa il carbonio nel suolo di 0,16-0,4 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

### **3.2.4. Utilizzo di fertilizzante organico**

L'uso del letame come fertilizzante organico, antica tecnica agricola, è rivalutato per migliorare il sequestro del carbonio e le proprietà fisiche del suolo, oltre a fornire nutrienti. In un'economia circolare, riciclare il letame è vantaggioso. La composizione e l'uso ottimale del letame variano in base alla specie animale e all'origine della lettiera, e si distingue tra letame fresco, maturo e compostato. Il letame compostato è preferito perché stabilizzato, privo di agenti patogeni e con nutrienti più disponibili. Il letame è ricco di materia organica e quindi ha il potenziale di contribuire all'aumento dello stock di SOC (Paustian et al., 2016). I risultati dell'applicazione del letame sullo stock di SOC possono variare a seconda del tipo utilizzato (bovini, cavalli, maiali, ovini, pollame, ecc.). La revisione condotta da Tiefenbacher et al. (2021) ha riportato che l'applicazione del letame come fertilizzante organico potrebbe portare a un aumento del potenziale di sequestro del carbonio del 23,5% nei suoli mediterranei.



Il compost, prodotto dalla decomposizione controllata della materia organica in ambiente aerobico, promuove la formazione di humus e aumenta la fertilità del suolo più di altri fertilizzanti organici. Derivato da rifiuti vegetali e animali, il compost è ricco di nutrienti e privo di patogeni. Il compostaggio è un processo virtuoso che ricicla i rifiuti trasformandoli in un prodotto ricco di carbonio e nutrienti. Il compost migliora la fertilità del suolo, aiuta a recuperare suoli degradati e sequestro di carbonio nel SOC. Provenendo da rifiuti misti, la qualità e la composizione del materiale finale possono variare a seconda della fonte e della durata del processo di maturazione. Di conseguenza, questi fattori possono portare a una certa variabilità nei risultati ottenuti negli studi riguardanti l'aumento dello stock di SOC mediante l'aggiunta di compost al suolo. In ogni caso, Tiefenbacher et al. (2021) ha riportato che l'applicazione del compost dovrebbe essere eseguita seguendo un modello regolare nel tempo per ottenere l'aumento desiderato del contenuto di carbonio organico del suolo.

### 3.3. DATI NECESSARI PER L'APPLICAZIONE DEI MODELLI

I dati necessari per l'applicazione delle metodologie nelle diverse colture sono di seguito riportati separatamente.

#### 3.3.1. Mais e pomodoro – Modello preliminare

**Tabella 6:** dati necessari per l'applicazione del Modello preliminare

Quantità	Simbolo	Unità di Misura
Resa	$Y_{ij}$	t/ha
Contenuto d'acqua del prodotto	$\alpha_j$	%
Harvest Index (indice di raccolta)	$H_j$	%
Contenuto di carbonio nella biomassa epigea (massa)	$\beta_j$	%
Frazione dei residui della pianta incorporati nel suolo dopo la raccolta	$\Delta_t$	%
Contenuto di carbonio nella biomassa ipogea	$\chi_i$	%
Rapporto fra parte area e radici	$\Phi_j$	[-]
Tessitura del suolo/terreno	A/L/S	%
Area caratterizzata dalla tipologia di tessitura	-	ha
Quantità di fertilizzante organico attualmente impiegata	O	t/ha
Tipologia di fertilizzante organico utilizzato	-	[-]

#### 3.3.2. Mais e pomodoro – Modello RothC

**Tabella 7:** dati necessari per l'applicazione del Modello - RothC

Dato	Unità Di misura
Stock di Carbonio organico nel suolo iniziale	t/ha
Contenuto di argilla	%
Temperatura media dell'aria - mensile	°C
Precipitazione cumulata - mensile	mm
EvapoTraspirazione Potenziale - mensile	mm
Copertura vegetale	[-]

#### 3.3.3. Pero – Modello preliminare

Data la struttura del modello proposto, i parametri necessari sono di seguito elencati e divisi in baseline e singole tecniche di carbon farming.

Per il calcolo della baseline sono necessari i dati riportati in Tabella 8.

**Tabella 8:** dati necessari per il calcolo della baseline secondo la metodologia proposta

Quantità	Simbolo	Unità di misura
Concentrazione di SOC	SOC	g C/kg suolo
Bulk density	BD	g/cm <sup>3</sup>
Profondità strato di suolo interessato	H	m
Frazione grossolana	f <sub>coarse</sub>	[-]
Diametro a 130cm (Diameter at Breast Height)	DBH	m
Altezza del tronco	H <sub>t</sub>	m
Densità del legno	D	t/m <sup>3</sup>
Fattore di espansione della biomassa (Biomass Expansion Factor)	BEF	[-]
Root To Shoot Ratio	R	[-]
Frazione di carbonio (Carbon fraction)	CF	tC/tdm

L'erosione del suolo viene ricavata dalla media per il suolo italiano. Di conseguenza anche non sono riportati dei valori in input e non viene calcolata l'equazione, bensì solo riportato un valore di media.

Per tenere conto dell'introduzione di cover crops sono necessari i dati riportati in **Tabella 9**.

**Tabella 9:** dati necessari per il calcolo del sequestro da cover crops secondo la metodologia proposta

Quantità	Valore parametro fisso	Unità di misura
Contenuto di C per mix di cover crops		kgC/ha
Percentuale di C fissata in SOC	[Parametro fisso al 20%]	%
Perdita annuale di SOC da erosione del suolo		tC/ha*yr
Diminuzione di erosione del suolo	[Parametro fisso al 64.97%]	%
Consumo diesel		l/ha*yr

Per l'inerbimento permanente sono necessari i dati riportati in **Tabella 10**.

**Tabella 10:** dati necessari per il calcolo del sequestro da inerbimento permanente secondo la metodologia proposta

Quantità	Valore parametro fisso	Unità di misura
Contenuto di C della copertura erbosa		kgC/ha
Percentuale di C fissata in SOC	[Parametro fisso al 20%]	%
Perdita annuale di SOC da erosione del suolo		tC/ha*yr
Diminuzione di erosione del suolo	[Parametro fisso al 64.97%]	%
Consumo diesel		l/ha*yr

Per tenere conto della reintroduzione in campo dei residui di potatura sono necessari i dati riportati in **Tabella 11**.

**Tabella 11:** dati necessari per il calcolo del sequestro da reintroduzione dei residui di potatura secondo la metodologia proposta

Quantità	Simbolo	Unità di misura
Peso dei residui legnosi freschi di potatura		t/ha*yr
Peso del legno essiccato (oven dried)	(intorno al 50% del fresco)	t/ha*yr
Carbon fraction	CF (fixed CF=0,47)	[-]
Percentuale di C fissata in SOC	[Parametro fisso al 20%]	%
Consumo diesel		l/ha*yr

Per il calcolo di sequestro di carbonio derivante dall'uso di fertilizzanti organici e compost, nessuna metodologia specifica è stata sviluppata per facilità di calcolo e quantità di dati a disposizione, per cui per ciascuna di esse viene indicato un valore medio dei dati riportati nella letteratura scientifica (Tabelle 12 e 13).

**Tabella 12:** dati necessari per il calcolo del sequestro da fertilizzante organico e compost secondo la metodologia proposta

Media di letteratura	Aumento annuale SOC [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> sequestrata annualmente [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
<b>Fertilizzante Organico</b>	0,57	2,10
<b>Compost</b>	0,64	2,36

**Tabella 13:** dati necessari per il calcolo del sequestro da letame e compost come fertilizzanti organici secondo la metodologia proposta

Quantità	Simbolo	Unità di misura
Quantità di letame necessaria per soddisfare il fabbisogno di NPK per la coltivazione della pera	QM	t/ha
Quantità di compost necessaria per soddisfare il fabbisogno di NPK per la coltivazione della pera	QC	t/ha

## ALLEGATO B - FORMULE IMPIEGATE NELLE EQUAZIONI

### 1. MAIS E POMODORO

#### CALCOLO DEGLI INPUT AL SUOLO IN AGRICOLTURA E DEL POTENZIALE DI SEQUESTRO DEL CARBONIO

Il potenziale di sequestro del carbonio può essere stimato con l'approccio NPP (Net Primary Productivity) descritto da Bolinder et al. (2007)<sup>27</sup>.

In breve, l'approccio NPP quantifica il C fissato annualmente nella biomassa epigea e ipogea e determina l'apporto annuale complessivo di residui vegetali al suolo dai residui lasciati in campo, dal ricambio delle radici gli essudati radicali. Il potenziale di sequestro del carbonio è definito come la frazione di residui vegetali incorporata nel suolo e quindi integrata in una frazione stabile di Carbonio organico nel suolo (SOC). L'NPP, che rappresenta l'incremento di C in un sistema, è composto dal C associato ai diversi componenti delle piante, espresso come:

$$NPP = C_p + C_R + C_S + C_E \quad \text{Eq. 1}$$

In cui: CP è il carbonio vegetale nel prodotto agricolo, la parte della pianta di valore economico, e tipicamente raccolta ed esportata dall'ecosistema. Il 'prodotto' può essere sia epigeo (ad esempio, grano, fieno) che ipogeo (come ad esempio nei tuberi).

CS è il carbonio vegetale nello stelo, nei residui soprasuolo e in altri residui post-raccolta soprasuolo. Questa frazione include tutti i materiali vegetali epigei escluso il 'prodotto'.

CR è il carbonio vegetale nel tessuto radicale, composto da tutti i materiali vegetali recuperabili ipogei, escludendo qualsiasi 'prodotto'.

CE è il carbonio vegetale nel materiale extra-radiale, compresi essudati radicali e altri materiali derivati dalla rotazione delle radici, non facilmente recuperabile raccogliendo fisicamente il prodotto o setacciando il terreno.

La quantità di C in ciascuna di queste quattro frazioni (e quindi anche l'NPP) può essere stimata dalla resa agricola, utilizzando valori di letteratura o stimati per l'indice di raccolta (Harvest Index, HI), il rapporto tra parte aerea e radicale (Shoot-Root ratio, S:R), il C nelle radici ed essudato e la concentrazione di C nelle parti epigee della pianta.

L'assorbimento di C dalle diverse componenti delle piante può essere calcolato come segue:

<sup>27</sup> Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & VandenBygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 29-42

$$Y_P = \text{Yield} \cdot (1 - \text{Moisture}_{\text{Content}}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$C_P = Y_P \cdot C_{\text{Content,AGB}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$C_R = Y_P \cdot \frac{\text{root}}{\text{shoot}} \cdot C_{\text{Content,BGB}} \quad \text{Eq. 4}$$

$$C_S = Y_P \cdot \frac{1-H_i}{H_i} \cdot C_{\text{Content,AGB}} \quad \text{Eq. 5}$$

$$C_E = C_R \cdot Y_E \quad \text{Eq. 6}$$

Dove l'indice di raccolta rappresenta la resa di materia secca del prodotto raccolto rispetto alla materia secca totale della coltura e YE rappresenta il carbonio extra essudato dalle radici e dalla rotazione delle radici rispetto alle radici recuperabili, solitamente assunto del 65%.

La quantità di input di carbonio nel suolo da varie frazioni vegetali è stata calcolata come:

$$C_i = [C_P \cdot S_P] + [C_S \cdot S_S] + [C_R \cdot S_R] + [C_E \cdot S_E] \quad \text{Eq. 7}$$

In cui  $C_i$  rappresenta l'input annuale di carbonio nel suolo totale e  $S$  è la quantità di carbonio nella rispettiva frazione della pianta che entra nel suolo,  $C_P$  è il carbonio nella pianta e  $S_P$  è la frazione del carbonio della pianta che entra nel suolo. Ad esempio, il valore di  $S$  varia da 0 a 1, indicando da 0 al 100% della frazione vegetale incorporata nel suolo al termine della stagione di crescita<sup>28</sup>. La quantità di  $C$  aggiunta al suolo nello scenario più semplice, in cui viene raccolto solo il "prodotto", è calcolata come:  $NPP - C_P$ . Tuttavia, alcune frazioni vengono frequentemente solo parzialmente reincorporate nel suolo. Viene quindi aggiunta una nuova opzione,  $S$ , per tenerne conto, specificando la percentuale di carbonio di una particolare frazione che ritorna al suolo. Tipicamente, vengono assunti  $S_P = 0$ ,  $S_S = 1$ ,  $S_R = 1$  e  $S_E = 1$  per impostazione predefinita (dove  $S_P$ ,  $S_S$ ,  $S_R$  e  $S_E$  sono le proporzioni di  $C$  nel prodotto, nei residui epigei, nelle radici e nel  $C$  extra-radiale, rispettivamente, re-incorporate nel terreno). Quando una frazione è ridotta in dimensioni  $S$  è inferiore a 1.

Il potenziale di sequestro del carbonio delle colture<sup>29</sup>  $C_{is}$  è quindi la proporzione di input di  $C$  nel suolo potenzialmente integrata come  $C$  stabilmente nel suolo, assumendo che il 12-20% di  $C_i$  sia integrato stabilmente, valore usualmente riconosciuto in scienze del suolo:

$$C_{is} = C_i \cdot 12\% \quad a \quad C_i \cdot 20\% \quad \text{Eq. 8}$$

<sup>28</sup> Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & VandenBygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 29-42

<sup>29</sup> Winans, K. S., Tardif, A. S., Lteif, A. E., & Whalen, J. K. (2015). Carbon sequestration potential and cost-benefit analysis of hybrid poplar, grain corn and hay cultivation in southern Quebec, Canada. *Agroforestry Systems*, 89, 421-433.

## SEQUESTRO DI CARBONIO

Popp et al. (2011)<sup>30</sup> hanno sviluppato una metodologia volta a valutare il complessivo accumulo di carbonio nei terreni agricoli, prendendo in considerazione la biomassa epigea ed ipogea della specifica pianta. Il quantitativo di carbonio (C) sequestrato dalla biomassa epigea (AGB) per ettaro di una coltura  $j$ , nel terreno  $i$ , secondo il metodo di lavorazione del terreno  $t$ , può essere calcolato con la seguente formula (Eq. 8):

$$AGB_{ijt} = \left[ Y_{ij} \lambda_j (1 - \alpha_j) \left( \frac{1}{H_j} - 1 \right) \beta_j \delta_t \eta_t \right] \quad \text{Eq. 9}$$

In cui  $Y_{ij}$  rappresenta la resa della coltura  $j$ , nel terreno  $i$ , espressa convenzionalmente in unità per acro. Il termine  $\lambda_j$  converte tale resa in chilogrammi o tonnellate per ettaro, mentre  $\alpha_j$  indica il contenuto d'acqua (o umidità) del prodotto raccolto, necessario per la conversione della resa in massa secca.  $H_j$  è l'indice di raccolta (rapporto tra la produzione in sostanza secca dei tessuti con valore economico e la produzione in sostanza secca dell'intera pianta, radici escluse), mentre  $\beta_j$  rappresenta la frazione stimata di C nella biomassa epigea. Infine,  $\delta_t$  indica la quantità stimata di biomassa epigea incorporata nel suolo a seconda dell'opzione di lavorazione del terreno, e  $\eta_t$  rappresenta la frazione stimata di C nel residuo incorporato nel suolo dipendente dalla tipologia di lavorazione del terreno. È da sottolineare che, la metodologia proposta da Popp et al. (2011) assume che tutti i residui epigei siano stati lasciati in campo.

Per quanto concerne la quantità di C sequestrato dalla biomassa ipogea (BGB) per ettaro di una coltura  $j$ , nel terreno  $i$ , secondo il metodo di lavorazione  $t$ , viene stimato attraverso la seguente formula (Eq. 9):

$$BGB_{ijt} = \chi_j \eta_t \left[ \frac{\phi_j Y_{ij} \lambda_j (1 - \alpha_j)}{H_j} \right] \quad \text{Eq. 10}$$

In cui i termini  $Y_{ij}$ ,  $\alpha_j$ ,  $\lambda_j$ ,  $H_j$ ,  $\eta_t$  sono stati precedentemente illustrati e analoghi a quelli dell'Eq. 9, mentre  $\chi_j$  rappresenta la frazione di C nella biomassa ipogea, mentre  $\phi_j$  indica il rapporto tra radice e parte epigea.

Dopo aver determinato il sequestro di C, sia dalla biomassa epigea (AGB, Eq. 8) che da quella ipogea (BGB, Eq. 9), il sequestro totale di C ( $S_{ijts}$ ) per ettaro, relativo alla coltura  $j$  nel terreno  $i$  secondo il metodo di lavorazione  $t$  e la tessitura del suolo  $s$ , può essere stimato attraverso la seguente formula (Eq. 10):

<sup>30</sup> Popp, M., Nalley, L., Fortin, C., Smith, A., & Brye, K. (2011). Estimating net carbon emissions and agricultural response to potential carbon offset policies. *Agronomy journal*, 103(4), 1132-1143.

$$S_{ijts} = (AGB_{ijt} + BGB_{ijt})\xi_{is} \quad \text{Eq. 11}$$

Questa analisi si basa su statistiche precedentemente pubblicate per l'indice di raccolta e il rapporto tra parte aerea e radice di diverse colture, sul contenuto di carbonio nella biomassa epigea e ipogea, sui parametri per lo stoccaggio nella biomassa ipogea in base al metodo di lavorazione e ai residui colturali incorporati nel suolo. Vengono anche prese in considerazione informazioni relative fattori che permettono di tenere conto della variabilità di suolo per suoli argillosi, limosi e sabbiosi, così come i minimi e massimi medi per le texture del suolo per ciascun appezzamento. I fattori di suolo possono essere moltiplicati per la proporzione di suoli in ciascuna classe all'interno di un'azienda specifica per ottenere un fattore di suolo medio ponderato.

### **MEDODO PRELIMINARE PER LA STIMA DI POTENZIALI ASSORBIMENTI DI CARBONIO DA PRATICHE DI CARBON FARMING**

Il livello 1, ossia la stima degli assorbimenti di carbonio, viene completato dalla combinazione degli studi appena riportati. La metodologia proposta da Bolinder et al. (2007), poi ampliata da Winans et al. (2015), è semplice efficace e diretta, per cui risulta anche in linea con la struttura basilare del tool proposto. La metodologia proposta da Popp et al. (2011), invece, risulta più completa perché permette di tenere in conto efficacemente di due variabili importanti come opzioni di lavorazione tipologia di terreno. Entrambe le metodologie si basano sulla resa della coltura specifica da cui ne consegue la valutazione della quantità di biomassa generata e lasciata in campo. Tuttavia, a parità di configurazione selezionata (lavorazione del terreno convenzionale, nessun uso di colture di copertura, nessun uso di fertilizzante organico), la stima della quantità di carbonio sequestrato calcolato con la metodologia di Popp et al. risulta superiore a quella calcolata con la metodologia degli input di carbonio al suolo. Di conseguenza per ragioni cautelative, entrambe le metodologie vengono considerate, per permettere di tenere conto di più variabili ma anche di avere un approccio più conservativo. Quindi il sequestro totale di carbonio fornito dal tool di calcolo risulta essere la media fra il risultato ottenuto con i due diversi approcci. Infine, la quantità carbonio sequestrato viene moltiplicata per il rapporto dei pesi molari del Carbonio (C = 12) e dell'anidride carbonica (CO<sub>2</sub> = 44) per arrivare all'assorbimento di unità di CO<sub>2</sub>-equivalenti. La metodologia proposta da Winans et al. (2015) fornisce un range di valori, fra questi viene preso il minimo.

$$C_{seq} = \frac{[\min(C_{is}) + S_{ijts}]}{2} \quad \text{Eq. 12}$$



## ERRORE NELLA STIMA DEGLI ASSORBIMENTI

Per il calcolo dell'errore nella stima degli assorbimenti viene assunta una distribuzione normale nei valori ottenuti. L'errore viene calcolato tramite la z-score corrispondente al 95esimo percentile della distribuzione normale. La z-score è una misura della distanza di un dato dalla media in termini di deviazione standard. Per un intervallo del 90%, viene considerato il 90% centrale della distribuzione, che lascia il 5% in ogni coda.

$$Z \approx 1.645 \quad \text{Eq. 13}$$

Questo valore viene moltiplicato per l'errore standard.

$$se = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} \quad \text{Eq. 14}$$

Nel campo degli intervalli di confidenza, l'errore standard quantifica l'incertezza o la variabilità della media del campione. Il prodotto di questi due valori (z-score 90% ed errore standard) fornisce un margine di errore del 10%.

## 2. PERO

Data l'attuale assenza di esperimenti sul campo, la scelta ottimale per lo sviluppo della metodologia è stata quella di adottare una metodologia di calcolo ispirata alle applicazioni silvocolturali del calcolo dello stock di carbonio nella biomassa vivente. La formula utilizzata è fornita dal PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification schemes) nel loro manuale sugli standard di certificazione per i servizi ecosistemici generati da foreste e piantagioni gestite in modo sostenibile, basato a sua volta sulla metodologia di calcolo fornita dalle linee guida IPCC per gli inventari nazionali dei gas a effetto serra<sup>31</sup>.

$$LB_{Stock} = V \cdot D \cdot BEF \cdot (1 + R) \cdot CF$$

Eq. 2.1.1

Dove:

- $LB_{Stock}$  [tC/ha] è lo stock di carbonio nella biomassa vivente (AGB + BGB) per unità di superficie;
- $V = (\pi \cdot) \cdot H$  [m<sup>3</sup>] è il volume del tronco, dove: DBH [m] è il diametro all'altezza di 1,30 m dal suolo e H [m] è l'altezza del tronco;

---

<sup>31</sup> IPCC, Aalde H., Gonzalez P., Gytarsky M., Krug T., Kurz W. A., Lasco R. D., Martino D. L., McConkey B. G., Ogle S., Paustian K., Raison J., Ravindranath N.H., Schoene D., Smith P., Somogyi Z., van Amstel A., Verchot I., 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.

- $D [t/m^3]$  è la densità del legno;
- $BEF [-]$  è il fattore di espansione della biomassa, un parametro a-dimensionale che tiene conto della forma e del peso della chioma a seconda del tipo o della specie di albero considerato;
- $R [-]$  è il Root to Shoot Ratio, un altro parametro a-dimensionale che tiene conto dello sviluppo del BGB in relazione alle dimensioni dell'AGB;
- $CF [tC/tdm]$  è la frazione di carbonio, un fattore moltiplicatore che permette di trasformare il peso della sostanza secca (dm) in carbonio.

Per quanto riguarda lo stock di SOC, ai fini del presente studio è stata utilizzata la metodologia proposta da Ungaro & Calzolari (2015)<sup>[32]</sup> :

$$SOC_{Stock} = SOC \cdot BD \cdot H \cdot f_{coarse} \cdot 100$$

Eq. 2.1.2

- $SOC_{Stock} [tonC/ha]$  è lo stock di carbonio organico del suolo valutato nello strato di suolo considerato per unità di superficie;
- $SOC [gC/kg]$  la quantità di carbonio organico presente nel suolo in un chilogrammo di suolo (concentrazione SOC);
- $BD [g/cm^3]$  è la densità apparente;
- $H [m]$  è lo strato di suolo considerato (profondità del suolo);
- $f_{coarse} [-]$  è un fattore di correzione che tiene conto della frazione grossolana della componente solida del suolo nel caso in cui sia significativa  $[1-(\%_{ghiaia} - \%_{sassi})]$  (se il terreno non ha una frazione grossolana rilevante si assume  $f_{coarse}=1$ ).

I risultati per la valutazione delle perdite di erosione del suolo sono stati ottenuti da una versione modificata del modello RUSLE, che hanno chiamato RUSLE2015<sup>[33]</sup> per stimare la perdita di suolo in Europa, e ha presentato anche la stima dell'erosione del suolo per tutti i paesi europei, Italia inclusa. L'erosione del suolo è calcolata dalla relazione:

$$E = R \cdot K \cdot C \cdot LS \cdot P$$

Eq. 2.1.3

Dove:

- $E$  è la perdita media annua del suolo  $[t \text{ ha}^{-1} \text{ anno}^{-1}]$ ;
- $R$  è il fattore erosivo della pioggia  $[MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}]$ ;
- $K$  è il fattore di erodibilità del suolo  $[t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}]$ ;

<sup>32</sup> Ungaro F., Calzolari C., 2015: Carta del contenuto percentuale e dello stock di carbonio delle frazioni granulometriche e della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola (0-30 cm). Rapp. 2.1 Ott. 2015.

<sup>33</sup> Panagos P., Borrelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., 2015: The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy 54 (2015) 438–447.

- C è il fattore di gestione della copertura [-];
- LS è la lunghezza della pendenza e il fattore di pendenza [-];
- P è il fattore pratiche di supporto [-].

Dopo l'analisi dei due principali comparti di carbonio nel sistema del frutteto e la discussione sulla potenziale perdita, è ora possibile ottenere un'equazione che consente di calcolare lo stock di carbonio nel frutteto per lo scenario di base. È dato dalla somma delle riserve di biomassa vivente ( $LB_{Stock}$ ) e di carbonio organico nel suolo ( $SOC_{Stock}$ ) tenendo conto delle perdite di carbonio (L):

$$C_{Stock} = LB_{Stock} + SOC_{Stock} - L \quad \text{Eq. 2.1.4}$$

Questa equazione sintetica permette di ottenere il valore complessivo dello stock di carbonio nel sistema del frutteto. Poiché gli alberi di pera crescono nel tempo e anche le perdite di carbonio vengono considerate come una diminuzione annuale, il valore risultante da questa equazione varierà nel tempo. Sarà calcolato come uno stock di carbonio annuale, il suo valore dovrebbe crescere nel tempo in seguito alla crescita della biomassa vivente immagazzinata negli alberi di pera.

<b>Dettagli documento</b>	
Titolo	Azione 3: Elaborazione di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio nel carbon farming e calcolo delle emissioni nette
Sottotitolo	Task 3.3 Calcolo emissioni nette a livello di prodotto
Progetto	FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE - Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio CONTROL CARBON
Data	25 giugno 2024
Versione	0.0
Autore	Tetis Institute S.r.l.
Cliente	Conserve Italia Soc. Coop. Agr.

00	25/06/2024	V. Tacchino	A. Del Borghi	P. Crudele	Prima emissione
<b>REV.</b>	<b>DATA</b>	<b>REDATTA</b>	<b>VERIFICATA</b>	<b>APPROVATA</b>	<b>DESCRIZIONE</b>

**INDICE**

1	Premessa.....	3
2	Calcolo della quantità di carbonio sequestrata .....	4
2.1	Scenario BAU.....	4
2.2	Scenario CF .....	5
3	Caratteristiche carbonio sequestrato .....	7
4	Realizzazione LCA.....	8
4.1	Scenario BAU.....	9
4.1.1	Dati di inventario.....	9
4.1.2	Risultati LCA.....	11
4.2	Scenario CF .....	16
4.2.1	Dati di inventario.....	16
4.2.2	Risultati LCA.....	20
4.3	Calcolo rimoziioni nette .....	22
4.3.1	Coltura.....	23
4.3.2	Prodotto finito .....	27
5	Opportunità di miglioramento.....	30
6	Indicatore unico.....	31
6.1.	Contributo del Carbon Farming all'indicatore unico .....	35
7	Bibliografia .....	38

## 1 Premessa

Nella presente relazione è riportato il calcolo delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente al netto di quelle assorbite utilizzando i risultati del Task 3.2. predisposto da Tetis Institute Srl (Tetis) “*Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera)*” ottenuti applicando la metodologia sviluppata nel documento di cui al Task 3.1 predisposto dall'Università di Genova (UniGe) “*Definizione della Metodologia di calcolo del sequestro di carbonio nelle colture identificate*”. Per emissioni nette si intende il differenziale tra le emissioni associate ad un prodotto agroalimentare finito valutate nel suo ciclo di vita e gli assorbimenti legati alla quantità di carbonio immobilizzata nel suolo o nella biomassa forestale viva.

Scopo del Task 3.3 è di valutare se vi siano prodotti a bilancio netto neutro o positivo combinando l'approccio del carbon farming all'analisi del ciclo di vita. Il calcolo delle emissioni nette è stato applicato alle tre colture oggetto dello studio: mais, pomodoro e pera.

Nel presente report vengono riportati i risultati relativi alle attività condotte da Tetis per il Task 3.3 (Calcolo emissioni nette a livello di prodotto):

- 1 Calcolo della quantità di carbonio sequestrata dalle colture analizzate nello scenario BAU e nelle migliori pratiche di sequestro del carbonio nei suoli agricoli applicabili alle colture oggetto dello studio (mais, pomodoro, pera) definite nel Task 1.2 applicando i risultati del Task 3.2. I valori di fissazione sono espressi in tonnellate di CO<sub>2</sub> equivalente (tCO<sub>2eq</sub>).
- 2 Identificazione delle caratteristiche del carbonio sequestrato in termini di tempi e durata dello stoccaggio del carbonio per una valutazione della condizione “Like for Like”.
- 3 Realizzazione studi LCA (secondo le norme ISO 14040-44) per le colture in esame (mais, pomodoro, pera) nello scenario BAU e nelle migliori pratiche di sequestro del carbonio definite nel Task 1.2.
- 4 Calcolo delle emissioni CO<sub>2eq</sub> al netto di quelle assorbite “Like for Like” attraverso la metodologia sviluppata nel Task 3.1 espressa in tonnellate di CO<sub>2eq</sub> per tonnellata di vegetale prodotto e a livello di prodotto finito.
- 5 Identificazione delle fasi della gestione agronomica che presentano gli impatti maggiori ed analisi delle opportunità di miglioramento.
- 6 Revisione degli studi LCA effettuati, quantificando le riduzioni ottenibili attraverso gestioni colturali a più basso impatto ambientale e pratiche agricole che consentano un maggiore assorbimento di carbonio.
- 7 Calcolo di un indicatore che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola quantificando, emissioni di gas serra, consumi idrici, fabbisogno energetico e di suolo, assorbimenti di carbonio delle colture.

---

### AZIENDA

CONSERVE ITALIA SOC. COOP. AGRICOLA	Via Paolo Poggi, 11 40068 San Lazzaro di Savena (BO) - Italia Web: <a href="http://www.conserveitalia.it">www.conserveitalia.it</a>
--	---

---

### PERSONE DI CONTATTO

Dott. Pietro Crudele	Responsabile Sostenibilità Ambientale e Certificazioni Tel: (+39) 051 6228319 E-mail: <a href="mailto:pcrudele@ccci.it">pcrudele@ccci.it</a>
----------------------	--

---

### PERSONE DI RIFERIMENTO Tetis Institute S.r.l.

Prof. Ing. Adriana Del Borghi	e-mail: <a href="mailto:delborghi@tetisinstitute.it">delborghi@tetisinstitute.it</a>
Ing. Valeria Tacchino	<a href="mailto:tacchino@tetisinstitute.it">tacchino@tetisinstitute.it</a>

---

## 2 Calcolo della quantità di carbonio sequestrata

### 2.1 Scenario BAU

In Tabella 1 sono riportati i risultati in termini di sequestro di carbonio annuale ( $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ) per le colture oggetto dello studio (mais, pomodoro, pera) analizzate nello scenario di baseline (BAU). I valori di fissazione, oltre che in termini di C, sono espressi anche in tonnellate di  $\text{CO}_2$  ( $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ).

Il calcolo dettagliato di tali valori è riportato nel cap. 2.6.1.1. (mais e pomodoro) e nel cap. 2.7.1.1. (pera) del Task 3.2. predisposto da Tetis Institute Srl (Tetis) “Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera)” e nei cap. 1.3 (pomodoro), 2.3 (mais) e 3.3 - 3.4 (pera) del report relativo al Task 2.1 predisposto da UniMi “Calcolo fissazione simulata per le tre colture di interesse: pomodoro da industria, mais dolce e pera”.






COLTURA	TOOL PRELIMINARE (UNIGE/TETIS)		MODELLO “RothC” (UNIGE/TETIS)		MODELLO “STICS” (UNIMI)	
<b>POMODORO</b> 	Risultati baseline	0,26 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 0,95 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati baseline	0,26 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 0,95 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati baseline	-0,28 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ -1,03 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
<b>MAIS</b> 	Risultati baseline	0,99 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 3,63 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati baseline	0,99 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 3,63 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati baseline	0,22 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 0,81 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
<b>PERO</b> 	Risultati baseline*	3,48 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 12,75 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Non applicato		Risultati baseline	0,13 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ 0,48 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$

Tabella 1 – Sequestro di carbonio annuale e valori di fissazione annuali in termini di  $\text{CO}_2$  per lo scenario BAU. \*I valori comprendono la biomassa della pianta.

## 2.2 Scenario CF

In Tabella 1 sono riportati i risultati in termini di sequestro di carbonio annuale ( $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ) per le colture oggetto dello studio (mais, pomodoro, pera) nelle migliori pratiche di Carbon Farming (CF). I valori di fissazione, oltre che in termini di C, sono espressi anche in tonnellate di  $\text{CO}_2$  ( $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ ).

Il calcolo dettagliato di tali valori è riportato nel cap. 2.6.1.2. e 2.6.1.5 (mais e pomodoro) e nel cap. 2.7.1.2. (pera) del Task 3.2. predisposto da Tetis Institute Srl (Tetis) e nei cap. 1.3 (pomodoro), 2.3 (mais) e 3.3 - 3.4 (pera) del report relativo al Task 2.1 predisposto da UniMi.

COLTURA	TOOL PRELIMINARE (UNIGE/TETIS)		MODELLO "RothC" (UNIGE/TETIS)		MODELLO "STICS" (UNIMI)	
<b>POMODORO</b> 	Risultati CF	Fertilizzante organico: +0,27 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +0,98 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati CF	Fertilizzante organico: +0,54 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +1,98 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati CF	Pacciamatura verde: +0,85 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +3,12 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
		Lavorazione ridotta: +0,29 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +1,08 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Lavorazione ridotta: +0,30 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +1,10 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Lavorazione ridotta: -0,27 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ -0,99 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
		Colture di copertura: +0,20 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +0,75 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Colture di copertura: +0,24 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +0,88 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Colture di copertura: +0,75 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +2,75 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
<b>MAIS</b> 	Risultati CF	Fertilizzante organico: +0,77 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +2,82 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati CF	Fertilizzante organico: +0,44 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +1,61 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$	Risultati CF	Pacciamatura verde: +1,43 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +5,24 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$
		Lavorazione ridotta: +0,81 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +2,98 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Lavorazione ridotta: +0,47 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +1,72 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$		Lavorazione ridotta: +0,22 $\text{tC ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$ +0,81 $\text{tCO}_2 \text{ ha}^{-1}\text{anno}^{-1}$




		Colture di copertura: +0,66 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +2,43 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>		Colture di copertura: +0,33 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +1,21 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>		Colture di copertura: +1,36 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +4,99 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	
<p style="text-align: center;"><b>PERO</b></p> 	Risultati CF	Fertilizzante organico (letame): +0,46 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +1,68 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	Non applicato		Risultati CF	Pacciamatura verde interfila: +1,22 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +4,47 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	
		Inerbimento permanente nell'interfila: +0,41 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +1,50 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>				Colture di copertura nell'interfila: +0,55 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +2,02 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>	Colture di copertura: +1,20 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +4,40 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>
		Reintroduzione residui di potatura: +0,09 tC ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup> +0,34 tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> anno <sup>-1</sup>					

Tabella 2– Sequestro di carbonio annuale e valori di fissazione annuali in termini di CO<sub>2</sub> per le differenti pratiche di CF.

### 3 Caratteristiche carbonio sequestrato

La norma internazionale ISO 14068-1:2023 (Climate change management. Transition to net zero. Carbon Neutrality) fornisce una guida completa per le organizzazioni che desiderano intraprendere un percorso verso la neutralità carbonica, aiutandole a misurare, ridurre e compensare le loro emissioni di GHG in modo strutturato e verificabile. In particolare, serve da linea guida per la transizione verso la neutralità carbonica, fornendo un quadro di riferimento per le organizzazioni che definisce i principi, i requisiti e le pratiche raccomandate per il calcolo, la riduzione e la compensazione delle emissioni di gas serra. Secondo la norma, le organizzazioni devono sviluppare e attuare piani per ridurre le loro emissioni di GHG.

Questo può includere l'implementazione di misure di efficienza energetica, l'uso di energie rinnovabili e altre strategie di mitigazione. Per le emissioni che non possono essere eliminate, la norma prevede la possibilità di compensarle attraverso progetti di compensazione certificati, come progetti di riforestazione, energia rinnovabile e altri meccanismi di compensazione riconosciuti. Le organizzazioni devono monitorare e rendicontare le loro emissioni di GHG, i progressi nella riduzione delle emissioni e le attività di compensazione in modo trasparente e verificabile. Il raggiungimento della neutralità carbonica può essere quindi raggiunto seguendo lo schema di Figura 1.

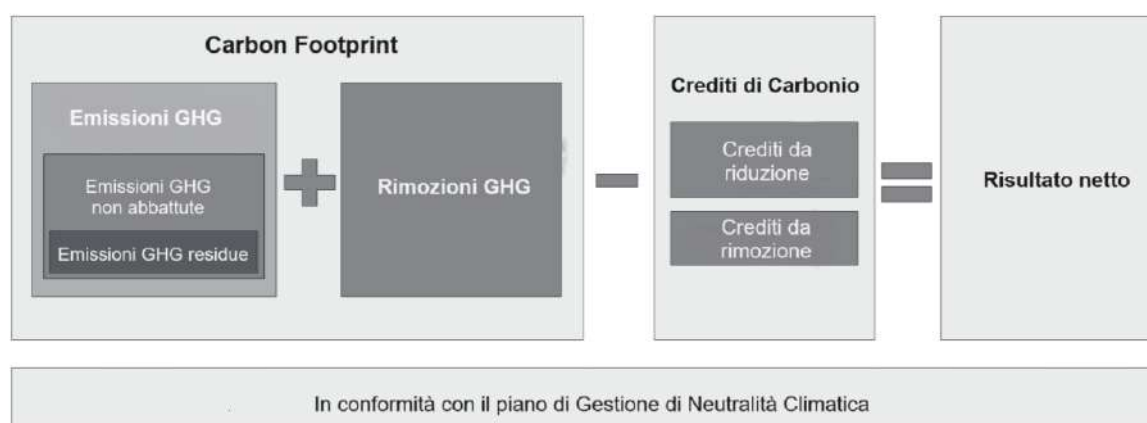


Figura 1 - Schema di piano di Gestione di Neutralità Climatica conforme alla norma ISO 14068-1:2023.

La proposta dell'Unione Europea per il Carbon Removal Certification Framework (CRCF) prevede che la validità delle attività di Carbon Farming possa rimanere tale soltanto fino quando lo stoccaggio del carbonio viene verificato durante il periodo di monitoraggio. Al termine del periodo di monitoraggio le unità certificate non risultano più valide. Il periodo di monitoraggio può essere comunque rinnovato per un numero di anni indefinito. Per la rimozione/assorbimento del carbonio, è necessario rimuovere un'unità equivalente ad una tonnellata di CO<sub>2</sub> che corrisponde al beneficio netto. Il beneficio netto è il beneficio dell'attività meno la baseline e meno qualsiasi aumento di emissioni, ed è misurato in tonnellate. Ogni tonnellata di beneficio netto diventa un'unità registrabile. Le rimoziioni del carbonio corrispondono a una "Carbon Removal Unit".

Per cui la Carbon Footprint può essere calcolata a partire dalle emissioni di progetto, valutate con la metodologia LCA (ISO 14040, ISO 14044) per mezzo dell'indicatore GWP100, a cui vengono sommate algebricamente le rimoziioni certificate provenienti dal progetto di Carbon Farming monitorato.

Pertanto, l'identificazione delle caratteristiche del carbonio sequestrato è cruciale per valutare l'efficacia e la durabilità delle iniziative di carbon farming seguendo un approccio nell'ambito del concetto "Like

for Like". Secondo questo principio, presente nella proposta dell'Unione Europea per il Carbon Removal Certification Framework (CRCF), gli aspetti essenziali da considerare sono:

- Tipologia: i crediti agricoli possono essere utilizzati per compensare solamente emissioni nello stesso ambito (quindi emissioni biogeniche e/o dovute all'utilizzo di fertilizzanti).
- Permanenza: data la natura reversibile dei crediti generati da progetti di Carbon Farming, è essenziale considerare il periodo di validità dei crediti di carbonio, che è determinato dalla durata dello stoccaggio del carbonio e il monitoraggio della permanenza.

In riferimento all'ultimo punto, in particolare la durata del Crediting Period, rappresenta il periodo di tempo in cui il sequestro del carbonio deve essere verificato e monitorato. Secondo la proposta dell'Unione Europea per il CRCF, le unità di carbonio certificate mantengono la loro validità solo fino alla conclusione del periodo di monitoraggio. Tuttavia, è possibile rinnovare questo periodo di monitoraggio per un numero indefinito di anni, consentendo un controllo continuo delle emissioni di gas serra e del sequestro di carbonio. Il monitoraggio costante e la verifica durante l'intero Crediting Period sono essenziali per garantire che il carbonio sequestrato rimanga stoccato in modo stabile e che i benefici ambientali siano reali e duraturi.

Questo approccio permette di calcolare accuratamente la Carbon Footprint del progetto, integrando le rimozioni certificate con le emissioni valutate attraverso la metodologia LCA (ISO 14040, ISO 14044) e utilizzando l'indicatore GWP100. Pertanto, una valutazione "Like for Like" richiede un monitoraggio rigoroso e continuo del carbonio sequestrato, assicurando che le riduzioni delle emissioni siano mantenute nel tempo e che i progetti di compensazione siano realmente efficaci nel contribuire alla neutralità carbonica.

## 4 Realizzazione LCA

La missione di Conserve Italia è quella di "essere un'azienda leader in Europa nel settore delle conserve ortofruitticole, per realizzare la miglior valorizzazione dei prodotti agricoli dei soci cooperatori e per dare al consumatore, grazie alla filiera cooperativa e ai propri marchi, garanzie di qualità e sicurezza alimentare". Conserve Italia rappresenta la prima industria conserviera in Italia e si colloca fra le aziende leader del settore in Europa. Conserve Italia a livello di Gruppo trasforma ogni anno circa 600.000 tonnellate di materie prime, rappresentate da frutta, pomodoro e vegetali coltivati su 20.000 ettari di coltivazioni specializzate, che vengono trasformate in 11 stabilimenti, di cui 8 in Italia, 2 in Francia e 1 in Spagna.

In questo contesto, nel 2017, la Società Conserve Italia ha deciso di sviluppare il **sistema EPD Process**, allo scopo di utilizzare un modello affidabile e consolidato di raccolta, gestione ed elaborazione dei dati necessari alla realizzazione degli studi LCA (Life Cycle Assessment) dei prodotti oggetto della certificazione. Attualmente all'interno del sistema EPD Process all'interno del framework dell'International EPD® System ([www.environdec.com](http://www.environdec.com)) sono pubblicate 50 EPD relative ad un numero totale di 52 prodotti a marchio Valfrutta, Cirio e DerbyBlue.

Il **Life Cycle Assessment (LCA)**, definito dall'International Organization for Standardization (ISO) come "una raccolta e valutazione degli input, degli output e dei potenziali impatti ambientali di un sistema di prodotto durante tutto il suo ciclo di vita", è una metodologia di valutazione ambientale che analizza l'impatto complessivo di un prodotto, processo o servizio lungo tutto il suo ciclo di vita. Questo approccio esamina ogni fase del ciclo di vita, dalla produzione delle materie prime, alla manifattura, distribuzione, utilizzo e smaltimento finale. L'obiettivo dell'LCA è identificare e quantificare i consumi di

risorse e le emissioni di inquinanti associati a ciascuna fase, al fine di comprendere meglio le prestazioni ambientali e individuare opportunità per miglioramenti sostenibili. Inoltre, l’LCA è uno strumento fondamentale per le aziende e i decisori politici, poiché fornisce una base ingegneristica e scientifica per promuovere la sostenibilità, ridurre gli impatti ambientali e supportare lo sviluppo di prodotti e processi più sostenibili rispetto al Business-As-Usual (BAU).

Annualmente l’azienda Conserve Italia, con il supporto di Tetis Institute Srl, predispose uno studio LCA condotto in conformità alle norme ISO 14040 e 14044, alla norma ISO 14025 ed ai requisiti del documento GPI (General Programme Instructions) dell’International EPD® System e del PCR 2019:10 “*Prepared and preserved vegetable and fruit products, including juice*”, con lo scopo di ottenere la convalida dell’**Environmental Product Declaration (EPD)**.

Pertanto, per gli aspetti generali dello studio LCA necessari per la predisposizione della presente relazione, relativi all’obiettivo dello studio, campo di applicazione, processo, sistemi di prodotti studiati, unità funzionale, confini del sistema, regole di cut-off, regole di allocazione, assunzioni e limitazioni si rimanda ai cap. 2.1 e 3.1 del report “*Analisi del Ciclo di Vita “EPD PROCESS LIFE CYCLE ASSESSMENT PRODOTTI CONSERVE ITALIA”, Tetis Institute Srl, 2023, Rev.20*”, studio sul quale sono basate le EPD attualmente in stato di validità.

## 4.1 Scenario BAU

### 4.1.1 Dati di inventario

Nel presente capitolo sono riportati i piani di approvvigionamento per la selezione delle aziende per la raccolta dei dati agricoli (in accordo alla procedura “Manuale raccolta, archiviazione e verifica dati EPD Process) ed i dati di inventario relativi alla fase di coltivazione per lo scenario BAU. Lo scenario di baseline (BAU) è caratterizzato dalle seguenti pratiche: lavorazione meccanica convenzionale, nessuna applicazione di fertilizzante organico e nessun uso di cover crops.

#### Piano di approvvigionamento Pomodoro

Le aziende individuate sono la rappresentazione del piano di approvvigionamento del pomodoro di Conserve Italia. Il pomodoro è coltivato per il 60-70% nel Nord (Emilia-Romagna), la restante parte è suddivisa tra la Toscana e la Puglia.

Per l’analisi di rappresentatività sono stati considerati i seguenti areali:

- per il nord: Ravenna, Ferrara, Modena;
- per il centro: Grosseto;
- per il sud: Bari e Foggia.

Le dimensioni riportate sono quelle medie del settore, che vanno dai 10 ai 20 ettari circa. Le tessiture di terreno variano tra argilloso, sabbioso e medio impasto argilloso, che sono quelle tipiche degli areali presi in considerazione.

La scelta delle aziende per quanto riguarda il sistema di irrigazione ha preso in considerazione le diverse aree geografiche. Per il Nord d’Italia si ha la prevalenza di irrigazioni per aspersione con rotolone per la maggiore disponibilità idrica, mentre al centro e al sud la totalità dell’irrigazione è a manichetta.

### Piano di approvvigionamento Mais

Le aziende individuate sono la rappresentazione del piano di approvvigionamento del mais di Conserve Italia. Nello specifico, il mais è coltivato per la totalità nel nord d'Italia (60% Emilia-Romagna, 40% Lombardia e Veneto).

Per l'analisi di rappresentatività sono stati considerati i seguenti areali:

- Emilia-Romagna (Piacenza, Ravenna, Ferrara, Bologna, Modena)
- Lombardia (Lodi, Cremona, Bergamo, Mantova)
- Veneto (Verona)

Le dimensioni riportate sono quelle medie del settore, che variano dai 40 ettari ai 10 ettari circa. Le tessiture di terreno variano tra argilloso, sabbioso e medio impasto argilloso, che sono quelle tipiche degli areali presi in considerazione.

La scelta delle aziende per quanto riguarda il sistema di irrigazione ha preso in considerazione le diverse tipologie di irrigazione quali rotolone e pivot.

Bisogna evidenziare che la produzione di pisello, non sempre necessita di irrigazione.

### Piano di approvvigionamento Pero

Le aziende individuate devono essere la rappresentazione del piano di approvvigionamento della frutta di Conserve Italia. La frutta è coltivata per il 90% in Emilia-Romagna, la restante parte è suddivisa tra il Veneto e Piemonte.

Per l'analisi di rappresentatività sono da considerare i seguenti areali:

- Emilia-Romagna: Bologna, Ravenna, Ferrara, Modena, Cesena, Forlì, Faenza, Imola
- Piemonte: Cuneo
- Veneto: Verona, Badia Polesine.

Le dimensioni devono essere quelle medie del settore, che variano da 10 ai 50 ettari circa. Le tessiture di terreno da considerare devono essere quelle tipiche degli areali presi in considerazione: medio impasto e sabbioso. La totalità delle aziende aderisce ai disciplinari di Produzione integrata, la maggioranza aderisce anche alla certificazione Global Gap.

Le strutture medio grandi, utilizzano tecnologie avanzate per la coltivazione dei frutteti, a partire dalla gestione delle chiome (potature) che vengono gestite meccanicamente (riduzione delle ore di manodopera e ore di utilizzo dei carri raccolta), i diradamenti dei frutti gestiti meccanicamente (riduzione delle ore di manodopera e ore di utilizzo dei carri raccolta). Alcuni dei frutteti, sono coperti da strutture antinsetto, in modo da ridurre il numero dei passaggi con le macchine irroratrici all'interno dei frutteti.

La scelta delle aziende deve prendere in considerazione le diverse aree geografiche. Per il Nord d'Italia le irrigazioni sono gestite con impianti di micro-irrigazione, ovvero con ala gocciolante localizzata sulla fila, in modo da evitare sprechi e razionalizzare il più possibile le quantità delle acque. In alcune delle aziende, sono installate delle centraline meteo, utili per il rilievo dei dati meteo e per il rilievo dell'umidità del terreno (tramite l'utilizzo di sonde dedicate), in modo da gestire le irrigazioni in base al vero fabbisogno delle piante.

Nella tabella seguente sono riportati i dati relativi alla coltivazione del pomodoro, del mais e del pero. I dati della fase di agricoltura sono riferiti alla media triennale **2019-2021**, in accordo al PCR 2019:10.

INPUT	POMODORO	MAIS	PERO
Resa (t/ha)	84,51	15,14	29,40
Piantine/semi (N°-kg/ha)	31.616	8,52	945,84
Gasolio (l/ha)	401,04	318,83	280,72
Acqua (m <sup>3</sup> /ha)	3.185	1.384,70	3.173,08
Fertilizzante: urea (kgN/ha)	1,92	134,91	76,06
Fertilizzante: nitrato di ammonio (kgN/ha)	2,56	4,71	12,22
Fertilizzante azotato (kgN/ha)	113,51	16,14	-
Fertilizzante: anidride fosforica (kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha)	83,58	21,80	64,78
Fertilizzante: ossido di potassio (kgK <sub>2</sub> O/ha)	67,80	7,88	57,11
Pesticidi (kg/ha)	36,79	13,89	27,88
Packaging (kg/ha)	83,19	0,42	28,70

Tabella 3 – Dati di coltivazione scenario BAU.

I dati di resa, semi/piantine, acqua, fertilizzanti, trattamenti chimici, consumo di gasolio e imballaggi sono tutti dati primari raccolti durante il periodo di riferimento.

Le emissioni in atmosfera causate dall'utilizzo di fertilizzanti azotati, utilizzati per le operazioni di coltivazione, sono state calcolate secondo la PCR 2020:07 "Arable and vegetable crops". Le emissioni nel caso in esame riguardano fertilizzanti 100% inorganici, sia azotati che fosforici: nel primo caso sono rappresentati da urea, nitrato di ammonio e fertilizzante ternario e nel secondo caso da anidride fosforica P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### 4.1.2 Risultati LCA

Le emissioni di progetto in termini di CO<sub>2</sub> equivalente (Carbon Footprint) sono state calcolate (in accordo al PCR 2019:10) mediante l'indicatore "Global Warming Potential total, kg CO<sub>2</sub> equivalents (GWP - total)" costituito dalla somma dei seguenti 3 contributi:

- Global Warming Potential fossil, kg CO<sub>2</sub> equivalents (GWP - fossil)
- Global Warming Potential biogenic, kg CO<sub>2</sub> equivalents (GWP - biogenic)
- Global Warming Potential land use and land use change, kg CO<sub>2</sub> equivalents (GWP - luluc)

I fattori di impact assessment sono quelli definiti dall'IPCC (Six Assessment Report - Climate Change 2013 - IPCC).

Il software professionale utilizzato per l'elaborazione dei risultati è SimaPro v.9.5.

Per la sola fase di coltivazione è stata considerata come unità funzionale (FU) **1 ton di prodotto coltivato**.

##### Pomodoro

In Tabella 4 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint (emissione di progetto), riferiti alla coltivazione di 1 ton di pomodoro.

CONTRIBUTII	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	%
Emissioni in aria e acqua dei fertilizzanti	9,15	24,85
Produzione del fertilizzante urea	0,06	0,16
Produzione del fertilizzante nitrato di ammonio	0,13	0,34
Produzione del fertilizzante azotato	8,50	23,08
Produzione dei pesticidi	3,44	9,35
Produzione del packaging (HDPE)	1,89	5,14
Produzione del diesel ed emissioni	13,66	37,08
<b>Totale</b>	<b>36,83</b>	<b>100</b>

Tabella 4 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola riferita ad 1 ton di pomodoro.

Il grafico in Figura 2 mostra che per il pomodoro il contributo predominante (37,08%) alla fase agricola è imputabile alla produzione del diesel (ed emissioni associate) utilizzato per i mezzi agricoli, seguito dalle emissioni in aria ed acqua a seguito dell'applicazione dei fertilizzanti (24,85) e dalla produzione del fertilizzante azotato (23,08%).

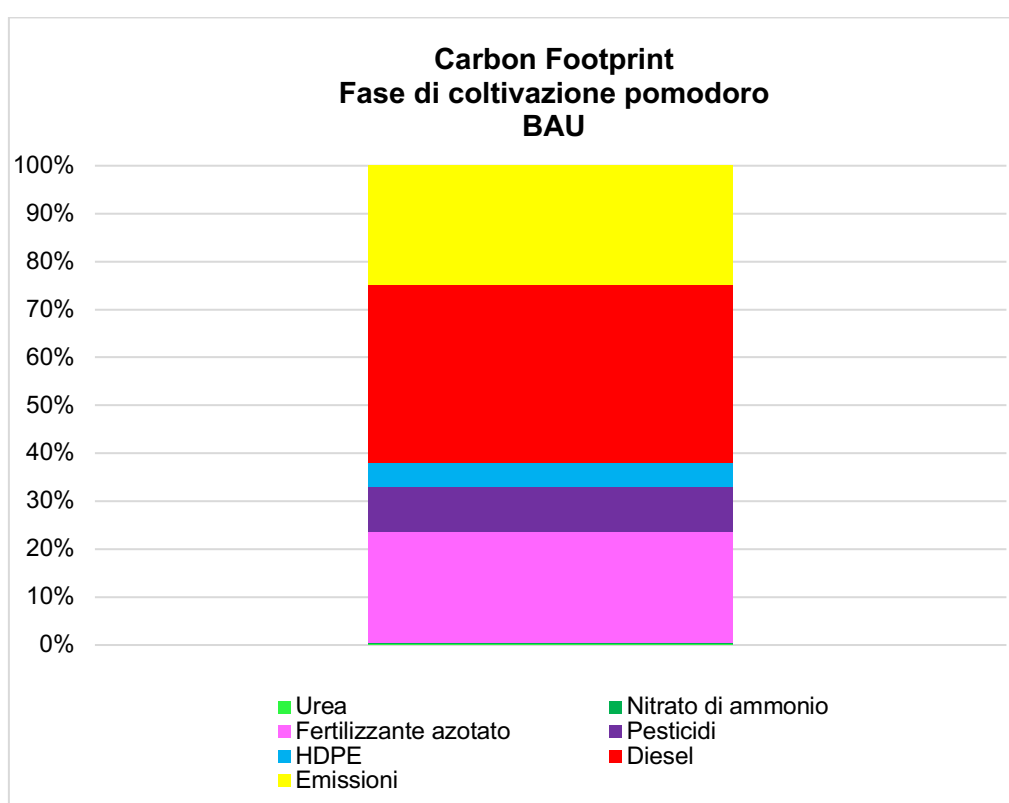


Figura 2 – Pomodoro: contributi alla Carbon Footprint (emissione di progetto) della fase agricola.

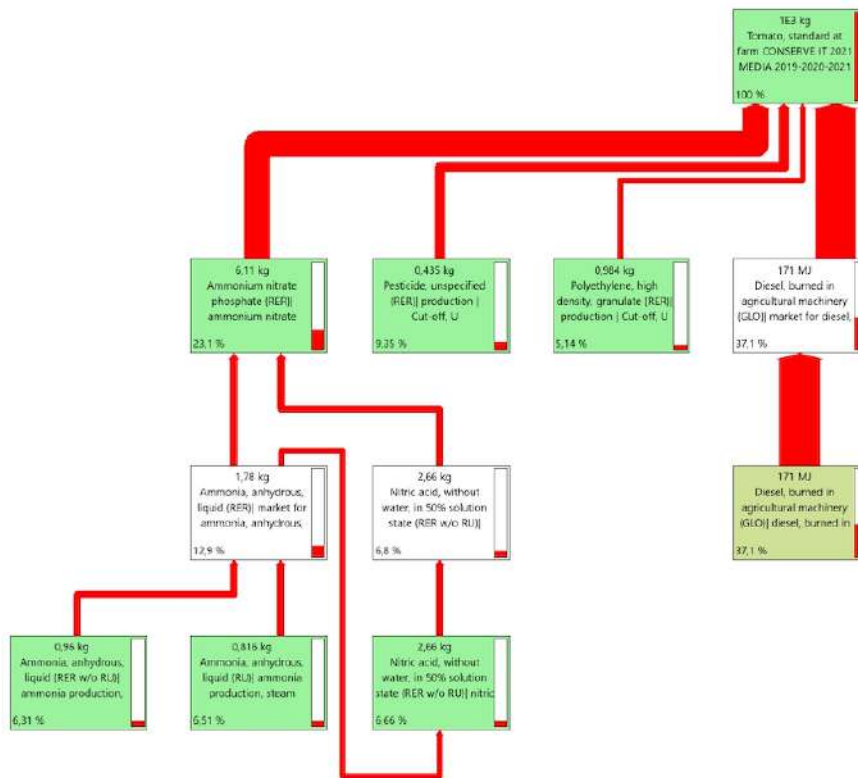


Figura 3 – Pomodoro: Grafico ad albero (contributi >5%).

### Mais

In Tabella 5 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint, riferiti alla coltivazione di 1 ton di mais.

CONTRIBUTI	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	%
Emissioni in aria e acqua dei fertilizzanti	67,45	40,24
Produzione dei semi	0,78	0,47
Produzione del fertilizzante urea	23,44	13,98
Produzione del fertilizzante nitrato di ammonio	1,30	0,77
Produzione del fertilizzante azotato	6,75	4,02
Produzione dei pesticidi	7,25	4,33
Produzione del packaging (HDPE)	0,05	0,03
Produzione del diesel ed emissioni	60,61	36,16
<b>Totale</b>	<b>167,63</b>	<b>100</b>

Tabella 5 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola riferita ad 1 ton di mais.

Il grafico in Figura 4 mostra che per il mais il contributo predominante (40,24%) alla fase agricola è imputabile alle emissioni in aria ed acqua a seguito dell'applicazione dei fertilizzanti, seguito dalla produzione del diesel (ed emissioni associate) utilizzato per i mezzi agricoli (36,16%) e dalla produzione dell'urea utilizzata come fertilizzante (13,98%).



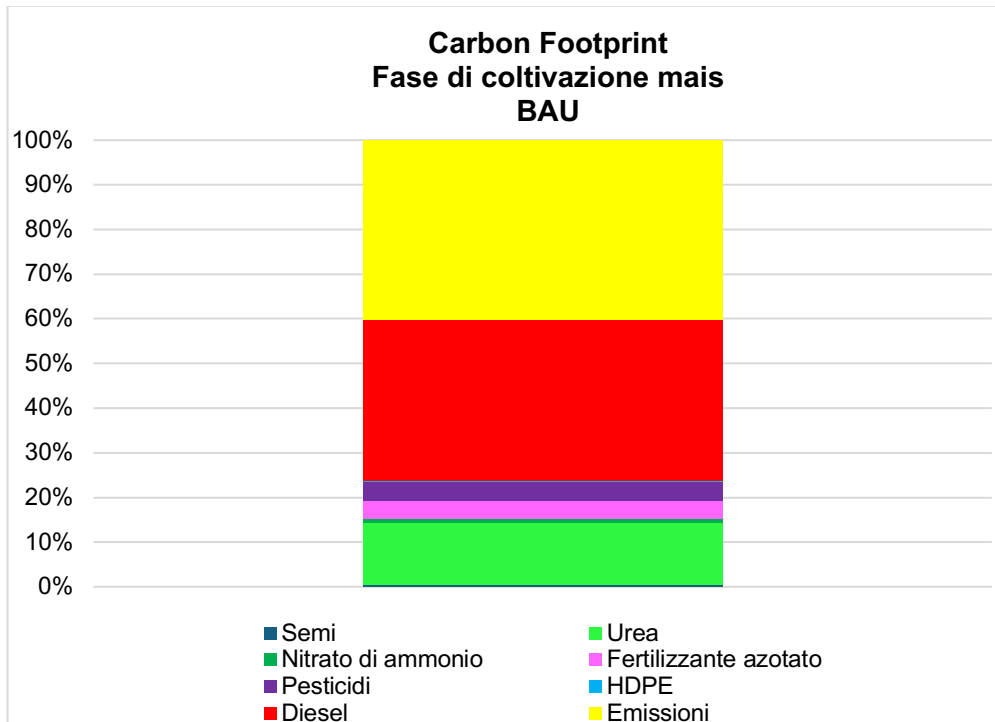


Figura 4 – Mais: contributi alla Carbon Footprint della fase agricola.

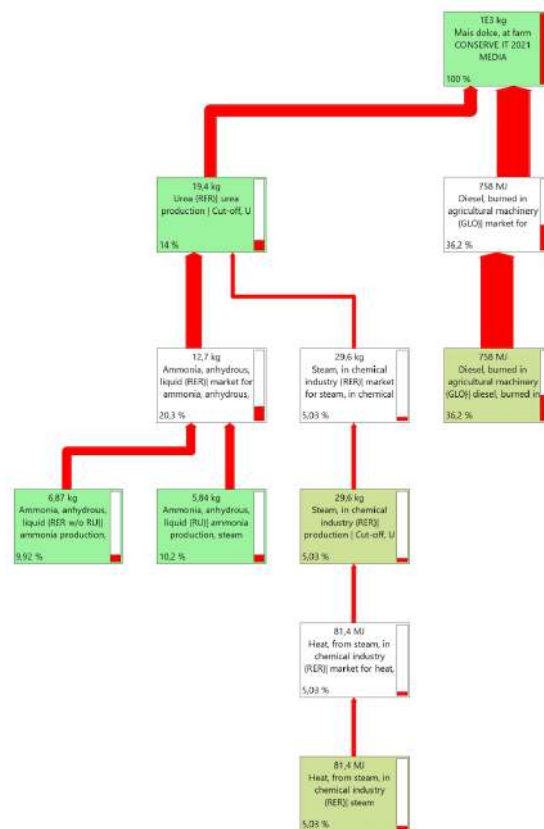


Figura 5 – Mais: Grafico ad albero (contributi >5%).

Pero

In Tabella 6 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint, riferiti alla coltivazione di 1 ton di pere.

CONTRIBUTII	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	%
Emissioni in aria e acqua dei fertilizzanti	19,69	23,96
Produzione piantine	12,70	15,46
Produzione del fertilizzante urea	6,81	8,28
Produzione del fertilizzante nitrato di ammonio	1,73	2,11
Produzione del fertilizzante azotato	5,49	6,68
Produzione dei pesticidi	7,50	9,13
Produzione del packaging (HDPE)	0,33	0,40
Produzione del diesel ed emissioni	27,48	33,45
Elettricità	0,52	0,63
<b>Totale</b>	<b>82,17</b>	<b>100</b>

Tabella 6 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola riferita ad 1 ton di pere.

Il grafico in Figura 6 mostra che per le pere il contributo predominante (33,45%) alla fase agricola è imputabile alla produzione del diesel (ed emissioni associate) utilizzato per i mezzi agricoli, seguito dalle emissioni in aria ed acqua a seguito dell'applicazione dei fertilizzanti (23,96%) e dalla produzione delle piantine (15,46%).

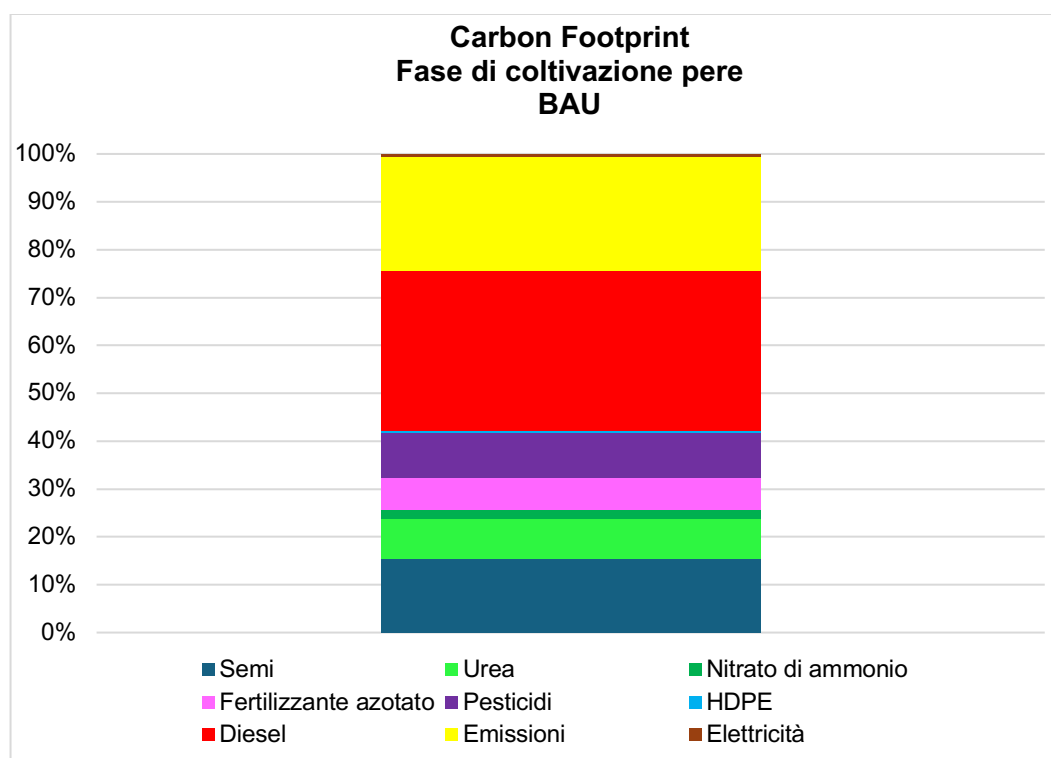


Figura 6 – Pere: contributi alla Carbon Footprint della fase agricola.

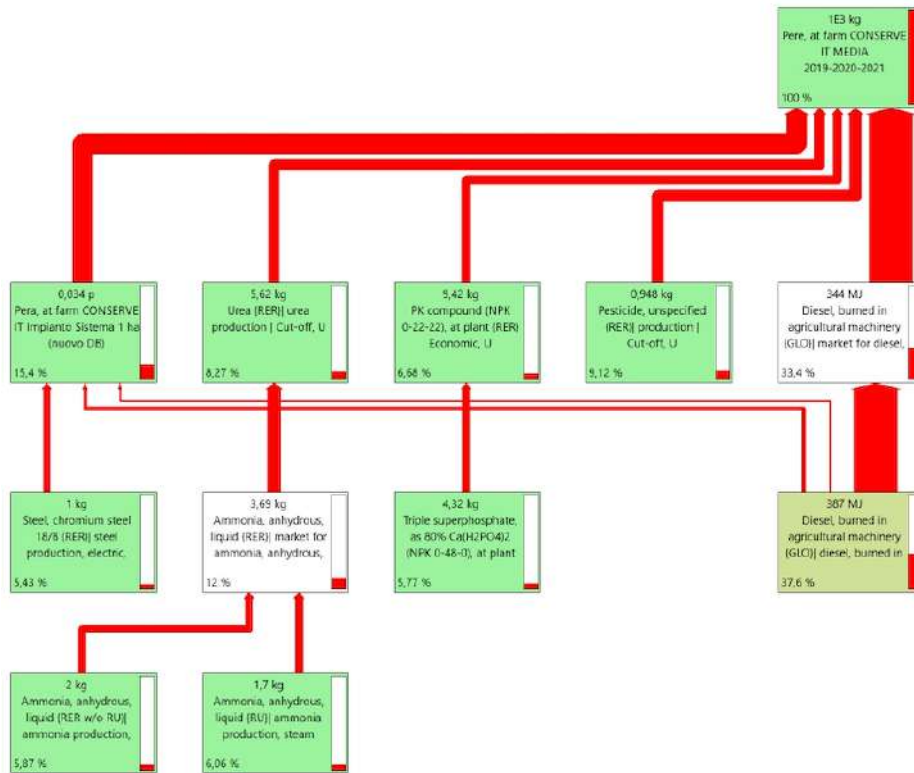


Figura 7 – Pero: Grafico ad albero (contributi >5%).

## 4.2 Scenario CF

### 4.2.1 Dati di inventario

Nel presente capitolo sono riportati i dati di inventario e le assunzioni effettuate per il calcolo delle emissioni di progetto a seguito dell'applicazione delle pratiche di Carbon Farming (CF) per le quali è stato calcolato il sequestro di carbonio annuale, riassunto nel cap. 2.2.

Nello specifico sono stati considerati i seguenti scenari:

- Scenario 1: Fertilizzante organico
- Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta
- Scenario 3: Cover crops o colture di copertura
- Scenario 4: Pacciamatura verde
- Scenario 5: Inerbimento permanente
- Scenario 6: Reintroduzione residui di patatura

Per mais e pomodoro risultano applicabili gli scenari 1, 2, 3 e 4 mentre per il pero gli scenari 1, 3, 4, 5 e 6, in accordo a quanto riportato nella tabella al cap. 2.2.

Scenario 1: Fertilizzante organico

Per lo scenario “Fertilizzante organico” le emissioni di progetto da tenere in considerazione sono quelle relative all'utilizzo delle macchine agricole per spargere il fertilizzante organico sul terreno e le emissioni legate ai fertilizzanti: GHG indirette per la loro produzione dei fertilizzanti e GHG dirette e in aria ed acqua a seguito dell'applicazione degli stessi. Poiché la sostituzione dei fertilizzanti inorganici non è totale ma parziale (affinchè siano garantite le corrette quantità di N-P-K), i passaggi dello spandiconcime non sono stati considerati aggiuntivi ma sostitutivi di quelli presenti nello scenario BAU in quanto si ipotizza una quantità invariata di fertilizzante totale. Le emissioni in aria ed acqua causate dall'utilizzo di fertilizzanti organici sono state calcolate in accordo al PCR 2020:07 “Arable and vegetable crops”. Le % di applicazione dei fertilizzanti organici ed inorganici, ipotizzate sulla base di interviste effettuate con gli agronomi di Conserve Italia, sono riportati in Tabella 7.

Tutti i dati di input, ad eccezione dei fertilizzanti, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU.

COLTURA	DATI ED IPOTESI	FONTE
Pomodoro	60% fertilizzante organico (avicolo) 40% fertilizzante inorganico	Conserve Italia
Mais	60% fertilizzante organico (bovino) 40% fertilizzante inorganico	Conserve Italia
Pero	20% fertilizzante organico (stallatico) 80% fertilizzante inorganico	Conserve Italia

Tabella 7 - % di applicazione fertilizzanti organici ed inorganici nello Scenario 1.

Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta

Per lo scenario di “Lavorazione meccanica ridotta” le emissioni di progetto da tenere in considerazione sono quelle relative ad una diminuzione del consumo di diesel, a seguito di un numero inferiore di passaggi del trattore in campo. Diversi studi in letteratura, tra i quali Afshar et al. (2022), riportano riduzioni del consumo di gasolio fino al 53% applicando una lavorazione meccanica ridotta rispetto ad una lavorazione convenzionale. Tuttavia, nel presente studio, al fine di utilizzare un valore conservativo si ipotizza una riduzione del 20% per il mais e del 15% per il pomodoro. Alcune lavorazioni meccaniche (es. sarchiatura) migliorano la resa, pertanto, a fini cautelativi si è ipotizzata una riduzione della resa pari al 5%.

Tutti i restanti dati di input, ad eccezione del consumo di diesel e della resa, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU. I valori di variazione di diesel sono riportati in Tabella 8.

COLTURA	DATI ED IPOTESI	FONTE
Pomodoro	- 15% di diesel - 5% di resa	Assunzione / Conserve Italia
Mais	- 20% di diesel - 5% di resa	Assunzione / Conserve Italia

Tabella 8 – Variazioni di diesel nello Scenario 2.

Scenario 3: Cover crops o colture di copertura

Per lo scenario delle “Colture di copertura” le emissioni di progetto da tenere in considerazione sono quelle relative ai passaggi aggiuntivi del trattore in campo. Nello specifico, sono stati considerati 3 passaggi aggiuntivi: uno per la semina, uno per il taglio delle colture di copertura e l'ultimo per sotterrare la biomassa. Tali lavorazioni meccaniche implicano un aumento (30 l/ha) del consumo di diesel come carburante e quindi comportano sia emissioni indirette di GHG derivanti dalla produzione del diesel sia emissioni dirette durante l'utilizzo dei mezzi agricoli.

Per il pero si ipotizza una riduzione del 20% sia del gasolio utilizzato per i trattamenti (inclusi i diserbi) che dei prodotti chimici (diserbanti).

Le emissioni GHG indirette derivanti dalla produzione dei semi sono state considerate trascurabili.

L'utilizzo di una coltura di copertura potrebbe influire sulla resa, in quanto viene apportata sostanza organica e si migliora la struttura del terreno oltre all'apporto di elementi nutritivi. Tuttavia, nel presente studio, si è ipotizzata una non variazione della resa a fini conservativi.

Tutti i restanti dati di input, ad eccezione del consumo di diesel e dei diserbanti per il pero, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU. I valori di variazione di diesel e (pesticidi) sono riportati in Tabella 9.

<b>COLTURA</b>	<b>DATI ED IPOTESI</b>	<b>FONTE</b>
Pomodoro	+ 11% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015)
Mais	+ 16% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015)
Pero	+ 11% di diesel - 20% diserbanti	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015) Dati Conserve Italia - EPD Process

*Tabella 9 – Variazioni di diesel nello Scenario 3.*

Scenario 4: Pacciamatura verde interfila

Come riportato nel report relativo al Task 2.1 predisposto da UniMi, per scenario di “Pacciamatura verde interfila” si intende uno scenario analogo a quello delle colture di copertura ma con terminazione conservativa della cover crop (senza interrimento) nell'interfila e lavorazione sulle file (strip tillage). Il risultato è un suolo lavorato sul 60% della superficie e una pacciamatura verde sul restante 40%.

Per lo scenario di “Pacciamatura verde interfila” le emissioni di progetto da tenere in considerazione sono quelle relative ai passaggi aggiuntivi del trattore nell'interfila. Nello specifico, sono stati considerati 2 passaggi aggiuntivi: uno per la semina e uno per il taglio delle colture di copertura. Tali lavorazioni meccaniche implicano il consumo di diesel come carburante e quindi comportano sia emissioni indirette di GHG derivanti dalla produzione del diesel sia emissioni dirette durante l'utilizzo dei mezzi agricoli.

Le emissioni GHG indirette derivanti dalla produzione dei semi sono state considerate trascurabili.

Tutti i restanti dati di input, ad eccezione del consumo di diesel e dei diserbanti per il pero, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU.

Gli incrementi del consumo di diesel in % sono riportati in Tabella 9.

COLTURA	DATI ED IPOTESI	FONTE
Pomodoro	+ 5% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015)
Mais	+ 5% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015)
Pero	+ 5% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia - Romagna (2015)

Tabella 10 - % di applicazione fertilizzanti organici ed inorganici nello Scenario 4.

#### Scenario 5: Inerbimento permanente

Per lo scenario di “Inerbimento permanente” le emissioni di progetto da tenere in considerazione, così come per lo scenario 3, sono quelle relative ai passaggi aggiuntivi del trattore in campo. Nello specifico, sono stati considerati 4 passaggi aggiuntivi: uno per la semina dell'erba e tre per tagliare l'erba periodicamente. Tali lavorazioni meccaniche implicano il consumo di diesel (43 l/ha) come carburante e quindi comportano sia emissioni indirette di GHG derivanti dalla produzione del diesel sia emissioni dirette durante l'utilizzo dei mezzi agricoli. Tuttavia, l'adozione di inerbimento permanente consente l'eliminazione dell'utilizzo di diserbanti, con vantaggi sia in termini di diesel utilizzato che in termini di sostanze chimiche. Si ipotizza una riduzione del 20% sia del gasolio utilizzato per i trattamenti (inclusi i diserbi) che dei prodotti chimici (pesticidi). Le emissioni GHG indirette derivanti dalla produzione dei semi sono state considerate trascurabili. Tutti i dati di input, ad eccezione del consumo di diesel e di pesticidi, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU. I valori di variazione di diesel e (pesticidi) sono riportati in Tabella 9.

COLTURA	DATI ED IPOTESI	FONTE
Pero	+ 3% di diesel - 20% diserbanti	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia- Romagna (2015)

Tabella 11 – Variazioni di diesel nello Scenario 5.

#### Scenario 6: Reintroduzione residui di potatura

Per lo scenario di “Reintroduzione dei residui di potatura” le emissioni di progetto da tenere in considerazione sono quelle relative all'utilizzo della macchina cippatrice utilizzata per tritare i residui di potatura prima della loro reintroduzione nel terreno. Il processo di cippatura implica il consumo di diesel come carburante (180 l/ha) e quindi comporta sia emissioni indirette di GHG derivanti dalla produzione del diesel sia emissioni dirette durante l'utilizzo della macchina cippatrice.

Tutti i dati di input, ad eccezione del consumo di diesel, sono stati ipotizzati invariati rispetto allo scenario BAU. I valori di aumento di diesel in % sono riportati in Tabella 12.

COLTURA	DATI ED IPOTESI	FONTE
Pero	+ 39% di diesel	Tabelle consumi medi di gasolio - Regione Emilia- Romagna (2015)

Tabella 12 – Variazioni di diesel nello Scenario 6.

## 4.2.2 Risultati LCA

Analogamente allo scenario BAU, anche per gli scenari di Carbon Farming, le emissioni di progetto in termini di CO<sub>2</sub> equivalente (Carbon Footprint) sono state calcolate mediante l'Indicatore GWP e con l'utilizzo del software SimaPro v.9.5.

Per la fase di coltivazione è stata considerata come unità funzionale (FU) **1 ton di prodotto coltivato**.

### Pomodoro

In Tabella 13 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint, riferiti alla coltivazione di 1 ton di pomodoro nelle diverse pratiche di CF analizzate.

SCENARIO	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	VARIAZIONE RISPETTO ALLO SCENARIO BAU (%)
Scenario 1: Fertilizzante organico	144,77	+ 293
Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione	36,62	-0,59
Scenario 3: Cover crops o colture di copertura	38,34	+4,08
Scenario 4: Pacciamatura verde	37,52	+1,85

Tabella 13 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola per le varie pratiche di CF analizzate. I risultati sono riferiti ad 1 ton di pomodoro.

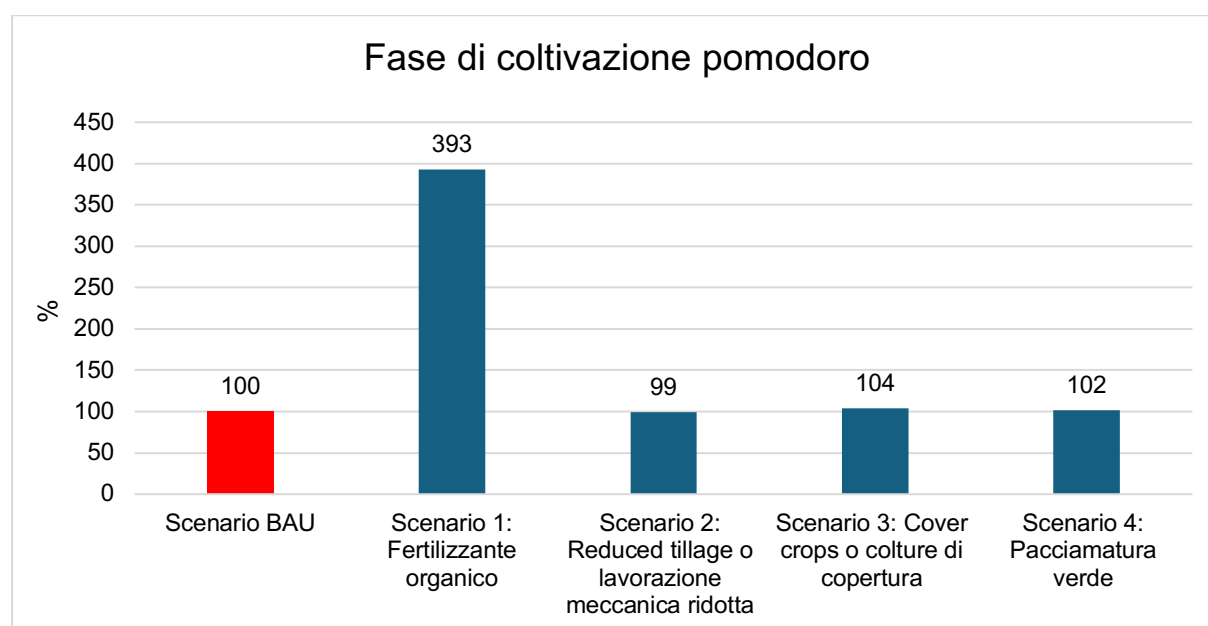


Figura 8 – Variazione delle emissioni di progetto a seguito dell'applicazione delle pratiche di CF. I valori sono espressi riferiti allo scenario di BAU.

### Mais

In Tabella 14 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint, riferiti alla coltivazione di 1 ton di mais nelle diverse pratiche di CF analizzate.

SCENARIO	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	VARIAZIONE RISPETTO ALLO SCENARIO BAU (%)
Scenario 1: Fertilizzante organico	6.349,56	+3.688
Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta	163,69	-2,35
Scenario 3: Cover crops o colture di	177,33	+5,78
Scenario 4: Pacciamatura verde	170,66	+1,81

Tabella 14 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola per le varie pratiche di CF analizzate. I risultati sono riferiti ad 1 ton di mais.

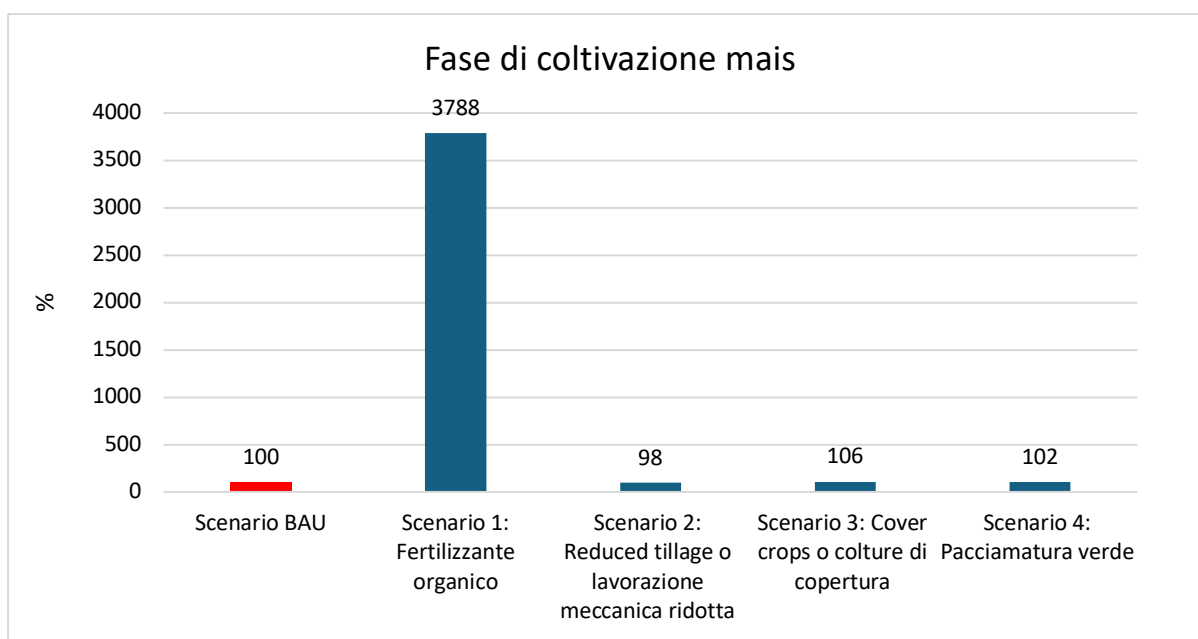


Figura 9 – Variazione delle emissioni di progetto a seguito dell'applicazione delle pratiche di CF. I valori sono espressi riferiti allo scenario di BAU.

### Pere

In Tabella 15 sono riportati i risultati ottenuti in termini di Carbon Footprint, riferiti alla coltivazione di 1 ton di pere nelle diverse pratiche di CF analizzate.

SCENARIO	CARBON FOOTPRINT (kg CO <sub>2</sub> eq/ton)	VARIAZIONE RISPETTO ALLO SCENARIO BAU (%)
Scenario 1: Fertilizzante organico	164,74	+100
Scenario 3: Cover crops o colture di copertura	83,77	+1,94
Scenario 4: Pacciamatura verde	83,62	+1,76
Scenario 5: Inerbimento permanente	81,57	-0,73
Scenario 6: Reintroduzione residui di potatura	92,96	+13,13

Tabella 15 – Carbon Footprint (emissioni di progetto) della fase agricola per le varie pratiche di CF analizzate. I risultati sono riferiti ad 1 ton di pere.



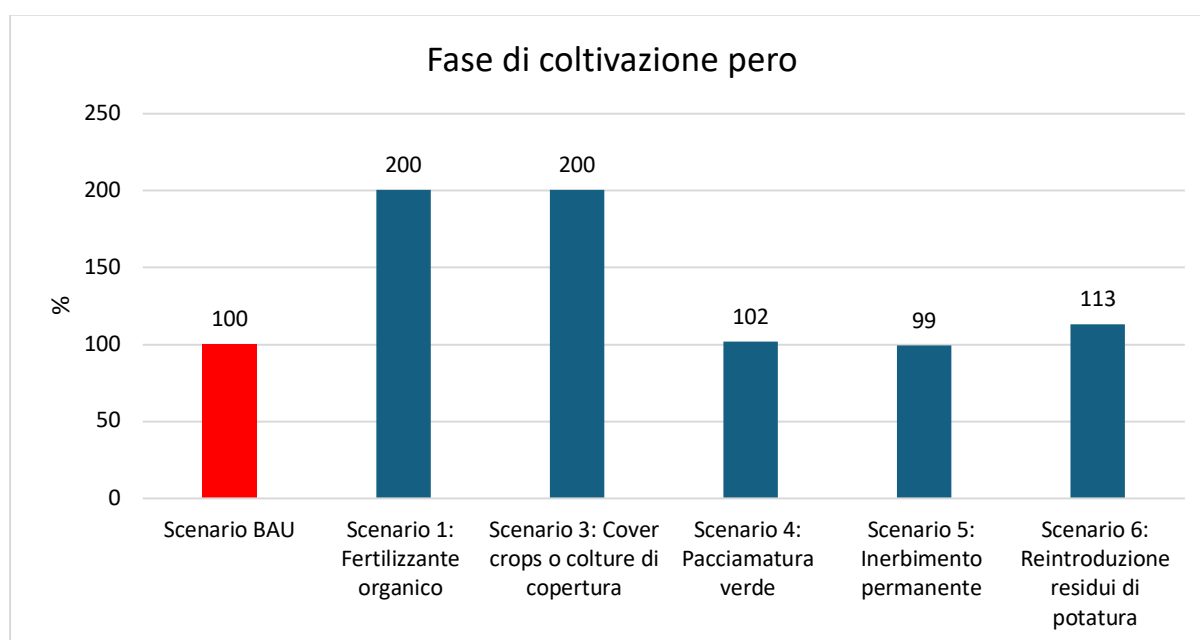


Figura 10– Variazione delle emissioni di progetto a seguito dell'applicazione delle pratiche di CF. I valori sono espressi riferiti allo scenario di BAU.

### 4.3 Calcolo rimozioni nette

Nel presente capitolo è riportato il calcolo rimozioni nette attraverso la metodologia sviluppata nel Task 3.1 espressa in tonnellate di CO<sub>2eq</sub> per tonnellata di vegetale prodotto e a livello di prodotto finito. Le rimozioni nette di carbonio ottenibili grazie all'applicazione di pratiche agricole di carbon farming sono calcolate attraverso la seguente formula generale descritta del cap. 11 del report relativo al Task 3.1:

$$\text{RIMOZIONI NETTE} = \text{CARBON FARMING (CF)} - \text{BASELINE (BE)} - \text{EMISSIONI PROGETTO (PE)}$$

dove:

- **Rimozioni nette:** sequestro di carbonio dovute all'applicazione delle pratiche di carbon farming al netto delle emissioni di progetto.
- **Carbon farming:** sequestro di carbonio nella biomassa e nel suolo a seguito dell'implementazione delle pratiche di carbon farming.
- **Baseline:** scenario BAU in assenza delle pratiche di carbon farming.
- **Emissioni progetto:** emissioni generate dall'applicazione della tecnica di carbon farming (es. passaggi aggiuntivi del trattore sul campo che causano più emissioni dovute al consumo di diesel).

Ai fini degli obiettivi della presente relazione, con il termine Carbon Footprint netta si intendono le rimozioni nette calcolate in accordo alla formula riportata nel presente capitolo.

### 4.3.1 Coltura

Pomodoro

In Figura 11 sono riportati i valori di Carbon Footprint netta espressi per 1 ton di pomodoro.

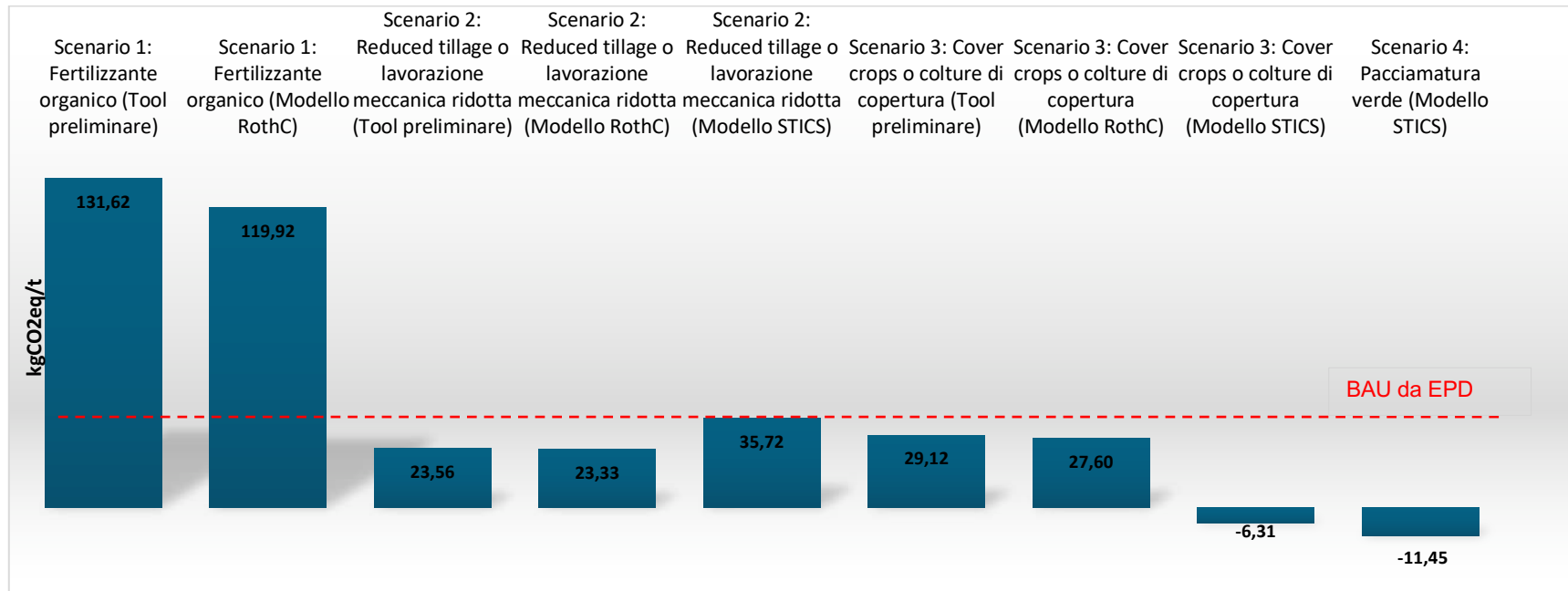


Figura 11 - Fase di coltivazione: Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF.

Mais

In Figura 12 sono riportati i valori di Carbon Footprint netta espressi per 1 ton di mais.

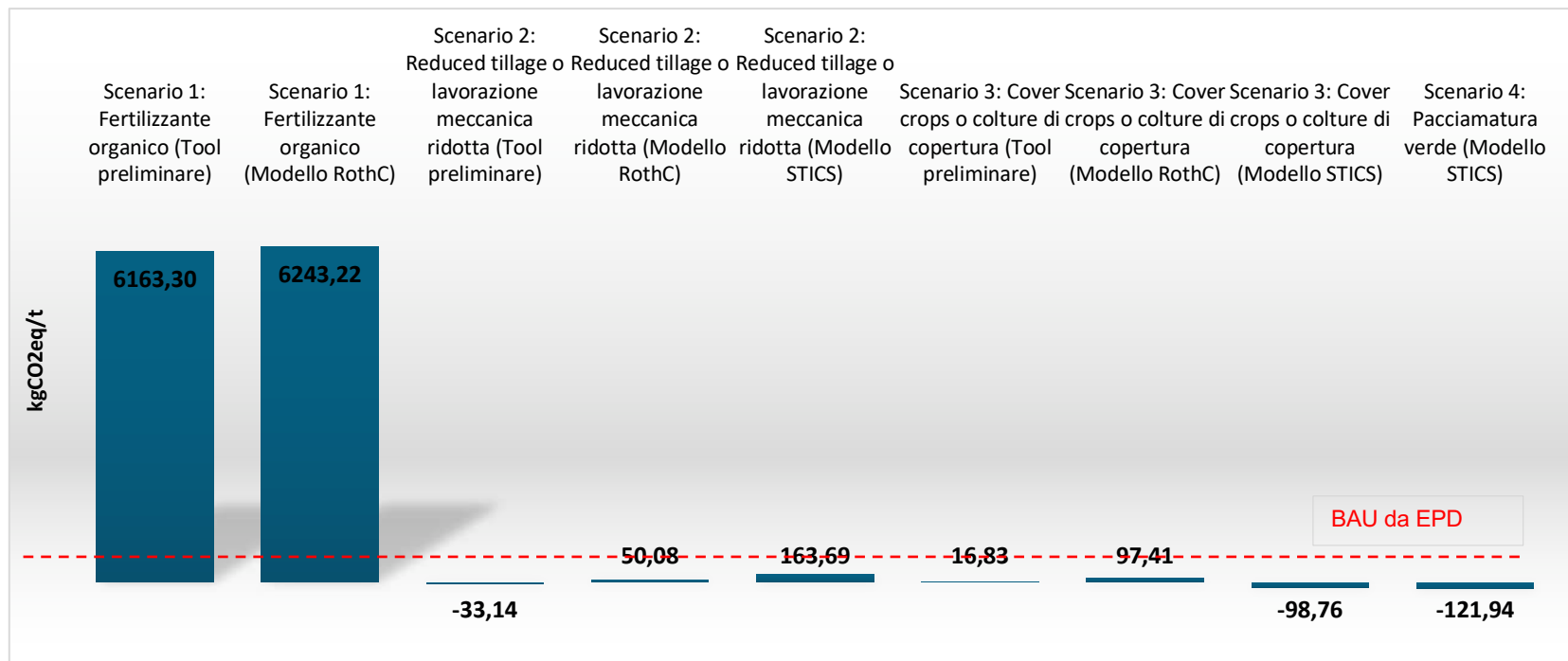


Figura 12 - Fase di coltivazione: Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF.

Per maggiore leggibilità si riporta la Carbon Footprint netta per i soli Scenari 2-4.

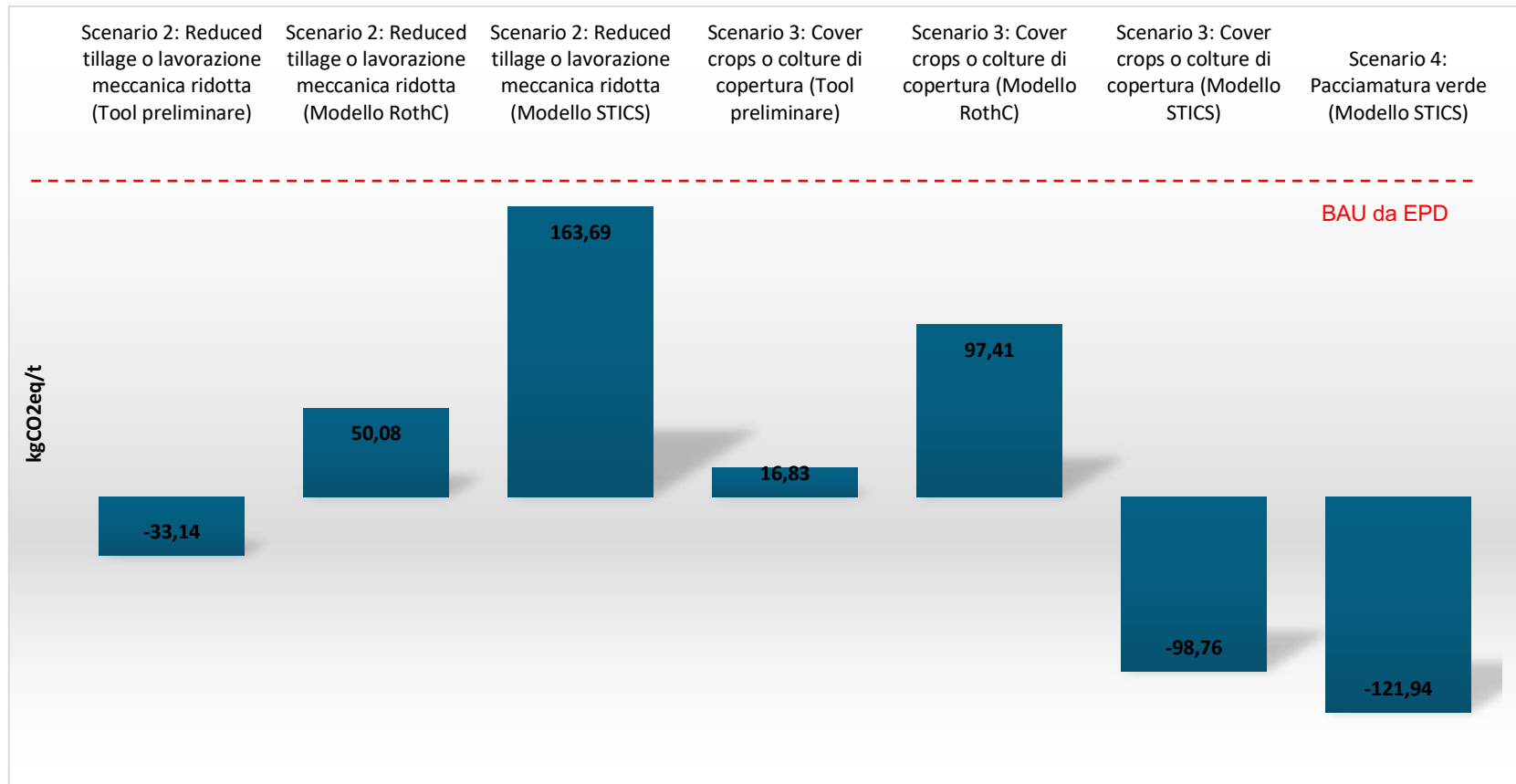


Figura 13 - Fase di coltivazione: Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF per gli Scenari 2-4.

Pero

In Figura 14 sono riportati i valori di Carbon Footprint netta espressi per 1 ton di pere.

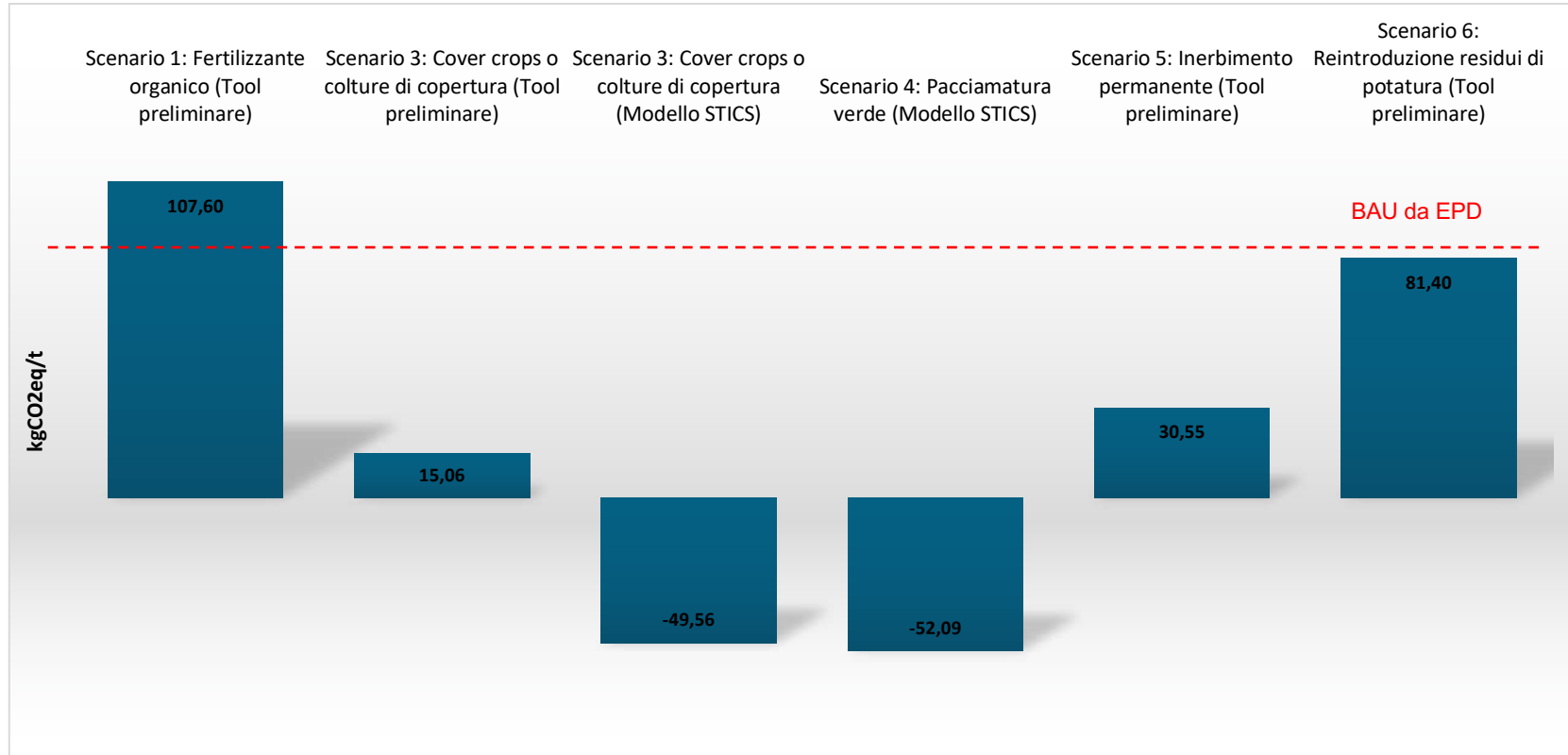


Figura 14 - Fase di coltivazione: Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF.

### 4.3.2 Prodotto finito

I dati di inventario utilizzati per la modellazione di tutti gli altri ingredienti del prodotto finito, del packaging, dei dati di stabilimento, dei consumi energetici, dei trasporti e del fine vita sono riportati nel report “Analisi del Ciclo di Vita “EPD PROCESS LIFE CYCLE ASSESSMENT PRODOTTI CONSERVE ITALIA”, Tetis Institute Srl, 2023, Rev.20”, studio sul quale sono basate le EPD attualmente in stato di validità. In Tabella 1 sono riportati i valori di Carbon Footprint nello scenario BAU (valori dichiarati nelle EPD certificate e pubblicate) ed i valori di Carbon Footprint netta negli scenari di Carbon Farming analizzati.

#### Prodotti a base di pomodoro

Marchio	Nome ITA	Formato	N° REG EPD	BAU da EPD pubblicata	Scenario 1: Fertilizzante organico (Modello RothC)	Scenario 1: Fertilizzante organico (Modello RothC)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Tool preliminare)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Modello RothC)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Modello STICS)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Tool preliminare)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Modello RothC)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Modello STICS)	Scenario 4: Pacciamatur a verde (Modello STICS)
Valfrutta	Polpa Gran Cubetti al Vapore	Scatola 3x400gr	S-P -00579	1,13	1,21	1,20	1,10	1,10	1,11	1,11	1,10	1,07	1,06
Valfrutta	Passata Vellutata	Bottiglia 700 g	S-P-02201	0,87	0,92	0,91	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,78	0,78
CIRIO Cuore Italiano	Passata Verace	Bottiglia 700 g	S-P-02607	1,03	1,08	1,06	0,97	0,97	0,98	0,97	0,97	0,94	0,93
CIRIO Cuore Italiano	Polpa finissima	Scatola 3x400g	S-P-02198	1,18	1,26	1,25	1,15	1,15	1,16	1,16	1,15	1,12	1,12
CIRIO 1856	Polpa	Scatola 4x400g	S-P-02608	1,27	1,34	1,33	1,24	1,24	1,25	1,24	1,24	1,21	1,20
CIRIO 1856	Pelati	Scatola 4x400g	S-P-02609	0,90	0,93	0,92	0,83	0,83	0,84	0,83	0,83	0,80	0,79
CIRIO 1856	Passata	Brik 500g	S-P-02610	0,81	0,87	0,86	0,76	0,76	0,77	0,77	0,77	0,73	0,73
CIRIO 1856	Polpa	Scatola 2,55 kg	S-P-02611	0,99	1,07	1,06	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,93	0,93
CIRIO 1856	Passata “La Classica”	Bottiglia PET 540g	S-P-02612	0,93	0,98	0,97	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,84	0,84
CIRIO 1856	Passata “La Napoletana”	Bottiglia PET 540g	S-P-02613	0,86	0,92	0,91	0,81	0,81	0,82	0,82	0,82	0,78	0,78
CIRIO 1856	Pizza Sauce	Bag Box 2x5,5 kg	S-P-02614	1,02	1,08	1,06	0,97	0,97	0,98	0,97	0,97	0,94	0,93
CIRIO 1856	Cuor di Pomodoro	Bag Box 2x5 kg	S-P-02615	0,73	0,79	0,78	0,69	0,69	0,70	0,69	0,69	0,66	0,65
CIRIO 1856	Passata	Brik 3x200g	S-P-02616	0,81	0,87	0,86	0,77	0,77	0,78	0,77	0,77	0,74	0,73
CIRIO 1856	Passata	Brik 1000g	S-P-02617	0,75	0,81	0,80	0,70	0,70	0,72	0,71	0,71	0,67	0,67

Cirio Alta Cucina	"I Pelati"	Scatola 2,5 kg	S-P-02618	<b>0,98</b>	1,05	1,04	0,94	0,94	0,96	0,95	0,95	0,91	0,91
Valfrutta Granchef	Polpafine	Bag Box 2x5 kg	S-P-02619	<b>0,38</b>	0,46	0,45	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,32	0,32
Valfrutta	Passata vellutata al vapore	Vetro 700g	S-P-05155	<b>0,92</b>	0,97	0,96	0,86	0,86	0,88	0,87	0,87	0,83	0,83
CIRIO 1856	Pelati	Scatola 6x2,5kg	S-P-05156	<b>1,02</b>	1,09	1,08	0,98	0,98	1,00	0,99	0,99	0,95	0,95
CIRIO 1856	Passata Rustica	Vetro 6x2x350g	S-P-05157	<b>1,73</b>	1,79	1,78	1,68	1,68	1,70	1,69	1,69	1,65	1,65
CIRIO 1856	Passata	Vetro 12x700g	S-P-05158	<b>1,06</b>	1,11	1,10	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	0,98	0,97
CIRIO 1856	Polpa fine con Basilico	Brik 16x390g	S-P-05159	<b>0,81</b>	0,88	0,87	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,74	0,74
Valfrutta Granchef	Gran Pelati del Salento	Scatola 3x2,5kg	S-P-05160	<b>0,90</b>	0,97	0,96	0,87	0,86	0,88	0,87	0,87	0,84	0,83
CIRIO 1856	Cuor di Pomodoro	Bag in box 2x5kg	S-P-05161	<b>0,98</b>	1,05	1,03	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,91	0,90
Valfrutta Granchef	Rossopizza Denso	Bag in box2x5kg	S-P-05162	<b>0,57</b>	0,63	0,62	0,52	0,52	0,54	0,53	0,53	0,49	0,49
CIRIO 1856	Polpadoro	Bag in box 2x5kg	S-P-05163	<b>0,49</b>	0,57	0,56	0,46	0,46	0,48	0,47	0,47	0,44	0,43
CIRIO 1856	Cuor di Pelato	Bag in box 2x5kg	S-P-05164	<b>0,71</b>	0,77	0,76	0,66	0,66	0,68	0,67	0,67	0,64	0,63
CIRIO 1856	La Rustica	Scatola 3x2,5kg	S-P-05165	<b>0,93</b>	0,99	0,98	0,88	0,88	0,89	0,89	0,89	0,85	0,85
CIRIO Cuore Italiano	Passata Rustica	Vetro 680gr	S-P-05166	<b>0,96</b>	1,01	1,00	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,87	0,87
CIRIO Cuore Italiano	Pelati	Scatola 400gr	S-P-05167	<b>0,90</b>	0,98	0,97	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,84	0,84

Tabella 16 – Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF. I valori sono espressi per 1 kg di prodotto confezionato a base di pomodoro.

### Prodotti a base di mais

Marchio	Nome ITA	Formato	N° REG EPD	BAU da EPD pubblicata	Scenario 1: Fertilizzante organico (Modello RothC)	Scenario 1: Fertilizzante organico (Modello RothC)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Tool preliminare)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Modello RothC)	Scenario 2: Reduced tillage o lavorazione meccanica ridotta (Modello STICS)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Tool preliminare)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Modello RothC)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Modello STICS)	Scenario 4: Pacciamatur a verde (Modello STICS)
Valfrutta	Mais cotto a vapore	Scatola 3x160g	S-P-02620	<b>2,045</b>	7,77	7,85	1,57	1,65	1,77	1,62	1,70	1,51	1,48
CIRIO 1856	Mais dolce	Scatola 2,1 kg	S-P-02196	<b>1,603</b>	7,34	7,42	1,14	1,22	1,34	1,19	1,27	1,07	1,05

Tabella 17– Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF. I valori sono espressi per 1 kg di prodotto confezionato a base di mais.

Prodotti a base di pera

Marchio	Nome ITA	Formato	N° REG EPD	BAU da EPD pubblicata	Scenario 1: Fertilizzante organico (Tool preliminare)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Tool preliminare)	Scenario 3: Cover crops o colture di copertura (Modello STICS)	Scenario 4: Pacciamatura verde (Modello STICS)	Scenario 5: Inerbimento permanente (Tool preliminare)	Scenario 6: Reintroduzione residui di potatura (Tool preliminare)
Valfrutta	Succo e Polpa di Pera	Brik 200 ml x6	S-P -00578	0,37	0,43	0,34	0,27	0,27	0,35	0,41

Tabella 18 – Carbon Footprint netta al variare delle pratiche di CF. I valori sono espressi per 1 kg di prodotto confezionato a base di pera.

Come evidenziato dalle tabelle precedenti sia a livello di agricoltura che a livello di prodotto finito, gli scenari di Carbon Farming analizzati consentono di ottenere riduzioni significative tra l'1,5% ed il 34,4% per gli scenari da 2 a 4 per tutti i prodotti analizzati. Lo scenario 1 in cui è stato analizzata la sostituzione parziale di fertilizzanti inorganici con fertilizzanti organici, peggiora in modo significativo a causa delle elevate quantità impiegate per garantire un adeguato apporto di N-P-K e di conseguenza un rilascio elevato di emissioni in aria ed acqua.



## 5 Opportunità di miglioramento

Dai risultati ottenuti risulta evidente che, in linea con la maggior parte degli studi LCA effettuati nel settore agroalimentare, la fase di coltivazione delle varie colture risulta uno dei maggiori contributi in termini di Carbon Footprint a livello di prodotto.

Nello specifico, dall'analisi dei risultati della fase di coltivazione riportati, è possibile osservare come la produzione agricola comporta notevoli costi ambientali in quanto richiede una notevole quantità di input che influenzano in modo significativo i risultati a livello di prodotto finito.

Il consumo di carburante per l'utilizzo dei veicoli agricoli rappresenta il contributo predominante alla CF per il pomodoro ed il pero ed il secondo contributo più significativo per il mais. In particolare, il consumo di carburante incide sulla Carbon Footprint per il 27,08%, per il 36,16% e per il 33,45% rispettivamente per pomodoro, mais e pere.

Risulta evidente come, ottimizzando il consumo di gasolio, sia possibile ottenere riduzioni considerevoli della CF della fase agricola e di conseguenza del prodotto. In particolare, i dati dell'EPD Process mostrano come il consumo di carburante vari notevolmente in base alla tessitura del terreno e, quindi, risulta evidente che l'utilizzo del trattore con la potenza più adeguata in base alla tessitura del terreno possa comportare notevoli riduzioni del gasolio utilizzato (dal 24% per i pomodori fino al 58% per il mais dolce) e di conseguenza notevoli vantaggi in termini di Carbon Footprint. Da questo risultato si evince che è necessario utilizzare il giusto trattore (con la giusta potenza) a seconda del tipo di tessitura del terreno, per non consumare litri di gasolio superfluo per ogni intervento.

Un ulteriore miglioramento si otterrebbe grazie all'utilizzo di macchinari agricoli a minor consumo ed a basso impatto ambientale. In particolare, negli ultimi anni, l'utilizzo di nuovi carburanti come il biodiesel e il biometano si stanno sviluppando, non solo per ridurre le emissioni ma anche per avere alternative al gasolio. Le prestazioni del motore rimangono invariate, mentre per quanto riguarda le emissioni si ottiene una riduzione del 50% dell'anidride carbonica, fino al 70% degli idrocarburi aromatici e fino al 65% delle emissioni di particolato. Tuttavia, questi biocarburanti comportano un aumento degli ossidi di azoto; inconveniente a cui viene posto rimedio utilizzando innovativi sistemi di riduzione delle emissioni quali EGR (exhaust gas recycling) or SCR (selective catalytic reduction).

Una diminuzione del consumo idrico, anche se non direttamente correlata alla Carbon Footprint, risulta significativa, in quanto, ad ogni impianto di irrigazione è associato anche un certo consumo di gasolio. Pertanto, l'impiego di un metodo di irrigazione ottimizzato consente di osservare vantaggi anche in termini di gasolio. Inoltre, si riflette anche nella quantità di nutrienti rilasciati dal terreno grazie all'uniformità di distribuzione e ai volumi distribuiti in accordo alle esigenze della coltura.

Inoltre, l'agricoltura risulta fortemente influenzata dalla variabilità climatica e stagionale ed in particolare si osserva un trend in aumento degli impatti ambientali. Per tale motivo, risulta di estrema rilevanza, l'applicazione di un'agricoltura di precisione.

Anche l'applicazione dell'agricoltura di precisione, per esempio attraverso l'identificazione e l'utilizzo di un idiotipo negli scenari climatici futuri, sarà possibile ottenere una riduzione della Carbon Footprint rispetto all'utilizzo del genotipo attuale. Le riduzioni variano a seconda della tipologia di coltura, dello scenario climatico e della localizzazione.

Attraverso l'utilizzo di un idiotipo e di pratiche gestionali è possibile ridurre (e talvolta annullare) l'aumento degli impatti ambientali ed energetici.

Pertanto, risulta di estrema importanza un'ottimizzazione della fase agricola mirata alla ricerca di nuove strategie, quali: l'identificazione di idiotipi con caratteristiche più adatte agli scenari climatici futuri o un utilizzo più efficiente degli input più significativi.


## 6 Indicatore unico


Il presente studio prende in considerazione solo gli impatti ambientali in termini di emissioni ed assorbimenti di gas effetto serra, mentre gli studi LCA condotti hanno consentito di quantificare anche altri impatti ambientali importanti come l'impoverimento del comparto idrico ed il consumo delle risorse energetiche fossili.

Il concetto “Water-Energy-Food (WEF) Nexus” è stato recentemente sviluppato proprio per comprendere le interconnessioni e le interdipendenze tra acqua, energia e cibo e per promuovere una gestione integrata e sostenibile di tali risorse (Moreschi L. et al, 2024 e Del Borghi A. et al, 2022). In linea con i principi di circolarità, l'applicazione di tale concetto permette quindi di passare da una visione settoriale a una visione molto più integrata (Laso J. Et al, 2018). Nel complesso non esiste infatti una produzione di energia senza acqua, approvvigionamento idrico senza energia e una produzione alimentare senza le risorse fondamentali (come acqua ed energia). Conseguentemente, il WEF Nexus riconosce che l'uso e la gestione di queste tre risorse sono intrinsecamente collegati e che le azioni e scelte effettuate in uno dei tre settori possono influenzare notevolmente gli altri. Affrontare le sfide connesse al WEF Nexus richiede un approccio integrato e una gestione olistica che consideri le interrelazioni tra i tre settori. Il WEF Nexus risulta quindi fondamentale per comprendere e affrontare le sfide globali come la sicurezza alimentare, la sicurezza idrica, l'accesso all'energia sostenibile e la mitigazione dei cambiamenti climatici in modo integrato e sostenibile. Al fine di quantificare il WEF Nexus e contribuire a promuovere la resilienza e la sostenibilità dei sistemi alimentari, energetici e idrici nel settore agro-alimentare, è stato sviluppato l'indicatore unico WEF (*Water-Energy-Food-climate*). L'indicatore WEF oltre a rappresentare un indicatore integrato a supporto della quantificazione degli SDGs, può essere utilizzato come strumento di supporto alle decisioni nel settore agroalimentare.

Il WEF Nexus è internazionalmente riconosciuto come il quadro concettuale di riferimento per la promozione e l'attuazione degli Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs).

In Tabella 19 vengono riportati i principali SDGs e relativi targets correlati al WEF (la descrizione dei targets in lingua italiana è tratta da “Alleanza Italiana Per lo Sviluppo Sostenibile”, disponibile al seguente link <https://asvis.it/>).

SDGs	Targets
 <p><b>SDG 6</b> <b>ACQUA PULITA E SERVIZI IGIENICO-SANITARI</b></p>	<p><b>Target 6.3</b></p> <p>“Entro il 2030, migliorare la qualità dell'acqua riducendo l'inquinamento, eliminando le pratiche di scarico non controllato e riducendo al minimo il rilascio di sostanze chimiche e materiali pericolosi, dimezzare la percentuale di acque reflue non trattate e</p>

<p>Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie.</p>	<p>aumentare sostanzialmente il riciclaggio e il riutilizzo sicuro a livello globale”.</p> <p><b>Target 6.4</b></p> <p>“Entro il 2030, aumentare sostanzialmente l'efficienza idrica da utilizzare in tutti i settori e assicurare prelievi e fornitura di acqua dolce per affrontare la scarsità d'acqua e ridurre in modo sostanziale il numero delle persone che soffrono di scarsità d'acqua”.</p>
 <p><b>SDG 2</b></p> <p><b>SCONFIGGERE LA FAME</b></p> <p>Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile</p>	<p><b>Target 2.4</b></p> <p>“Entro il 2030, garantire sistemi di produzione alimentare sostenibili e applicare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a conservare gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, alle condizioni meteorologiche estreme, alla siccità, alle inondazioni e agli altri disastri, e che migliorino progressivamente il terreno e la qualità del suolo”.</p>
 <p><b>SDG 7</b></p> <p><b>ENERGIA PULITA E ACCESSIBILE</b></p> <p>Assicurare a tutti l'accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni</p>	<p><b>Target 7.3</b></p> <p>“Entro il 2030, raddoppiare il tasso globale di miglioramento dell'efficienza energetica”</p>
 <p><b>SDG 12</b></p> <p><b>CONSUMO E PRODUZIONE RESPONSABILI</b></p>	<p><b>Target 12.2</b></p> <p>“Entro il 2030, raggiungere la gestione sostenibile e l'uso efficiente delle risorse naturali”.</p> <p><b>Target 12.6</b></p> <p>“Incoraggiare le imprese, soprattutto le aziende di grandi dimensioni e transnazionali, ad adottare pratiche sostenibili e integrare le informazioni sulla sostenibilità nelle loro relazioni periodiche”.</p>

Garantire modelli sostenibili di produzione e di consumo.	
 <p><b>SDG 13</b></p> <p><b>LOTTA CONTRO IL CAMBIAMENTO CLIMATICO</b></p> <p>Adottare misure urgenti per combattere il cambiamento climatico e le sue conseguenze.</p>	<p><b>Target 13.2</b></p> <p>“Integrare nelle politiche, nelle strategie e nei piani nazionali le misure di contrasto ai cambiamenti climatici”.</p> <p><b>Target 13.3</b></p> <p>“Migliorare l'istruzione, la sensibilizzazione e la capacità umana e istituzionale riguardo ai cambiamenti climatici in materia di mitigazione, adattamento, riduzione dell'impatto e di allerta precoce”.</p>

Tabella 19 - Obiettivi di Sviluppo Sostenibile (SDGs) e relativi targets correlati al concetto WEF Nexus (fonte: Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile, <https://asvis.it/>).

Per la definizione dell'indicatore unico WEF (*Water-Energy-Food-climate*) è stato condotto uno studio LCA secondo gli standard ISO 14040-44 (UNI EN ISO 14040:2021 e UNI EN ISO 14044:2021). Sono stati quindi selezionati le categorie di impatto e gli indicatori considerate significativi per la quantificazione dell'indicatore WEF.

Tali categorie e indicatori sono stati selezionati tra l'insieme proposto nell'ambito della PEF (Product Environmental Footprint) (European Commission, 2018). Nello specifico, le categorie di impatto per la sezione *Water* sono state selezionate in accordo alla ISO 14046 (UNI EN ISO 14046:2016), al fine un impatto quali-quantitativo della risorsa idrica. Per il comparto *Energy* è stato considerato il consumo di risorse fossili assumendo che il diesel sia la principale fonte energetica per le operazioni sul campo relative alla fase agricola. Per quanto riguarda la categoria *Food* è stata selezionata la resa agricola (kg/ha). Infine, per la categoria *Climate* è stato selezionato l'indicatore Global Warming Potential in conformità alla norma ISO 14067 (ISO 14067:2018).

In Tabella 20 è riportato anche lo specifico riferimento al target SDG per ogni comparto ambientale. La WEF, come indicatore univoco, contribuisce ai target 12.2 e 12.6.

WEF	Categorie di impatto	U.M.	Acronimo	Rif	SDG
<b>Water</b>	Potenziale di acidificazione	mol H <sup>+</sup> eq	A	Seppälä J. et al., 2006	-
	Potenziale di eutrofizzazione, acque dolci	kg P eq	EuF	Goedkoop M. et al., 2009	6.3
	Potenziale di eutrofizzazione, acque marine	kg N eq	EuM	Goedkoop M. et al., 2009	6.3
	Potenziale di eutrofizzazione, terrestre	mol N eq	EuT	Seppälä J. et al., 2006	6.3

	Ecotossicità, acque dolci	CTUe	ET	Rosenbaum R.K. et al., 2008	6.3
	Potenziale di privazione idrica	m <sup>3</sup> eq	WDP	Boulay A.M. et al., 2018	6.4
<b>Energy</b>	Consumo risorse, fossili	MJ	RU	CML, 2012	7.3
<b>Food</b>	Resa agricola	kg/ha	CY	Dati fase agricola	2.4
<b>Climate</b>	Potenziale di riscaldamento globale netto	kg CO <sub>2</sub> eq	GWP	IPCC, 2021	13.2
					13.3

Tabella 20 - Categorie di impatto selezionate per ogni categoria.

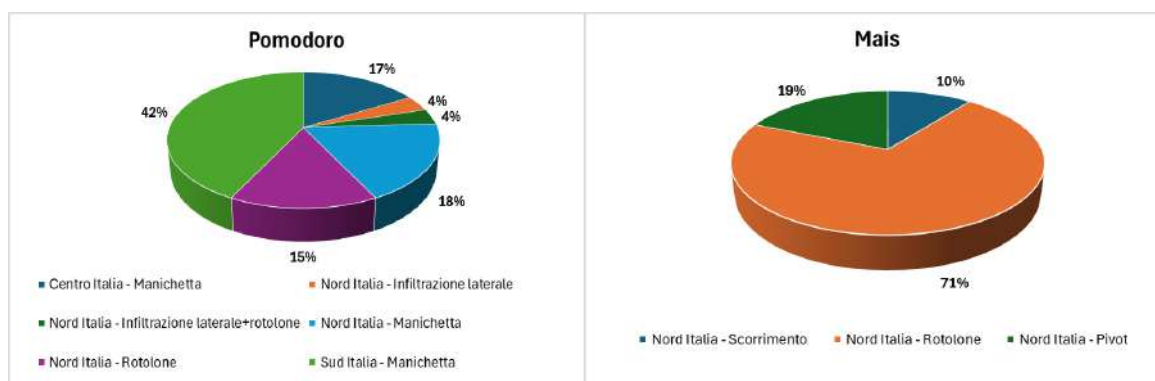
L'elaborazione e la computazione dei dati è stata effettuata utilizzando il SimaPro v.9.5, software specifico per la metodologia LCA. La metodologia prevede inoltre un'ottimizzazione ponderata e multi-variabile al fine di considerare le interconnessioni e gli impatti derivanti dai 4 settori. La fase di pesatura e normalizzazione è stata condotta considerando la ripartizione geografica globale e la resa agricola dal database FAOSTAT (FAO, 2023) e i processi relativi alla produzione delle colture da Ecoinvent 3.9.1.

La metodologia completa è riportata nell'articolo scientifico dal titolo "A framework for the environmental assessment of water-energy-food-climate nexus of crops: Development of a comprehensive decision support indicator" (Moreschi L. et al, 2024), recentemente pubblicato nella rivista internazionale "Ecological Indicators" (<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111574>).

I dati della fase agricola relativi alle colture di Conserve Italia utilizzati nel presente studio sono stati raccolti all'interno del sistema certificato EPD Process. Nello specifico, i dati di inventario sono stati raccolti da un campione di cooperative agricole coinvolte nella coltivazione delle colture selezionate. I dati fanno riferimento ai valori della fase agricola negli anni 2019, 2020 e 2021. Tali dati inoltre sono stati utilizzati per la realizzazione delle EPD pubblicate nell'anno 2023.

Nel presente paragrafo si riporta una breve sintesi dei metodi gestionali delle colture di pomodoro, mais e pero. Nello specifico le aziende sono state selezionate sulla base della rappresentatività del piano di approvvigionamento del pomodoro, dei vegetali e della frutta di Conserve Italia.

Nei grafici sottostanti (Figura 15) si riportano gli scenari attuali di gestione della risorsa idrica, considerando sia le diverse tipologie di irrigazione che le aree geografiche di coltivazione.



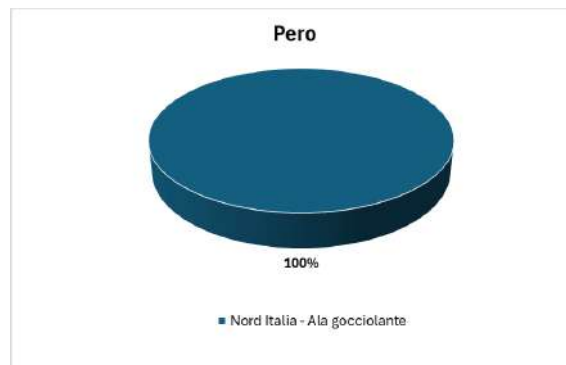


Figura 15 - Metodi gestionali per le colture oggetto di studio (media consolidata dei dati relativi agli anni 2019-2020-2021).

### 6.1. Contributo del Carbon Farming all'indicatore unico

Di seguito si riportano i risultati principali ottenuti e distinti per le diverse colture di Conserve Italia. Per tutti i grafici riportati di seguito, un valore di WEF maggiore di 1 indica una performance peggiore rispetto alla media globale della coltura, mentre un indicatore compreso tra 0 e 1 indica una performance migliore rispetto alla media globale della coltura.

#### Pomodoro

In tutti gli scenari (area geografica e metodo irriguo) analizzati il pomodoro presenta una performance migliore rispetto alla media globale, in quanto i valori dell'indicatore unico WEF risultano minori di 1 (Figura 16).

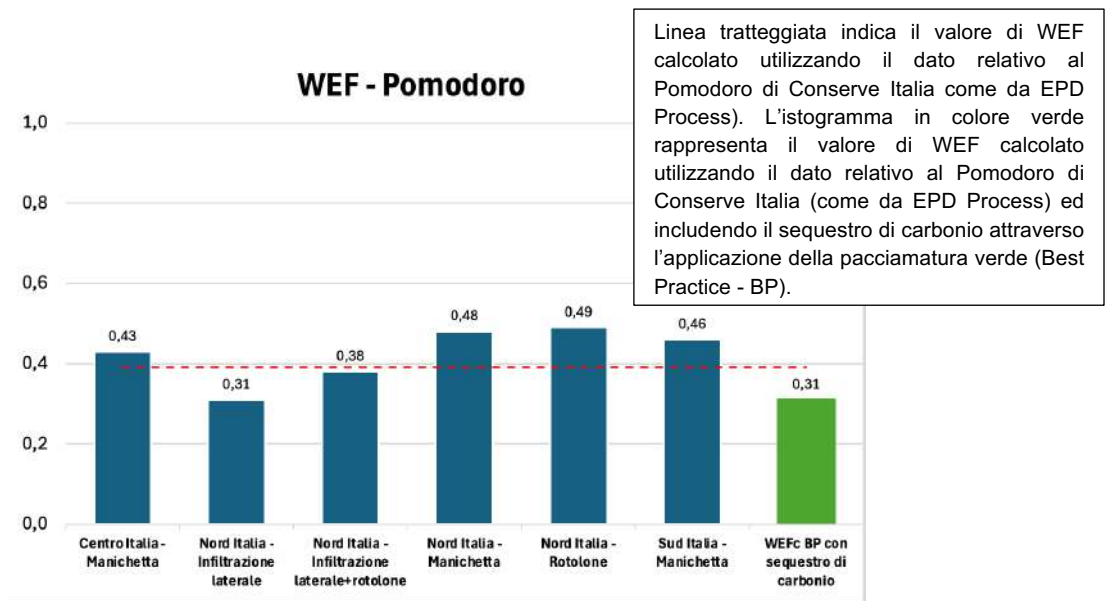


Figura 16 - Valori dell'indicatore unico WEFc per la coltura pomodoro calcolati per i diversi scenari (area geografica e metodo irriguo). Per il calcolo dell'indicatore WEFc BP è stato considerato lo scenario medio come da EPD Process al netto degli assorbimenti nella Best Practice (BP)- Scenario 4: Pcciamatura verde.

Tra i 6 scenari di BAU (blu) analizzati, la coltivazione del pomodoro nel Nord Italia mediante infiltrazione laterale risulta la scelta gestionale ottimale, come dimostrato dal valore più basso dell'indicatore WEF. L'applicazione della Best Practice di Carbon Farming consente una riduzione dell'indicatore unico del 21% rispetto al valore medio come da EPD Process (linea tratteggiata).

Mais

Per il mais, l'indicatore WEF consente di valutare come l'irrigazione a pivot risulti il migliore metodo irriguo, con un valore WEF poco maggiore di 1, confrontabile con la media globale (Figura 17). Prestazioni meno efficienti si ottengono con l'irrigazione a scorrimento (WEF=2.50).

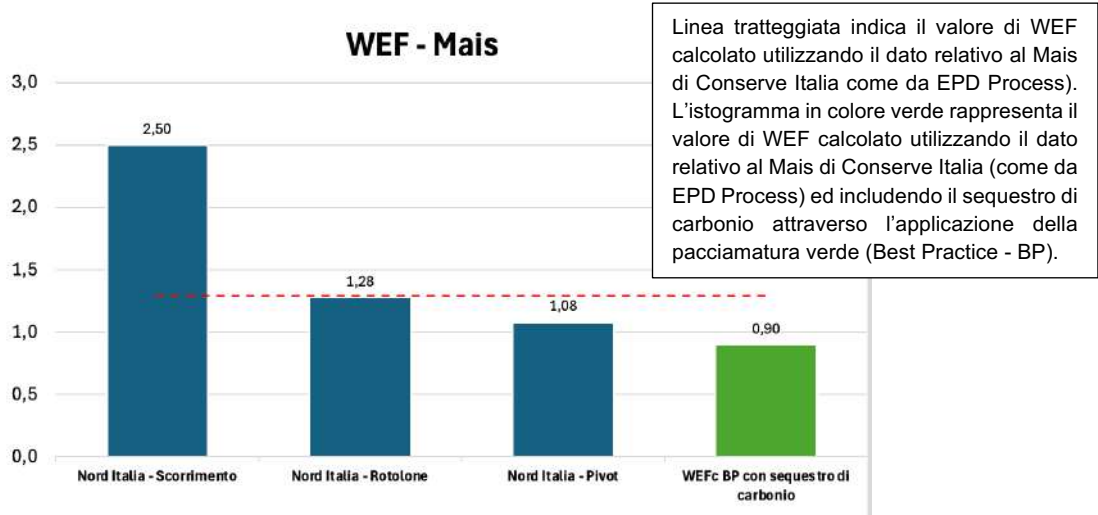


Figura 17 - Valori dell'indicatore unico WEF per la coltura mais calcolati per i diversi scenari (area geografica e metodo irriguo). Per il calcolo dell'indicatore WEFc BP è stato considerato lo scenario medio come da EPD Process al netto degli assorbimenti nella Best Practice (BP)- Scenario 4: Pcciamatura verde.

L'applicazione della Best Practice di Carbon Farming consente una riduzione dell'indicatore unico del 30% rispetto al valore medio come da EPD Process (linea tratteggiata).

Pero

Per il pero l'irrigazione mediante ala gocciolante e coltivazione nel Nord Italia è stato ottenuto un valore WEF minore di 1 indicando una performance migliore rispetto alla media globale (Figura 18).

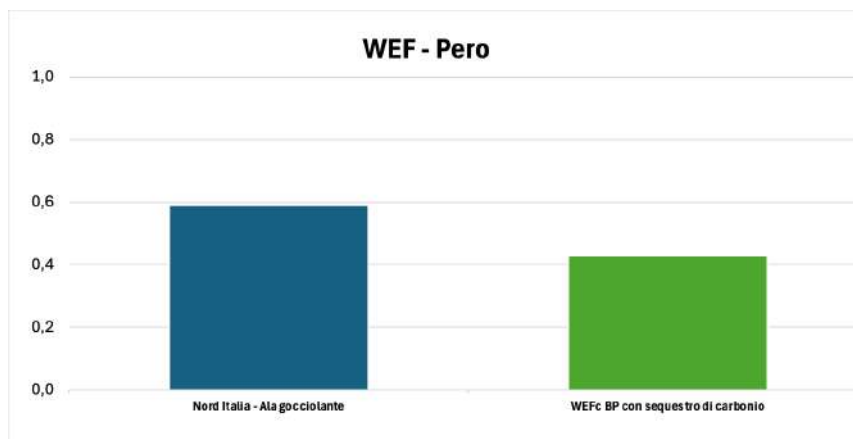


Figura 18 - Valori dell'indicatore unico WEFc per la coltura pero calcolati per lo scenario Nord Italia – Ala gocciolante. Per il calcolo dell'indicatore WEFc BP è stato considerato lo scenario medio come da EPD Process al netto degli assorbimenti nella Best Practice (BP)- Scenario 4: Pcciamatura verde.

L'indicatore unico WEF, fornendo indicazioni sulla scelta ottimale tra diversi scenari gestionali in ottica WEF Nexus, può rappresentar un efficace strumento di supporto alle decisioni aziendali orientate alla riduzione dello sfruttamento delle risorse naturali e quindi al miglioramento dell'uso razionale delle risorse (Target 6.4 SDG 6).

L'applicazione alle colture di Conserve Italia ha consentito di quantificare le performance delle stesse rispetto alla media globale e rispetto ai vari metodi irrigui in riferimento a tutti i comparti ambientali significativi per il settore agroalimentare, ovvero i consumi idrici, energetici e gli impatti sul clima. Inoltre, ha consentito di valorizzare in termini di riduzione dell'indicatore unico WEFc il contributo positivo in termini di gas effetto serra, grazie all'applicazione delle tecniche di Carbon Farming analizzate nel presente progetto.



## 7 Bibliografia

- R. K. Afshar, M. DEKAMIN. Sustainability assessment of corn production in conventional and conservation tillage systems. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 351: 131508.
- A.-M. Boulay, J. Bare, L. Benini, M. Berger, M.J. Lathuillière, A. Manzardo, M. Margni, M. Motoshita, M. Núñez, A.V. Pastor, B. Ridoutt, T. Oki, S. Worbe, S. Pfister, The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE), *Int J Life Cycle Assess* 23 (2018) 368–378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>.
- CML, CML-IA model and characterisation factors, (2012). <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html#downloads>.
- A. Del Borghi, V. Tacchino, L. Moreschi, A. Matarazzo, M. Gallo, D. Arellano Vazquez, Environmental assessment of vegetable crops towards the water-energy-food nexus: A combination of precision agriculture and life cycle assessment, *Ecological Indicators* 140 (2022) 109015. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109015>.
- M. Goedkoop, R. Heijungs, M. Huijbregts, ReCiPe 2008. A life cycle assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (version 1.08), (2009) 134.
- J. Laso, M. Margallo, I. García-Herrero, P. Fullana, A. Bala, C. Gazulla, A. Poletini, R. Kahhat, I. Vázquez-Rowe, A. Irabien, R. Aldaco, Combined application of Life Cycle Assessment and linear programming to evaluate food waste-to-food strategies: Seeking for answers in the nexus approach, *Waste Management* 80 (2018) 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.009>.
- L. Moreschi, E. Gagliano, M. Gallo, A. Del Borghi, A framework for the environmental assessment of water-energy-food-climate nexus of crops: Development of a comprehensive decision support indicator, *Ecological Indicators* 158 (2024) 111574. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111574>.
- FAO, FAO.Crops and livestock products. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, (2023). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed January 10, 2023).
- European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability, Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) Guidance, (2018).
- European Commission, Proposta di DIRETTIVA DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO sull'attestazione e sulla comunicazione delle asserzioni ambientali esplicite (direttiva sulle asserzioni ambientali), 2023.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis - Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (2021).
- ISO, UNI EN ISO 14040:2021 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework, (2021).
- ISO, UNI EN ISO 14044:2021 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines, (2021).
- ISO, UNI EN ISO 14046:2016 Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines, (2016).

ISO, ISO 14067:2018 Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification, ISO (2018). [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail?csnumber=59521](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=59521) (accessed April 28, 2016).

R.K. Rosenbaum, T.M. Bachmann, L.S. Gold, M.A.J. Huijbregts, O. Jolliet, R. Juraske, A. Koehler, H.F. Larsen, M. MacLeod, M. Margni, T.E. McKone, J. Payet, M. Schuhmacher, D. van de Meent, M.Z. Hauschild, USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment, *Int J Life Cycle Assess* 13 (2008) 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>.

J. Seppälä, M. Posch, M. Johansson, J.-P. Hettelingh, Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator (14 pp), *Int J Life Cycle Assessment* 11 (2006) 403–416. <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.215>.

Dettagli documento	
Titolo	Azione 3: Elaborazione di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio nel carbon farming e calcolo delle emissioni nette
Sottotitolo	Task 3.2 Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera)
Progetto	FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE - Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio CONTROL CARBON
Data	20 giugno 2024
Versione	0.2
Autore	Tetis Institute S.r.l.
Cliente	Conservas Italia Soc. Coop. Agr.

02	20/06/2024	F. Francese	V. Tacchino	P. Crudele A. Del Borghi	Aggiornamento risultati pero (§4)
01	13/06/2024	F. Francese	V. Tacchino	P. Crudele A. Del Borghi	Modifiche post revisione
00	31/05/2024	F. Francese	V. Tacchino	P. Crudele A. Del Borghi	Prima emissione
REV.	DATA	REDATTA	VERIFICATA	APPROVATA	DESCRIZIONE

### TETIS Institute Srl

Sede legale: Via Gropallo 4/19, 16122 Genova (Italy)  
e-mail: [info@tetisinstitute.it](mailto:info@tetisinstitute.it) PEC: [postmaster@pec.tetisinstitute.it](mailto:postmaster@pec.tetisinstitute.it)  
Partita IVA: 02530640990 Numero REA: 493004

## INDICE

1	Premessa.....	3
2	Applicazione metodologia .....	4
2.1	Pratiche di carbon farming .....	4
2.2	Eleggibilità del progetto.....	4
2.3	Addizionalità del progetto.....	5
2.4	Confini del sistema.....	7
2.5	Co-benefits e SDGs coinvolti dalle tecniche di carbon farming selezionate .....	10
2.6	Mais e pomodoro.....	14
2.6.1	Modello preliminare.....	14
2.6.1.1	Calcolo della baseline .....	14
2.6.1.2	Calcolo del sequestro di carbonio .....	18
2.6.1.3	Modello RothC.....	21
2.6.1.4	Calcolo della baseline .....	21
2.6.1.5	Calcolo del sequestro di carbonio .....	21
2.7	Pero.....	27
2.7.1	Modello preliminare .....	27
2.7.1.1	Calcolo della baseline.....	27
2.7.1.2	Calcolo del sequestro di carbonio .....	30
2.8	Stima dei crediti di carbonio generabili dal progetto .....	37
2.8.1	Modello preliminare .....	37
2.8.2	Modello RothC.....	38
3	Stakeholders Engagement.....	39
4	Tabella riassuntiva dei risultati.....	42
5	Modello preliminare (tool) .....	43
6	Bibliografia .....	45

## 1 Premessa

Nella presente relazione è riportata l'applicazione della metodologia descritta nel documento di cui al Task 3.1 predisposto dall'Università di Genova (UniGe) “*Definizione della Metodologia di calcolo del sequestro di carbonio nelle colture identificate*”.

La metodologia è stata applicata alle seguenti colture: mais, pomodoro, pero. Relativamente al mais e al pomodoro, colture erbacee, è stato inizialmente applicato il modello preliminare, che ha consentito di fornire una stima iniziale del potenziale di sequestro di carbonio per gli agricoltori interessati ad adottare pratiche di carbon farming. Successivamente, una volta disponibili i dati forniti dal Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) derivanti da una campagna di raccolta dati su un campo sperimentale per il pomodoro, e dati provenienti dalla letteratura per il mais, è stata impiegato il modello process-based RothC. Per quanto concerne il pero, coltura arborea, dopo aver applicato la metodologia preliminare, la presente relazione aggiorna i risultati in base ad approfondimenti conseguenti alla conclusione della campagna sperimentale condotta dal CNR in Emilia-Romagna mediante l'installazione di una torre eddy covariance per la raccolta di dati specifici.

Nel presente report vengono riportati i risultati relativi alle attività condotte da Tetis per il TASK 3.2 (Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata):

- 1 Verifica dell'addizionalità ambientale (aumento del sequestro del carbonio nel lungo periodo che non sarebbe stato possibile senza il regime) e dei benefici legati al contributo delle singole azioni rispetto a specifici SDGs (Sustainable Development Goals adottati dalle Nazioni Unite nel 2015: GOAL 2: Fame zero, GOAL 3: Salute e benessere; GOAL 6: Acqua pulita; GOAL 8: Lavoro dignitoso e crescita economica; GOAL 12: Consumo e produzione responsabili; GOAL 13: Azione per il clima; GOAL 15: Vita sulla terra).
- 2 Raccolta dati per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera) secondo i requisiti definiti nella metodologia sviluppata nel Task 3.1 per le azioni di sequestro del carbonio definite nel Task 1.2.
- 3 Calcolo dell'assorbimento del carbonio delle azioni nelle diverse condizioni di operatività.
- 4 Quantificazione dei crediti di carbonio generati dalle specifiche azioni.

### AZIENDA

CONSERVE ITALIA SOC. COOP. AGRICOLA	Via Paolo Poggi, 11 40068 San Lazzaro di Savena (BO) - Italia Web: <a href="http://www.conserveitalia.it">www.conserveitalia.it</a>
--	---

### PERSONE DI CONTATTO

Dott. Pietro Crudele	Responsabile Sostenibilità Ambientale e Certificazioni Tel: (+39) 051 6228319 E-mail: <a href="mailto:pcrudele@ccci.it">pcrudele@ccci.it</a>
----------------------	--

### PERSONE DI RIFERIMENTO Tetis Institute S.r.l.

Prof. Ing Adriana Del Borghi	e-mail: <a href="mailto:delborghi@tetisinstitute.it">delborghi@tetisinstitute.it</a>
Ing Valeria Tacchino	<a href="mailto:tacchino@tetisinstitute.it">tacchino@tetisinstitute.it</a>

## 2 Applicazione metodologia

### 2.1 Pratiche di carbon farming

Le pratiche di carbon farming che sono state testate nel presente report e a cui sono stati applicati i modelli elaborati dall'Università di Genova nel report relativo al Task 3.1, sono di seguito elencate.

Per mais e pomodoro:

1. Introduzione di colture di copertura (Cover Crops);
2. Passaggio a lavorazione meccanica del terreno ridotta;
3. Sostituzione di fertilizzanti inorganici con fertilizzanti organici.

Per il pero:

1. Introduzione di colture di copertura (Cover Crops);
2. Inerbimento Permanente;
3. Reintroduzione in campo dei residui di potatura;
4. Utilizzo di fertilizzante organico (letame o compost).

### 2.2 Eleggibilità del progetto

Il progetto è eleggibile in accordo con la metodologia sviluppata da UniGe nel documento “*Elaborazione di una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica per la potenziale generazione di crediti di carbonio nel carbon farming e calcolo delle emissioni nette - Task 3.1 Definizione della metodologia per colture erbacee ed arboree*”, in quanto le caratteristiche del progetto sono conformi alle condizioni di applicabilità definite:

Condizione di applicabilità	Conformità
<p>1. I progetti devono introdurre o attuare una o più nuove modifiche alle pratiche esistenti di gestione dei terreni agricoli che:</p> <p>a) migliorino la gestione dei fertilizzanti (organici o inorganici);</p> <p>b) riducano la lavorazione del terreno/migliorino la gestione dei residui;</p> <p>c) migliorino la piantumazione e la raccolta delle colture (ad esempio, miglioramento agroforestale, rotazioni delle colture, introduzione di colture di copertura);</p> <p>d) migliorino la gestione dell'acqua/irrigazione;</p>	<p>a) Sì, è stata ipotizzata la parziale o totale sostituzione dell'uso di fertilizzanti chimici con fertilizzanti organici (letame o compost) per tutte le tre colture individuate dallo studio.</p> <p>b) Sì, per mais e pomodoro sono stati proposti regimi di lavorazione ridotta e minima del terreno, nonché per il pero è stata anche ipotizzata la reintroduzione in frutteto dei residui legnosi di potatura.</p> <p>c) Sì, è stato ipotizzato l'uso di cover crops per tutte le tre colture identificate.</p> <p>d) No, l'Università di Milano ha ipotizzato per il pero l'applicazione in via esplorativa di subirrigazione profonda, tuttavia non è stata analizzata nel presente report per mancanza di dati disponibili a supporto.</p>

2. I progetti che introducono o attuano adeguamenti quantitativi (ad esempio, la diminuzione del tasso di applicazione del fertilizzante) devono superare il valore preesistente, calcolato rispetto alla baseline.	Sì, tutte le tecniche proposte per cui sono stati calcolati i valori di sequestro potenziali soddisfano questa condizione.
3. Le attività del progetto devono essere attuate su terreni agricoli o prativi alla data di inizio del progetto. Il terreno deve rimanere coltivato o prativo per tutta la durata del progetto.	Sì, le attività vengono effettuate su terreni che sono adibiti a campo agricolo da prima della realizzazione del progetto.
4. Le variazioni dello stock/emissioni devono essere stimate attraverso modelli empirici o process-based che: a) siano pubblici, anche se non necessariamente a titolo gratuito, e resi disponibili da una fonte riconosciuta (ad esempio, il sito web dello sviluppatore del modello, IPCC o agenzia governativa) che fornisca documentazione sugli input, output e su come il modello rappresenta le dinamiche SOC; b) siano basati su fonti ed i valori chiaramente esplicitati per tutti i parametri utilizzati nel modello, c) non varino negli scenari di baseline e di progetto, analogamente ai parametri. I modelli possono essere ricalibrati o rivisti sulla base di nuovi dati o un nuovo modello può essere adottato, a condizione che siano soddisfatti i requisiti sopra menzionati.	a) b) c) Sì, soddisfatta per il modello preliminare e per il modello RothC per tutte le colture analizzate nel progetto.

Tab 1: Conformità del progetto alle condizioni di applicabilità stabilite dalla metodologia

## 2.3 Addizionalità del progetto

### *Passo 1: Surplus normativo*

Le attività previste dal progetto rappresentano un surplus normativo, in quanto non previste da leggi o regolamenti in Italia.

### *Passo 2: Identificare le barriere che impedirebbero l'attuazione di un cambiamento nelle pratiche di gestione dei terreni agricoli preesistenti*

Il progetto soddisfa il secondo criterio di addizionalità poiché consente agli agricoltori di attuare cambiamenti nelle pratiche agricole che altrimenti non sarebbero attuati.

Le seguenti barriere saranno superate grazie al presente progetto:

- **Barriera finanziaria:** a causa della scarsità di risorse finanziarie, alcune misure – comportando oneri aggiuntivi per gli agricoltori - non verrebbero adottate senza la realizzazione del presente progetto.
- **Barriera temporale/informativa:** la gestione a tempo pieno di un'azienda agricola non consente agli agricoltori di pianificare e valutare la fattibilità dei cambiamenti che potrebbero ridurre le emissioni di gas serra. Inoltre, la mancanza di informazioni sulle diverse opzioni disponibili può costituire un ostacolo alla modifica delle pratiche comunemente adottate nei campi. Le ultime tecnologie introdotte sul mercato o gli studi che ne attestano l'efficacia non sono sempre accessibili. Essere coinvolti nel progetto consente agli agricoltori di acquisire consapevolezza sui benefici ottenibili dall'attuazione delle pratiche di carbon farming analizzate nel progetto, senza compromettere la produttività dei terreni agricoli coinvolti.
- **Barriera sociale/culturale:** a livello sociale, adeguarsi a pratiche agricole tradizionali (common practices) è spesso la scelta comunemente adottata dagli agricoltori. Per superare questa barriera, nel progetto è stata effettuata una consultazione con i principali stakeholders interessati dal progetto (si veda capitolo 3) con l'obiettivo di superare la resistenza ai cambiamenti nell'attuazione delle pratiche.
- **Barriera istituzionale:** in assenza di un incentivo economico e di un sostegno adeguato da parte delle istituzioni, alcune misure non verrebbero adottate senza la realizzazione del presente progetto. L'assenza di sovvenzioni disponibili rafforza la barriera finanziaria.

### *Passo 3: Dimostrare che l'adozione delle attività proposte non è pratica comune*

Dall'analisi di un'indagine sulle pratiche di gestione del suolo condotta attraverso il Programma Congiunto Europeo (EJP) sulle innovazioni nella gestione del suolo in Europa (I-SoMPE <https://ejpsoil.eu/soil-research/i-sompe>), emerge che in Italia manca una consapevolezza pubblica sull'importanza delle pratiche di sequestro del carbonio nel suolo (Rodrigues, 2020).

L'assenza di consapevolezza sull'importanza delle pratiche di carbon farming in Italia potrebbe limitarne la diffusione. È fondamentale, pertanto, promuovere la sensibilizzazione sull'importanza del sequestro del carbonio nel suolo, non solo tra gli agricoltori, ma anche tra i cittadini e i decisori politici, come ad esempio attraverso le azioni di coinvolgimento degli stakeholders che sono state intraprese per il presente progetto (si veda capitolo 3).

Per quanto riguarda in particolare le pratiche di carbon farming inserite nel presente studio si ha:

- **Minimum tillage (lavorazione minima):** Gli agricoltori che adottano la lavorazione minima necessitano di macchinari specifici e competenze specializzate; tuttavia, non tutti dispongono delle risorse necessarie per acquistarli. In alcuni Paesi dell'Europa meridionale, come l'Italia, il tasso di adozione della non lavorazione o della lavorazione minima risulta inferiore al 20% (Á. Kertész, 2014).
- **Cover crops (colture di copertura):** Questa pratica non risulta ancora ampiamente adottata dagli agricoltori in Italia, poiché richiede sia un investimento finanziario che conoscenze agronomiche per l'implementazione delle colture di copertura nella rotazione delle colture (Scavo, 2022).
- **Utilizzo di fertilizzanti organici:** Dai quaderni di campagna delle aziende agricole coinvolte nel progetto risulta che tale pratica non è di comune applicazione; infatti, la quasi totalità dei fertilizzanti utilizzati risultano sintetici o inorganici.
- **Inerbimento permanente:** Dai quaderni di campagna delle aziende agricole coinvolte nel progetto risulta ed in seguito ad indagini presso gli agricoltori risulta che tale pratica non è di comune applicazione.



- **Reintroduzione dei residui di potatura:** Dai quaderni di campagna delle aziende agricole coinvolte nel progetto risulta ed in seguito ad indagini presso gli agricoltori risulta che tale pratica non è di comune applicazione per il pero.

## 2.4 Confini del sistema

I confini del sistema includono i terreni dove è pianificata l'implementazione delle pratiche di carbon farming proposte. Le riserve di carbonio (pool) incluse nei confini del sistema, sia nello scenario di baseline che in quello del progetto, sono elencate nel seguito distinti per coltura.

### MAIS E POMODORO

Fonte	Inclusa	Giustificazione
Biomassa legnosa fuori terra	No	Non inclusa in quanto non pertinente per queste colture.
Biomassa non legnosa fuori terra	No	Non inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Biomassa legnosa sotterranea	No	Non inclusa in quanto non pertinente per queste colture.
Biomassa non legnosa sotterranea	No	Non inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Carbonio organico nel suolo (SOC)	Sì	Inclusa perché importante riserva di carbonio influenzata dall'attività del progetto che si prevede aumenterà nello scenario del progetto.
Prodotti in legno	No	Non pertinente per questa tipologia di progetti.

Tab 2: Confini del Sistema di Progetto per mais e pomodoro

### PERO

Fonte	Inclusa	Giustificazione
Biomassa legnosa fuori terra	Sì	Inclusa nello scenario di baseline.
Biomassa non legnosa fuori terra	No	Non inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Biomassa legnosa sotterranea	Sì	Inclusa nello scenario di baseline.
Biomassa non legnosa sotterranea	No	Non inclusa perché non soggetta a cambiamenti significativi o perché eventuali cambiamenti sono di natura transitoria.
Carbonio organico nel suolo (SOC)	Sì	Inclusa perché importante riserva di carbonio influenzata dall'attività del progetto che si prevede aumenterà nello scenario del progetto.
Prodotti in legno	No	Non pertinente per questa tipologia di progetti.

Tab 3: Confini del Sistema di Progetto per il pero

Le fonti di gas serra (GHG) incluse nei confini del sistema per gli scenari di baseline e di progetto sono elencate nel seguito distinti per coltura. Alcune specifiche riserve di carbonio e fonti di GHG sono considerate non significative e non necessitano di essere contabilizzate (cioè, il loro valore viene impostato a zero). La riserva di carbonio organico nel suolo (SOC) è inclusa e pertanto deve essere monitorata come parte del progetto e non è mai considerata insignificante.

### MAIS E POMODORO

Fonte	Gas	Inclusa	Giustificazione
Carbonio organico nel suolo (SOC)	CO <sub>2</sub>	Sì	Quantificato come variazione delle riserve nel pool, anziché come fonte di emissioni.
Combustibili fossili	CO <sub>2</sub>	Sì	Le fonti di emissioni da combustibili fossili sono rappresentate dai mezzi agricoli.
Liming del suolo	CO <sub>2</sub>	No	L'applicazione di calcare o dolomia non è pertinente al progetto.
Metanogenesi del suolo	CH <sub>4</sub>	No	Non è una fonte di emissioni significativa per questa tipologia di progetto.
Fermentazione enterica	CH <sub>4</sub>	No	Non è una fonte di emissioni pertinente per questa tipologia di progetto.
Spandimento del letame	CH <sub>4</sub>	Sì	Nel progetto, lo spandimento del letame è previsto tra le tecniche di carbon farming selezionate.
Spandimento del letame	N <sub>2</sub> O	Sì	Nel progetto, lo spandimento del letame è prevista tra le tecniche di carbon farming selezionate.
Utilizzo di fertilizzanti azotati	N <sub>2</sub> O	Sì	Nello scenario di baseline, l'area del progetto è soggetta a fertilizzazione azotata.
Combustione di biomassa	CO <sub>2</sub>	No	Non ammessa e pertanto non rilevante per le colture in oggetto.
Combustione di biomassa	CH <sub>4</sub>	No	Non ammessa e pertanto non rilevante per le colture in oggetto.
Combustione di biomassa	N <sub>2</sub> O	No	Non ammessa e pertanto non rilevante per le colture in oggetto.
Biomassa legnosa	CO <sub>2</sub>	No	Non pertinente per le colture in oggetto.
Uso di specie che fissano azoto	N <sub>2</sub> O	No	Non significativa/pertinente.

Tab 4: Fonti di GHG incluse per mais e pomodoro

## PERO








Fonte	Gas	Inclusa	Giustificazione
Carbonio organico nel suolo (SOC)	CO <sub>2</sub>	Si	Quantificato come variazione delle riserve nel serbatoio, anziché come fonte di emissioni
Combustibili fossili	CO <sub>2</sub>	Si	Le fonti di emissioni da combustibili fossili sono i veicoli e l'equipaggiamento meccanico necessario per l'attività di gestione del territorio agricolo. Vengono inclusi sia nel calcolo delle emissioni di progetto delle tecniche applicate sia per quanto riguarda la baseline di progetto.
Liming del suolo	CO <sub>2</sub>	No	L'applicazione di calcare o dolomia non è pertinente al progetto.
Metanogenesi del suolo	CH <sub>4</sub>	No	Non è una fonte di emissioni significativa per il presente progetto.
Fermentazione enterica	CH <sub>4</sub>	No	Non è una fonte di emissioni pertinente per il presente progetto.
Spandimento del letame	CH <sub>4</sub>	Si	Nel progetto, lo spandimento del letame è previsto tra le tecniche di carbon farming selezionate.
Spandimento del letame	N <sub>2</sub> O	Si	Nel progetto, lo spandimento del letame è previsto tra le tecniche di carbon farming selezionate.
Utilizzo di fertilizzanti azotati	N <sub>2</sub> O	Si	Nello scenario di baseline, l'area del progetto è soggetta a fertilizzazione azotata.
Combustione di biomassa	CO <sub>2</sub>	No	La combustione della biomassa può avvenire nello scenario di baseline per quanto riguarda il legno di potatura, tuttavia il suo apporto è trascurabile.
Combustione di biomassa	CH <sub>4</sub>	No	La combustione della biomassa può avvenire nello scenario di baseline per quanto riguarda il legno di potatura, tuttavia l'apporto è trascurabile.
Combustione di biomassa	N <sub>2</sub> O	No	La combustione della biomassa può avvenire nello scenario di baseline per quanto riguarda il legno di potatura, tuttavia l'apporto è trascurabile.
Biomassa legnosa	CO <sub>2</sub>	No	Non pertinente al progetto in oggetto.
Uso di specie che fissano azoto	N <sub>2</sub> O	No	Non significativa/pertinente.

Tab 5: Fonti di GHG incluse per il pero

## 2.5 Co-benefits e SDGs coinvolti dalle tecniche di carbon farming selezionate





Le tecniche di carbon farming individuate per questo progetto presentano diversi benefici addizionali (co-benefits) che vanno al di là della sola cattura di anidride carbonica. Pertanto, la loro applicazione genera benefici a livello ecosistemico e sociale. Sono stati individuati i Sustainable Development Goals (SDGs) corrispondenti a tali benefici addizionali. Non è stato riportato il Goal 13, Climate Action (Azione Climatica), in quanto è in comune a tutte le pratiche e coincide con l'obiettivo fondamentale del progetto stesso: apportare una contribuzione climatica con l'applicazione di tecniche di carbon farming.

### COVER CROPS

CO-BENEFIT	FONTE	SDGs
Miglioramento dei nutrienti	Poeplau & Don, 2015; Liu et al., 2021; FAO 2019b; Haruna et al., 2020	 
Difesa dall'erosione del suolo	Poeplau & Don, 2015; Liu et al., 2021; Paustian et al., 2016; Haruna et al., 2020	
Miglioramento della risorsa idrica	Paustian et al., 2016	
Sicurezza alimentare	Paustian et al., 2016	
Aumento della biodiversità	Lal et al., 2004	
Controllo dei parassiti	Poeplau & Don, 2015	







Tab 6: Co-benefits individuati per le cover crops

**LAVORAZIONE RIDOTTA E NESSUNA LAVORAZIONE MECCANICA DEL TERRENO**

CO-BENEFIT	FONTE	SDGs	
Sicurezza alimentare	Paustian et al., 2016		
Difesa dall'erosione del suolo	ISMEA, 2018; Liu et al., 2021; Gucci et al., 2011; Tiefencacher et al., 2021		
Miglioramento della risorsa idrica	ISMEA, 2018; Tiefencacher et al., 2021		
Aumento della biodiversità	ISMEA, 2018		
Riduzione del consumo di carburanti fossili	Adam & Abdulai, 2023		






Tab 7: Co-benefits individuati per la lavorazione meccanica del terreno ridotta

**INERBIMENTO PERMANENTE**

CO-BENEFIT	FONTE	SDGs
Miglioramento dell'apporto di nutrienti	ISMEA, 2018; Tiefenbacher et al., 2021	 
Difesa dall'erosione del suolo	ISMEA, 2018; Liu et al., 2021; Gucci et al., 2011; Tiefencacher et al., 2021	
Miglioramento della risorsa idrica	ISMEA, 2018; Gucci et al., 2011; Tiefencacher et al., 2021	
Aumento della biodiversità	ISMEA, 2018	
Controllo degli infestanti	Pausic et al., 2021	






Tab 8: Co-benefits individuati per l'inerbimento permanente

**REINTRODUZIONE DEI RESIDUI DI POTATURA**

CO-BENEFIT	FONTE	SDGs
Miglioramento dell'apporto di nutrienti	Jat et al., 2022	 
Difesa dall'erosione del suolo	ISMEA, 2018;	
Miglioramento della risorsa idrica	ISMEA, 2018;	
Aumento della biodiversità	ISMEA, 2018; FAO, 2019	

Tab 9: Co-benefits individuati per la reintroduzione dei residui di potatura

**UTILIZZO DI FERTILIZZANTI ORGANICI (LETAME E COMPOST)**

CO-BENEFIT	FONTE	SDGs
Miglioramento dell'apporto di nutrienti	Pergola et al., 2018	 
Difesa dall'erosione del suolo	Pergola et al., 2018	
Sicurezza alimentare	Paustian et al., 2016	
Riciclo di rifiuti	FAO, 2015; ISMEA, 2018	

Tab 10: Co-benefits individuati per la l'utilizzo di fertilizzanti organici

## 2.6 Mais e pomodoro

### 2.6.1 Modello preliminare

Per i calcoli relativi al sequestro potenziale di carbonio del modello preliminare è stato utilizzato il Metodo di quantificazione 1 (Misura e Modellazione) come illustrato nel report redatto dall'Università di Genova relativo al Task 3.1.

#### 2.6.1.1 Calcolo della baseline

##### MAIS

Lo scenario di baseline è caratterizzato dalle seguenti pratiche: lavorazione meccanica convenzionale, nessuna applicazione di fertilizzante organico e nessun uso di cover crops. Il modello preliminare prevede il calcolo del potenziale di assorbimento annuo di carbonio da parte del terreno.

Gli input di Carbonio (C input) al suolo vengono calcolati con le Eq.1-7 della definizione della metodologia (Bolinder et al., 2007) illustrata nel report UniGerelativo al Task 3.1.

Parametro	Quantità	Unità di Misura	Fonte	Tipologia del dato
Resa	15	t/ha	Conserve Italia	Diretto (aziendale)
Contenuto d'acqua del prodotto	15,5	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Harvest Index (indice di raccolta)	45-55	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa	45	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Rapporto fra parte area e radici	0,17-0,20	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Carbonio extra-radiale essudato	65	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nelle componenti raccolte che viene restituito al suolo	0	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nelle radici che viene restituito al suolo	75	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nei prodotti radicali che viene restituito al suolo	75	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura



Frazione di Carbonio contenuto nelle componenti aree non raccolte che viene restituito al suolo	20	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
---	----	---	-------------------------	----------------

Tab 11: Dati applicazione metodologia per il calcolo degli input di Carbonio al terreno (Bolinder et al., 2007)

Sulla stessa tipologia di dati si basano anche le Eq. 8-11 della definizione della metodologia che permette di calcolare il potenziale di sequestro di carbonio (Popp et al., 2011).

Parametro	Quantità	Unità di Misura	Fonte	Tipologia del dato
Resa	15	t/ha	Conserve Italia	Diretto (aziendale)
Contenuto d'acqua del prodotto	15,5	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Harvest Index (indice di raccolta)	45-55	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa epigea	41	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa ipogea	42	%	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Rapporto fra parte area e radici	0,17-0,20	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Frazione stimata della parte area della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,7	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Frazione stimata della parte radicale della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,4	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Frazione di parte area incorporata nel suolo - lavorazione meccanica dipendente	0,2	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Fattore del terreno	0,7	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura

Tab 12: Dati applicazione metodologia per il calcolo del sequestro di carbonio per la coltivazione del mais (Popp et al. 2011).

Usando i dati riportati in tabella 12 viene quindi calcolato il C input. Tra il 12% e il 20% del C input viene considerato effettivo potenziale di sequestro di carbonio. Combinando questi valori è possibile desumere una distribuzione normale nel risultato e calcolare l'errore nella stima degli assorbimenti. Per ragioni di conservatività, al risultato finale viene quindi applicato l'errore e un buffer cautelativo del 20%.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
3,63	0,75	20%	2,30

Tab 13: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di baseline

## POMODORO

Lo scenario di baseline è caratterizzato dalle seguenti pratiche: lavorazione meccanica convenzionale, nessuna applicazione di fertilizzante organico e nessun uso di cover crops.

L'input di Carbonio al suolo viene calcolato con le Eq.1-7 della metodologia (Bolinder et al., 2007) illustrata nel report UniGe Task 3.1.

Parametro	Quantità	Unità di Misura	Fonte	Tipologia del dato
Resa	80	t/ha	Conserve Italia	Diretto (aziendale)
Contenuto d'acqua del prodotto	92,3	%	(Ho, 1984)	Da letteratura
Harvest Index (indice di raccolta)	60-70	%	(Ho, 1984)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa	40	%	(Shishido et al., 1999)	Da letteratura
Rapporto fra parte area e radici	0,20-0,50	[-]	(Ghanem et al., 2011)	Da letteratura
Carbonio extra-radiale essudato	65	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nelle componenti raccolte che viene restituito al suolo	0	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura

Frazione di Carbonio contenuto nelle radici che viene restituito al suolo	100	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nei prodotti radicali che viene restituito al suolo	100	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura
Frazione di Carbonio contenuto nelle componenti aree non raccolte che viene restituito al suolo	30	%	(Bolinder et al., 2007)	Da letteratura

Tab 14: Dati applicazione metodologia per il calcolo degli input di Carbonio al terreno per la coltivazione del pomodoro (Bolinder et al., 2007)

Sulla stessa tipologia di dati si basano anche le Eq. 8-11 della metodologia.

Parametro	Quantità	Unità di Misura	Fonte	Tipologia del dato
Resa	80	t/ha	Conserve Italia	Diretto (aziendale)
Contenuto d'acqua del prodotto	92,3	%	(Ho, 1984)	Da letteratura
Harvest Index (indice di raccolta)	60-70	%	(Ho, 1984)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa epigea	40	%	(Shishido et al., 1999)	Da letteratura
Contenuto di carbonio nella biomassa ipogea	40	%	(Shishido et al., 1999)	Da letteratura
Rapporto fra parte area e radici	0,20-0,50	[-]	(Ghanem et al., 2011)	Da letteratura
Frazione stimata della parte area della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,7	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Frazione stimata della parte radicale della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,4	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura
Frazione di parte area incorporata nel suolo -	0,2	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura

lavorazione meccanica dipendente				
Fattore del terreno	0,7	[-]	(Popp et al., 2011)	Da letteratura

Tab 15: Dati applicazione metodologia per il calcolo del sequestro di carbonio per la coltivazione del pomodoro (Popp et al. 2011).

Usando i dati riportati in tabella 15 viene quindi calcolato il C input. Tra il 12% e il 20% del C input viene considerato effettivo potenziale di sequestro di carbonio. Combinando questi valori è possibile desumere una distribuzione normale nel risultato. e calcolare l'errore nella stima degli assorbimenti. Per ragioni di conservatività, al risultato finale viene quindi applicato l'errore e un buffer del 20%.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
0,952	0,172	20%	0,62

Tab 16: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di baseline per la coltivazione del pomodoro.

### 2.6.1.2 Calcolo del sequestro di carbonio

Le pratiche di Carbon Farming applicate alla coltivazione del mais e del pomodoro consistono in un apporto aggiuntivo di carbonio al terreno (Cover crops e fertilizzante organico) o in una modifica del processo di mineralizzazione della sostanza organica (Tillage).

#### REDUCED TILLAGE (LAVORAZIONE MECCANICA RIDOTTA)

Il meccanismo di reduced tillage (lavorazione meccanica del terreno ridotta) viene simulato modificando i parametri delle tabelle 12 e 15 Individuati per le coltivazioni di mais e pomodoro con i seguenti valori:

Frazione stimata della parte area della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,4	[-]	(Popp et al., 2011)
Frazione stimata della parte radicale della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,45	[-]	(Popp et al., 2011)
Frazione di parte area incorporata nel suolo - lavorazione meccanica dipendente	0,5	[-]	(Popp et al., 2011)

Tab 17: aggiornamento dei parametri della metodologia per lavorazione ridotta del terreno

Sulla base di tali parametri modificati è possibile applicare nuovamente la metodologia con i nuovi valori sia per il mais (Tab 18) sia per il pomodoro (Tab 19), sono di seguito riportati in forma tabulare i valori per entrambe le colture:

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
4,77	1,04	20%	2,98

Tab 18: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di lavorazione ridotta del terreno nella coltivazione del mais.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima netta dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
1,535	0,186	20%	1,08

Tab 19: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di lavorazione ridotta del terreno nella coltivazione del pomodoro.

### NO TILLAGE (NESSUNA LAVORAZIONE MECCANICA)

Il meccanismo di no tillage (nessuna lavorazione meccanica del terreno) viene simulato modificando i parametri delle tabelle 12 e 15 individuati per le coltivazioni di mais e pomodoro con i seguenti valori:

Frazione stimata della parte area della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,1	[-]	(Popp et al., 2011)
Frazione stimata della parte radicale della pianta sequestrata nel suolo – lavorazione meccanica dipendente	0,5	[-]	(Popp et al., 2011)
Frazione di parte area incorporata nel suolo - lavorazione meccanica dipendente	0,8	[-]	(Popp et al., 2011)

Tab 20: Aggiornamento dei parametri della metodologia per nessuna lavorazione meccanica del terreno

Sulla base di tali parametri modificati è possibile applicare nuovamente la metodologia con i nuovi valori sia per il mais (Tab 21) sia per il pomodoro (Tab 22), sono di seguito riportati in forma tabulare i valori per entrambe le colture:

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
4,32	1,33	20%	2,39

Tab 21: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di nessuna lavorazione del terreno nella coltivazione del mais.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
1,161	0,244	20%	0,73

Tab 22: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di nessuna lavorazione del terreno nella coltivazione del pomodoro.

### COVER CROPS (COLTURE DI COPERTURA)

L'input di suolo Carbonio al suolo nel caso dell'applicazione alla coltivazione del mais incrementa di 2,03 tC/ha per via della presenza di Cover Crops (Soil Service of Belgium, Ghent University, 2006). I risultati sono di seguito riportati:

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
4,07	1,03	20%	2,43

Tab 23: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di introduzione di colture di copertura applicate alla coltivazione del mais.

Analogamente, nel caso dell'applicazione della stessa tecnica di carbon farming alla coltivazione del pomodoro, l'input di suolo Carbonio al suolo incrementa di 1,40 tC/ha per via della presenza di Cover Crops (Soil Service of Belgium, Ghent University, 2006).

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
1,260	0,324	20%	0,75

Tab 24: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di introduzione di colture di copertura applicate alla coltivazione del pomodoro.

### FERTILIZZANTE ORGANICO

L'applicazione di fertilizzante organico viene considerata generare un incremento di input di carbonio nell'ordine del 15% sia per quanto riguarda la coltivazione del mais sia per quanto riguarda la coltivazione del pomodoro (stima conservativa da Kimura et al., 2011). Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori risultanti dell'applicazione di fertilizzante organico alle due colture oggetto di studio.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio MAIS [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
4,34	0,82	20%	2,82

Tab 25: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di utilizzo di fertilizzante organico applicate alla coltivazione del mais.

Stima lorda dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]	Errore	Buffer	Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio POMODORO [tCO <sub>2</sub> -eq/ha]
1,399	0,172	20%	0,98

Tab 26: Stima dei potenziali assorbimenti di carbonio [tCO<sub>2</sub>-eq/ha] nello scenario di utilizzo di fertilizzante organico applicate alla coltivazione del pomodoro.

### 2.6.1.3 Modello RothC

Per i calcoli relativi al sequestro potenziale di carbonio del modello RothC è stato utilizzato il Metodo di quantificazione 1 (Misura e Modellazione) come illustrato nel report redatto dall'Università di Genova relativo al Task 3.1.

### 2.6.1.4 Calcolo della baseline

Il modello richiede informazioni sul clima (temperatura dell'aria mensile, precipitazioni e potenziale evapotraspirazione), sul suolo (contenuto di argilla e contenuto iniziale di SOC), e sulla copertura mensile della vegetazione. I dati climatici (temperatura, precipitazione e evapotraspirazione) sono stati ottenuti dal servizio TerraClimate (Abatzoglou et al., 2018), sotto forma di dataset mensile per i 20 anni precedenti la simulazione. I dati sul contenuto iniziale di SOC nel terreno (0-30 cm) sono stati ottenuti dal servizio web "Geoportale della Regione Emilia-Romagna" per l'individuazione di punti che avessero lo stesso SOC che nel campo sperimentale indicato dal CNR. Informazioni sul contenuto di argilla vengono invece ottenute dal Soil Reference and Information Centre (ISRIC) SoilGrids 2.0 (Poggio et al., 2021). I dati sono forniti a quattro diverse profondità e integrati utilizzando la regola trapezoidale attraverso le diverse profondità del suolo fino a 30 cm (Bilas et al., 2022). I dati mensili di copertura della vegetazione (VC) sono stati recuperati dal servizio MOD13A2 versione 6 che fornisce il Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Didan, 2015). Google Earth Engine è stato utilizzato per ottenere le informazioni satellitari e per calcolare la probabilità mensile di occorrenza del terreno vegetato (NDVI > 0,6). Questi dati sono comuni al calcolo della baseline e al calcolo delle singole tecniche di carbon farming.

L'input di carbonio quindi calcolato, analogo al paragrafo 2.6.1.1 del presente report è di 4,375 tC/ha (mais) 2,587 tC/ha (pomodoro).

Il modello viene quindi eseguito per simulare le dinamiche SOC per 10 anni. È stato scelto un periodo di 10 anni perché il periodo di accredito per i meccanismi di Carbon Farming varia da 5 a 20 anni (Commission et al., 2021) e SOC richiede diversi decenni per raggiungere un nuovo equilibrio.

### 2.6.1.5 Calcolo del sequestro di carbonio

Come riportato in relazione al modello preliminare, le pratiche di Carbon Farming consistono nell'aggiunta di carbonio al terreno (tramite cover crops e fertilizzanti organici) o nella modificazione del processo di mineralizzazione della sostanza organica (attraverso il Tillage).

Al fine di simulare l'impatto di tali tecniche sulla coltivazione del mais e del pomodoro, sono state apportate modifiche ai valori delle tabelle 12 (per il mais) e 15 (per il pomodoro), mantenendo invariati gli altri parametri per entrambe le colture. Dunque, sebbene le modifiche di questi parametri siano

esclusivamente legate alla pratica di Carbon Farming applicata e non al tipo di coltura, gli altri fattori rimangono distintivi per le due colture considerate. Come discusso più dettagliatamente nel seguito del paragrafo, ciò si riflette nei risultati della simulazione con il modello RothC, che mostrano differenze tra mais e pomodoro.

### REDUCED TILLAGE (LAVORAZIONE MECCANICA RIDOTTA)

Il meccanismo di reduced tillage viene simulato modificando parametri nelle tabelle 12 e 15 alle costanti di decomposizione.

TRM	Valore	Fonte
Lavorazione meccanica ridotta del terreno	0,93	(Jordon and Smith, 2022)

Tab 27: Parametro modificato per l'applicazione di lavorazione meccanica del terreno ridotta alla coltivazione di mais e pomodoro.

### NO TILLAGE (NESSUNA LAVORAZIONE MECCANICA)

Il meccanismo di no tillage viene simulato modificando parametri nelle tabelle 12 e 15 alle costanti di decomposizione.

TRM	Valore	Fonte
Lavorazione meccanica ridotta del terreno	0,95	(Jordon and Smith, 2022)

Tab 28: Parametro modificato per l'applicazione di nessuna lavorazione meccanica del terreno alla coltivazione di mais e pomodoro.

### COLTURE DI COPERTURA

L'input di suolo Carbonio al suolo incrementa del 12% per via della presenza di Cover Crops (Seitz et al., 2023). Questa tecnica prevede lo stesso incremento di input di carbonio al suolo per entrambe le colture oggetto di studio.

### FERTILIZZANTE ORGANICO

L'applicazione di fertilizzante organico viene considerata generare un incremento di input di carbonio (Yokozawa et al., 2010) e contestualmente viene anche modificato il DPM/RPM ratio dell'input organico al suolo dovuto alla presenza di sostanza organica esogena (Nakamura et al., 2011). Anche l'applicazione di fertilizzante organico prevede lo stesso incremento di input di carbonio al suolo per entrambe le colture oggetto di studio.

Di seguito vengono presentati i risultati simulati con il modello RothC per il potenziale sequestro di carbonio nelle coltivazioni di mais e pomodoro, riportati sia in forma tabulare sia in forma grafica.



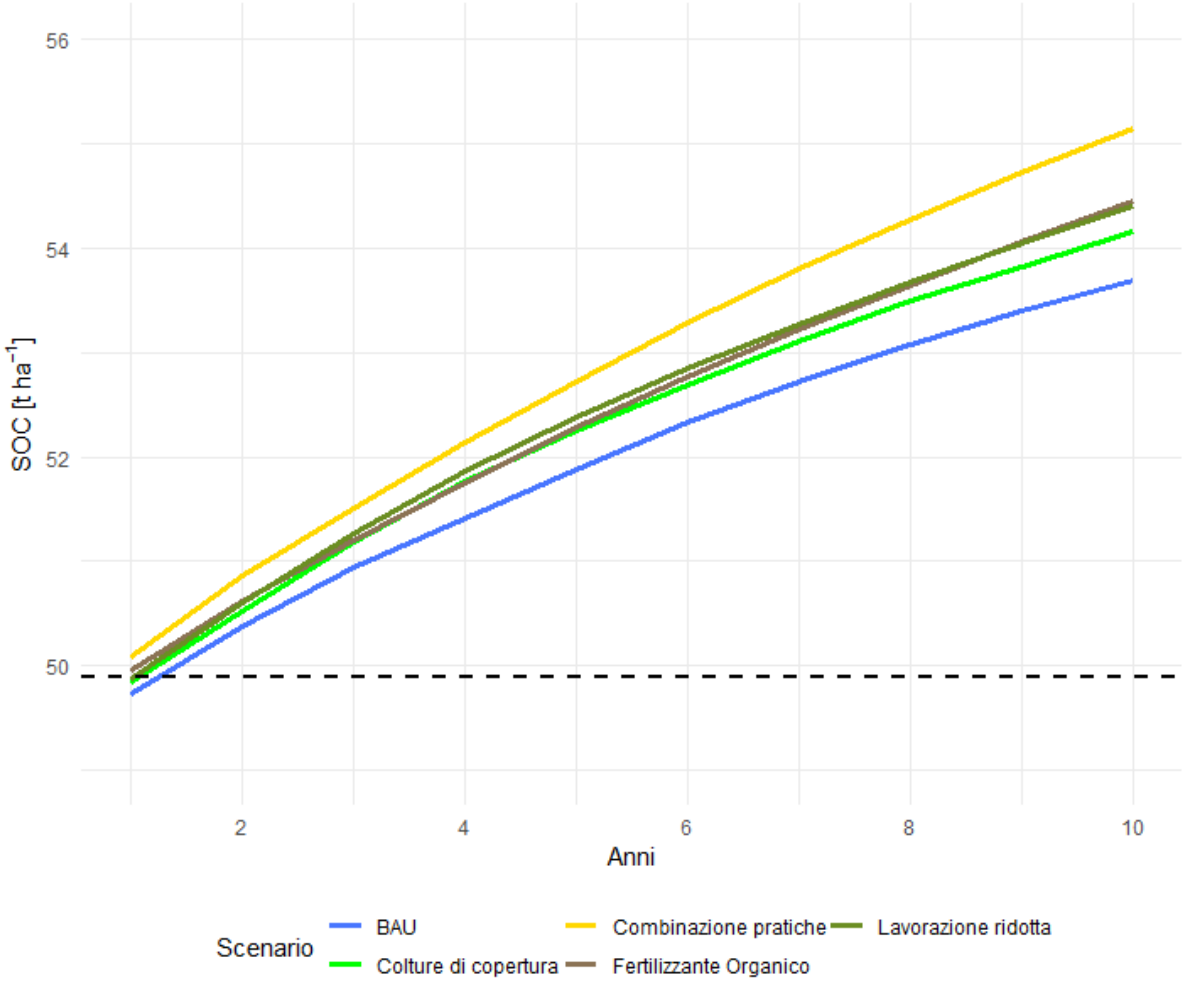


Fig 29: Sequestro annuale di CO<sub>2</sub> per diverse pratiche di carbon farming applicate alla coltivazione del mais

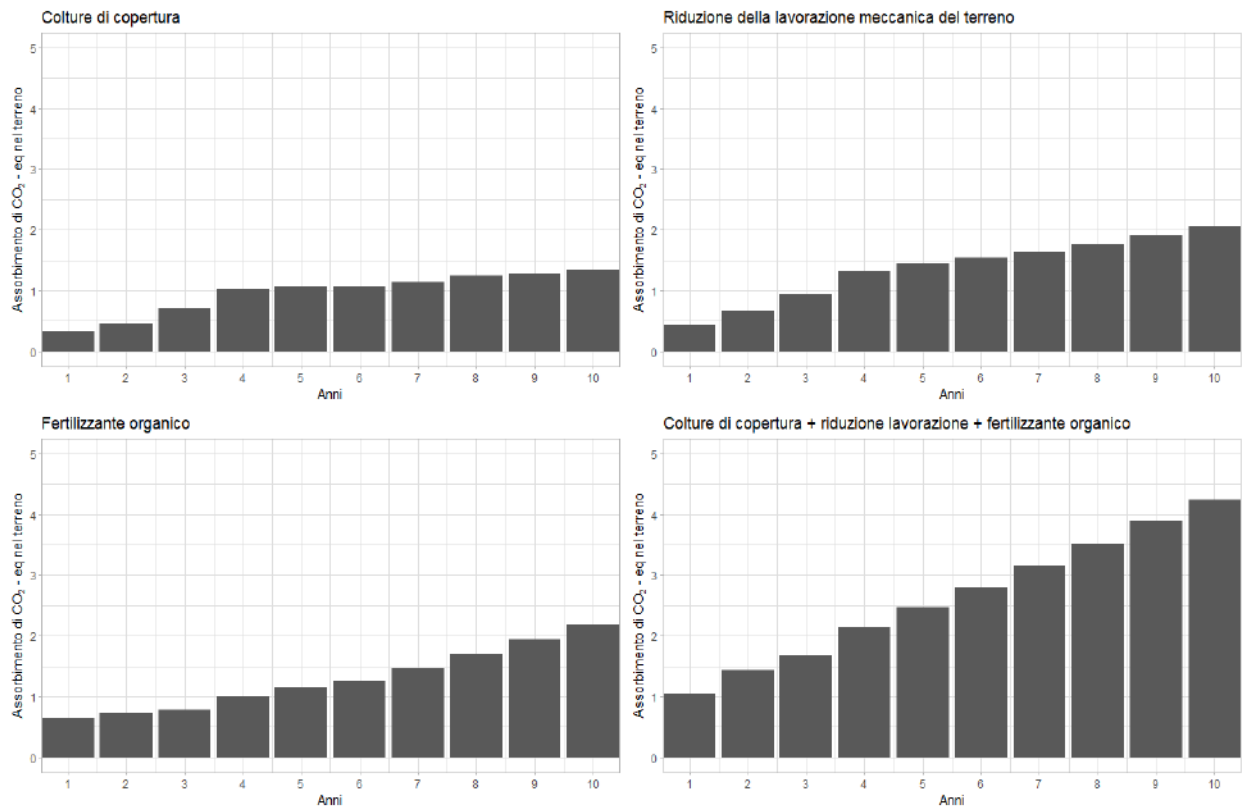


Fig 30: Andamento del SOC nel tempo per diversi scenari applicati alla coltivazione del mais

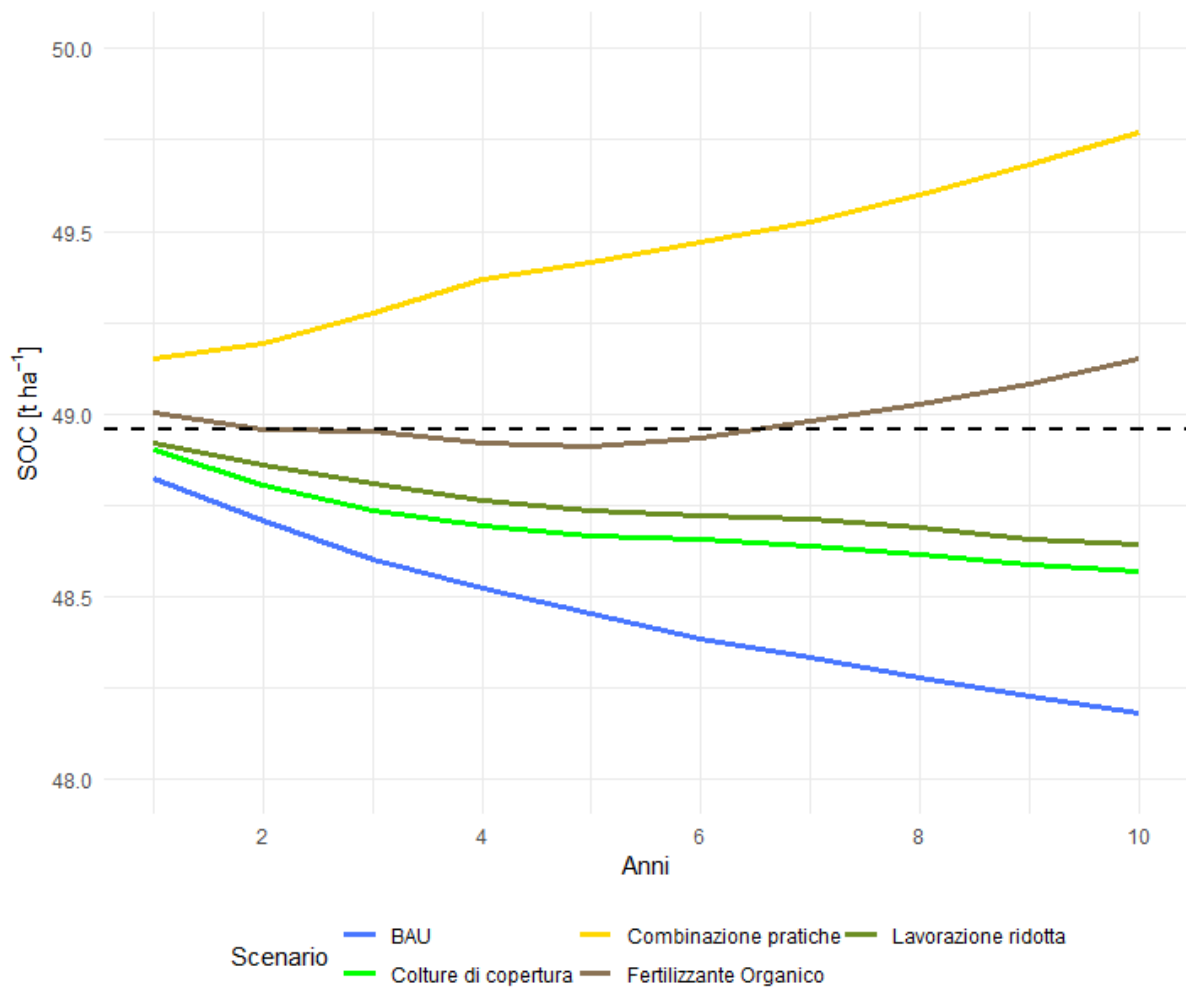


Fig 31: Sequestro annuale di  $CO_2$  per diverse pratiche di carbon farming applicate alla coltivazione del pomodoro

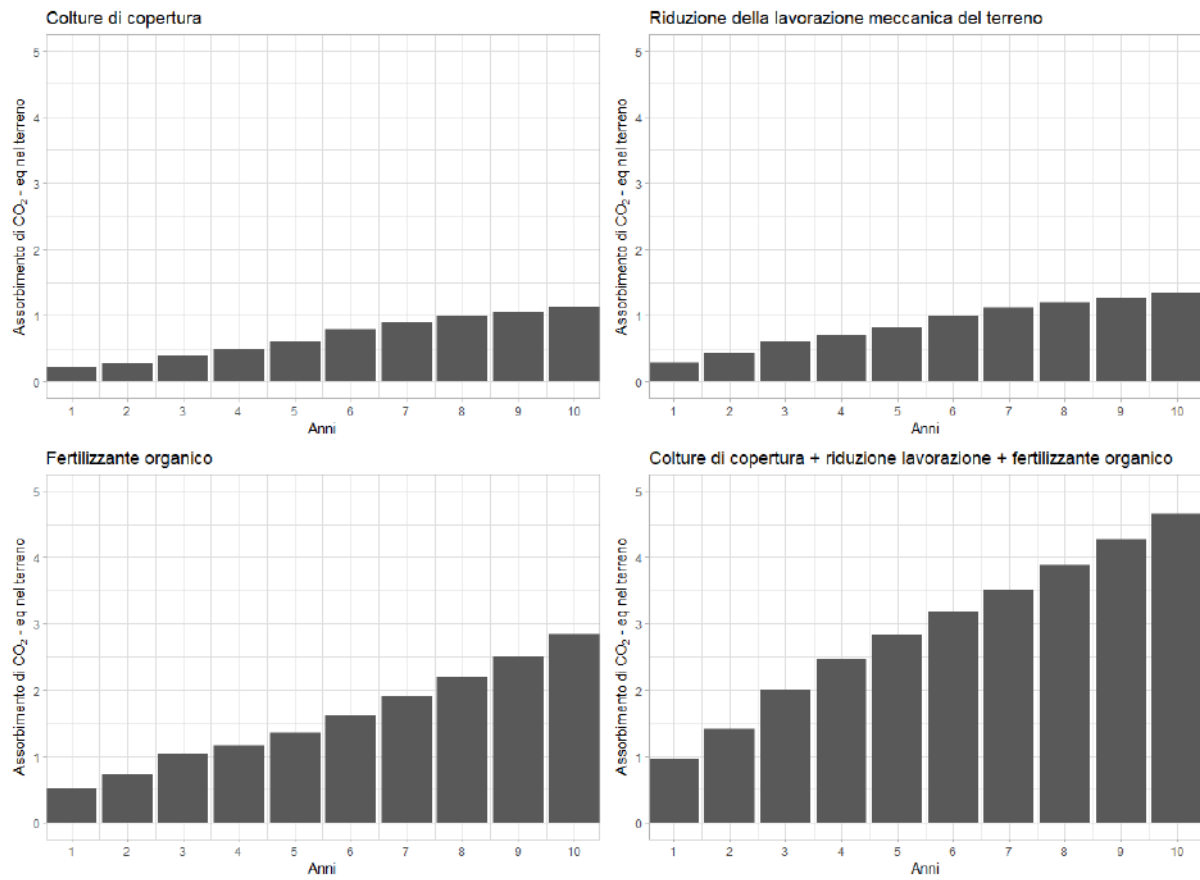


Fig 32: Andamento del SOC nel tempo per diversi scenari applicati alla coltivazione del pomodoro

## 2.7 Pero

### 2.7.1 Modello preliminare

Per i calcoli relativi al sequestro potenziale di carbonio del modello preliminare è stato utilizzato il Metodo di quantificazione 1 (Misura e Modellazione) come illustrato nel report redatto da Università di Genova relativo al Task 3.1.

#### 2.7.1.1 Calcolo della baseline

Per applicare la metodologia è stato necessario reperire alcuni parametri relativi al pero. Alcuni di essi sono stati forniti da misurazioni dirette sui campi di Conserve Italia, considerando un frutteto campione di 20 anni:

PARAMETRO	VALORE	FONTE
DBH [m] a 20 anni	0,12	Conserve Italia Soc. Coop. Agr.
H [m] a 20 anni	4,41	Conserve Italia Soc. Coop. Agr.
D [t/m <sup>3</sup> ]	0,67	Conserve Italia Soc. Coop. Agr.

Tab 33: Parametri per la biomassa viva per l'albero di pero. Fonte: Conserve Italia

Il valore BEF del pero è stato stimato a partire dalle metodologie forestali impiegate per i calcoli dendrometrici e adattata sulla base della geometria degli alberi potati in frutteto. La geometria degli alberi coltivati è principalmente determinata dal tipo di potatura adottata a seconda degli obiettivi di produttività e del modo in cui viene gestito il frutteto. Pertanto, è stato effettuato il calcolo dei volumi della biomassa epigea utilizzando solidi geometrici assimilati alle forme di potatura utilizzate nel pereto, omettendo la parte della biomassa fogliare, che è considerata trascurabile anche nei calcoli utilizzati per le specie forestali.

In particolare, sono state considerate le tipologie di potatura a fusetto e a palmetta. Il tipo di potatura a fusetto è essenzialmente riconducibile alla forma di un piccolo conifera, mentre la potatura a palmetta non è riflesso in forme naturali, assumendo una forma a spalliera, geometricamente simile a un cilindro a base ellittica molto appiattita. Sono stati adottati i seguenti criteri per la determinazione del BEF in entrambi i tipi di potatura:

- Il volume della biomassa legnosa nella chioma, data la sua geometria, è stato stimato al 10% del volume totale della chioma;
- Sono stati calcolati valori per individui con diversi valori di altezza complessiva (200, 250, 300 e 350 cm), altezza del fusto (60, 80, 100 e 120 cm) e diametro del fusto (15, 20 e 25 cm).

Il volume del tronco è stato calcolato come il volume del cilindro. Il volume della chioma, nella potatura a fusetto, è stato supposto uguale al volume del cono, assumendo diversi raggi (30, 35 e 50 cm). Per la potatura a palmetta, il volume della chioma è dato dal volume del cilindro con base ellittica con semiasse maggiore variabile (30, 35 e 50 cm) e semiasse minore costante pari a 15 cm. Il calcolo delle masse (chioma, tronco e totale) è dato dal volume moltiplicato per la densità del legno di pero, assumendo, come valore medio, 0,67 t/m<sup>3</sup>.

Avendo considerato diverse tipologie di dimensioni degli individui, risultano differenti valori BEF calcolati, sono state effettuate diverse simulazioni escludendo i valori di estremo. Successivamente, è stata calcolata la media aritmetica di tutti i valori BEF per le diverse configurazioni geometriche, giungendo ai seguenti risultati:

- Potatura a fusetto: BEF Medio = 1,69
- Potatura a palmetta: BEF Medio = 1,51.

Il parametro CF è un valore fisso valido in generale per qualsiasi biomassa (IPCC, 2006).

Per quanto riguarda il volume della biomassa ipogea, lo sviluppo delle radici non viene modificato come per il tronco e la chioma dalla potatura, quindi i valori dell'indice R per le specie forestali temperate riportati dall'IPCC (2006) possono essere utilizzati con buona approssimazione.

PARAMETRO	VALORE	FONTE
R [-]	0,24	IPCC 2006
CF [-]	0,47	IPCC 2006

Tab 34: Parametri LB per una generica latifoglie in clima temperato caldo. Fonte: IPCC, 2006

Una volta determinati i valori di tutti i parametri necessari per l'applicazione della formula del PEFC, è possibile modellare la crescita del pero nel frutteto per 30 anni, al fine di ottenere l'aumento dello stock di C nella biomassa vivente. La crescita è stata simulata aumentando progressivamente l'altezza H e il diametro DBH nella formula PEFC. I risultati ottenuti per un pero potato a fusetto e a palmetta all'età di 20 anni, 30 anni e per l'incremento medio annuo dello stock di C sono riassunti nella tabella seguente.

POTATURA	LB <sub>Stock</sub> in un albero a 20 anni [kgC]
Palmetta	29,95
Fusetto	33,52

Tab 35: Stock di carbonio in un singolo albero di pero a 20 anni.

Considerando una densità di alberi nel frutteto pari a 400 peri per ettaro, tutti potati a fusetto, e ripetendo la simulazione per calcolare lo stock di carbonio per ettaro, il risultato ottenuto è il seguente:

POTATURA	LB <sub>Stock</sub> a 20 anni [tCO <sub>2</sub> /ha]
Fusetto	49,17

Tab 36: Stock di carbonio all'ettaro nella biomassa viva simulando la crescita dell'albero fino a 30 anni.

Il calcolo effettuato per la valutazione dello stock di Carbonio Organico del Suolo (SOC) si basa sulle formule e sulla metodologia del Task 3.1. Il valore di SOC [gC/kg] è stato ottenuto dalla "Carta del contenuto percentuale di carbonio organico nei suoli della pianura emiliano-romagnola" (Geoportale della Regione Emilia-Romagna, 2023). È il risultato di un'elaborazione che, partendo da valori puntuali

di carbonio organico, tiene conto della distribuzione dei suoli dovuta ai diversi usi del suolo che caratterizzano ogni territorio comunale. La base cartografica di riferimento è la “Carta dei Suoli di Pianura 1:50.000” edizione 2014, prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. La collezione di valori SOC ottenuta da una elaborazione GIS è stata mediata per ottenere un unico valore rappresentativo da impiegare nella formula di Ungaro & Calzolari (2015) per la valutazione del SOC<sub>Stock</sub>. Una procedura simile è stata utilizzata per ottenere i valori medi della tessitura del suolo. I dati forniti dal Geo-Portale della Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna, 2023) contenuti nella “Carta della tessitura del suolo” sono stati elaborati per ottenere i valori in percentuale di sabbia, limo e argilla presenti nei suoli agricoli (in particolare nei frutteti) dei comuni di pertinenza. Quindi, facendo la media di questi valori, la tessitura del suolo risultante è stata data da:

SABBIA [%]	LIMO [%]	ARGILLA [%]
21,66	34,59	43,73

Tab 37: Tessitura media dei suoli agricoli. Fonte: Geoportale Regione Emilia-Romagna

Applicando la relazione fornita da Ungaro & Calzolari (2015) per calcolare il SOC<sub>Stock</sub> è possibile ottenere il C<sub>stock</sub>. Quindi, le tonnellate di CO<sub>2</sub> per ettaro possono essere facilmente ottenute moltiplicando il SOC<sub>stock</sub> per 44/12 (Toensmaier, 2016). I risultati complessivi di questo calcolo sono:

PARAMETRO	VALORE	FONTE
SOC [gC/kg]	1,16	CNR
BD [g/cm <sup>3</sup> ]	1,61	Hollis et al. 2011
H [m]	0,30	CNR
f <sub>coarse</sub> [-]	1	Luo et al. 2014
SOC <sub>Stock</sub> [tC/ha]	56,15	Ungaro & Calzolari (2015)
CO <sub>2</sub> Stock [tC/ha]	205,88	-

Tab 38: parametri e risultati del calcolo per SOC stock

Le perdite di carbonio nel suolo possono essere calcolate tramite l'equazione RUSLE modificata. Qui di seguito sono riportati i valori per l'Italia calcolati nello studio di Panagos et al. (2015):

	MEDIA COMPLESSIVA DI E	E PER SUOLI ARABILI	% DI PERDITA DI SUOLO EUROPEA
Italia	8,46	8,38	24,13

Tab 39: Perdite di suolo per erosione in Italia. Fonte: Panagos et al. 2015

Vengono utilizzati i seguenti valori per la conversione da suolo a SOC:

$$SOM = 3,9\% \cdot soil \text{ (Magdoff \& van Es, 2021)}$$

$$\text{SOC} = 58\% \cdot \text{SOM} \quad (\text{Xiang et al. 2022, Hübner et al. 2021, Mann 1986})$$

Di conseguenza è possibile ottenere i seguenti risultati:

Media annuale di perdita di suolo E (suoli arabili) [t ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Perdita annuale media di SOM [t ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Perdita annuale media di SOC [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
8,38	0,33	0,19

Tab 40: Perdite da erosione medie annuali in termini di suolo, SOM e SOC

Nel complesso, è possibile utilizzare la formula generale riportata nel paragrafo 3.2 del report realizzato da UniGe per calcolare lo stock di CO<sub>2</sub> complessivo nel pereto per lo scenario di baseline, che tiene in considerazione la biomassa viva, il carbonio organico contenuto nel suolo e le perdite di C dovute all'erosione del suolo.

Cstock [tC/ha]	CO2Stock [tCO2/ha]	Età del campo [anni]
69,56	255,05	20

Tab 41: SOC stock nel frutteto a 20 anni

### 2.7.1.2 Calcolo del sequestro di carbonio

#### COVER CROPS

Per valutare il sequestro di carbonio effettuato con l'uso annuale di colture di copertura per la gestione del frutteto, sono stati presi come riferimento i valori del contenuto di C di diversi mix di leguminose e graminacee. Si è poi considerato che solo il 20% circa del C organico in ingresso al sistema suolo viene assimilato e trasformato in SOC stabile che va ad incrementare lo stock (Bhattacharyya et al., 2009). I risultati ottenuti per ogni mix di colture di copertura di graminacee e leguminose sono stati poi mediati per ottenere un valore complessivo di 0,62 tC ha<sup>-1</sup> anno, come mostrato di seguito.

CONTENUTO DI C [t/ha]	AUMENTO DI STOCK DI C ANNUALE [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	SEQUESTRO ANNUALE DI CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
3,096	0,62	2,27

Tab 42: Risultati sullo stock di C e CO<sub>2</sub> annuale applicando i cover crops

Nel caso dei cover crops è fondamentale considerare anche la diminuzione di erosione del suolo che viene garantita dalla copertura del suolo aggiuntiva apportata appunto da tali colture, apportando pertanto un ulteriore incremento allo stock di SOC.

Perdita annuale di C da erosione del suolo [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Diminuzione di erosione percentuale da cover crops [%]	Perdita annual media di SOC con cover crops [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Aumento di SOC Stock dovuto all'uso di cover crops (erosione evitata) [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
0,19	64,97	0,12	0,07



Aumento di SOC stock dovuto all'uso di cover crops [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Aumento di SOC Stock dovuto all'uso di cover crops (erosione evitata) [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Aumento TOTALE di SOC Stock dovuto all'uso di cover crops [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Sequestro annuale di CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
0,62	0,07	0,69	2,53

Tab 43 & 44: Risultati nel sequestro di carbonio tenendo conto della diminuzione dell'erosione del suolo con l'uso di colture di copertura

### INERBIMENTO PERMANENTE

Per contabilizzare il sequestro di carbonio fornito da questa tecnica è stato necessario basarsi su dati raccolti da fonti di letteratura (Freibauer et al., 2004; Lal et al., 2007; ISMEA, 2018; Tiefenbacher et al., 2021), da cui emerge un valore medio intorno a 0,38 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>, corrispondente, tramite la consueta conversione moltiplicata per 44/12, a 1,38 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>.

Come già visto per le colture di copertura, anche la copertura erbosa permanente è in grado di proteggere il suolo dall'erosione e dal deflusso superficiale dell'acqua. Per questo motivo, anche per la pratica dell'inerbimento permanente, è stato eseguito il calcolo come nella sezione precedente. I risultati sono qui di seguito presentati.

Aumento annuale nello stock di SOC da inerimento permanente [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Aumento annuale nello stock di SOC da diminuzione dell'erosione [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	Aumento TOTALE del SOC stock da inerimento permanente [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	TOTALE della CO <sub>2</sub> sequestrata annualmente [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
0,38	0,07	0,45	1,63

Tab 45: Risultati per il sequestro annuale da inerimento permanente tenendo conto della diminuzione di erosione del suolo.

È importante ricordare che questa tecnica non può essere applicata in nessun frutteto in cui è coltivata la varietà Abate Fétel (30% della produzione complessiva), mentre è applicabile senza limitazioni alle altre varietà (Williams, Kaiser, Decana, ecc.).

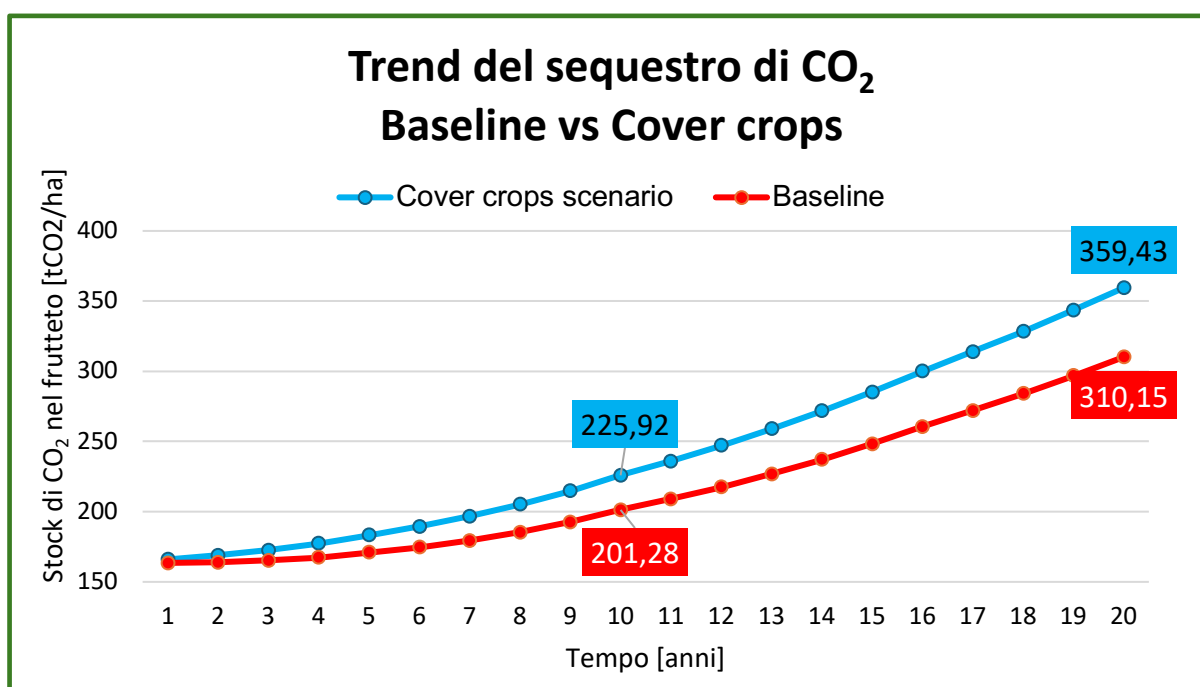
### REINTRODUZIONE IN CAMPO DEI RESIDUI DI POTATURA

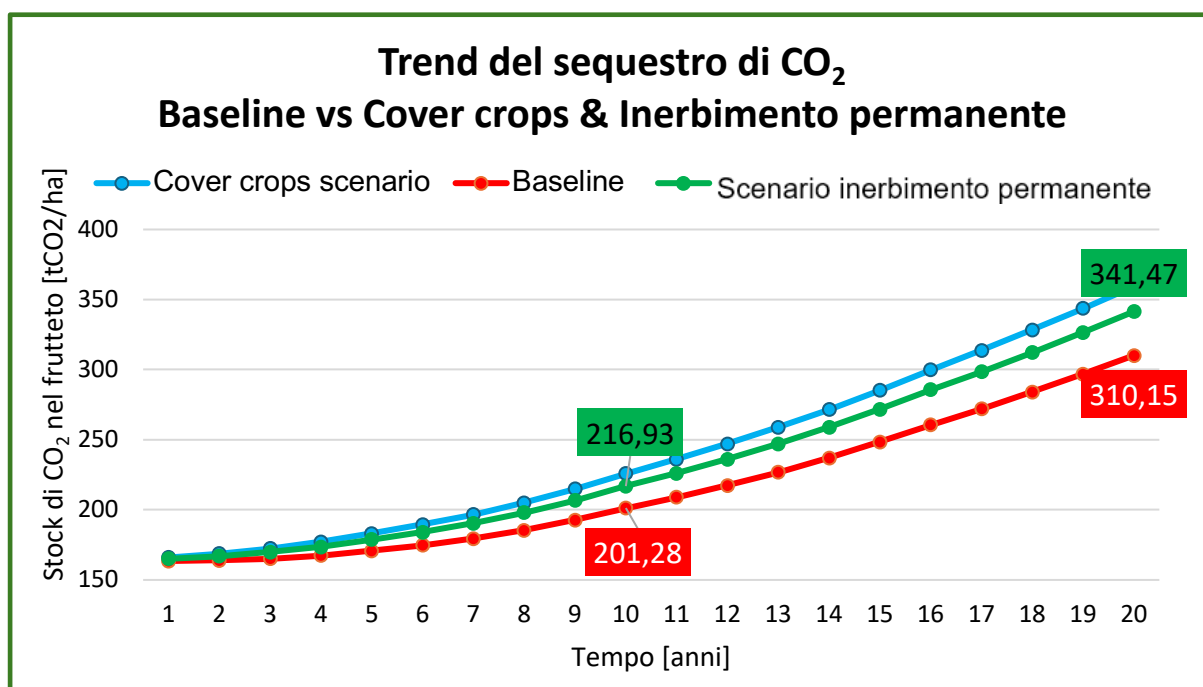
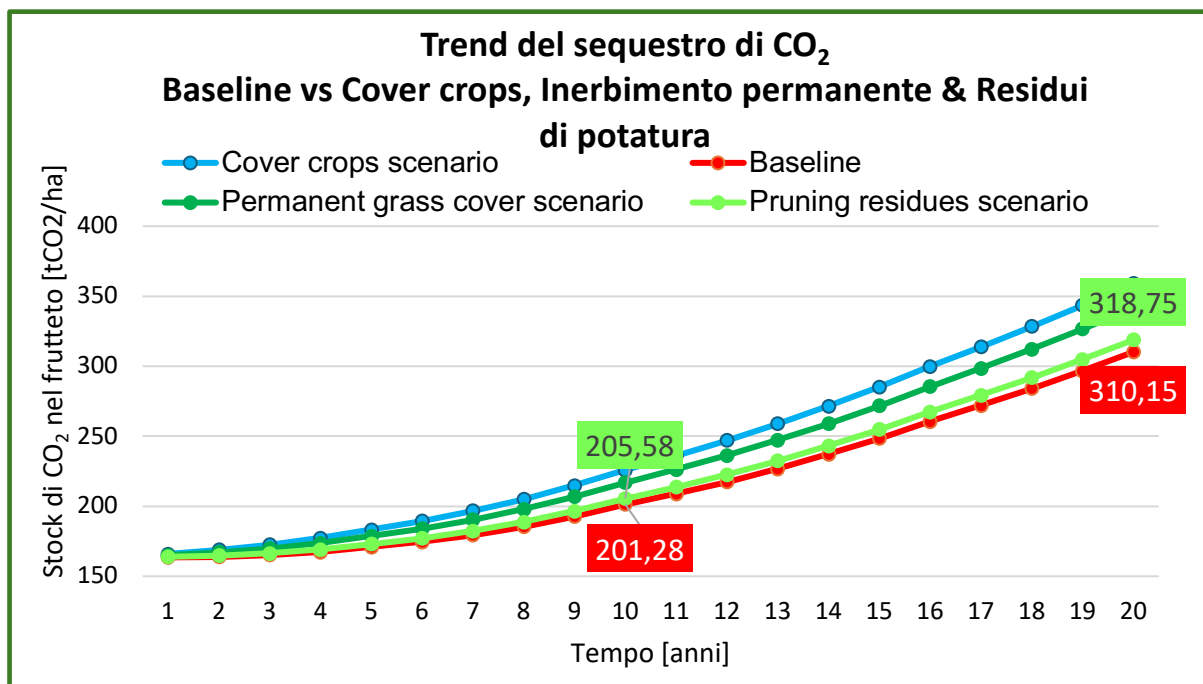
È possibile effettuare una stima diretta dell'aumento dello stock di SOC grazie ai dati forniti da Conserve Italia che valuta la quantità di legno fresco potato tagliato nei frutteti dei propri agricoltori intorno alle 2,5 t/ha. Il valore del legno fresco può essere convertito in legno essiccato tenendo conto che il peso del legno essiccato in forno corrisponde a circa il 50% del peso fresco (questa percentuale può variare di qualche punto a seconda delle caratteristiche della pianta e delle condizioni climatiche) (UNECE, 2009). Al peso del legno essiccato in forno si può quindi applicare il fattore di conversione CF=0,47 (IPCC, 2006) che permette di ottenere il contenuto di carbonio. Conoscendo il valore di carbonio [t/ha] lasciato sul terreno ogni anno dopo la potatura, è possibile ottenere l'incremento annuale dello stock di SOC applicando la relazione riportata da Bhattacharyya et al. (2009) che stima che circa il 20% del C organico in ingresso al suolo viene assimilato e trasformato in SOC stabile. I risultati sono riportati sinteticamente nella tabella seguente:

Residui annuali medi di legno fresco [t ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	2,5
Peso essiccato dei residui legnosi annuali [t ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	1,25
Contenuto di C annual nei residui legnosi [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	0,59
Incremento annual nello stock di SOC [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	0,12
Sequestro annuale potenziale di CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	0,43

Tab 46: Calcoli e risultati per il sequestro di anidride carbonica potenziale da reintroduzione dei residui colturali in campo

Di seguito i grafici che riportano il confronto tra le performance di queste tre tecniche applicate al frutteto, sommandole alla baseline di progetto.





### LETAME UTILIZZATO COME FERTILIZZANTE ORGANICO

Per questo scenario, i fertilizzanti inorganici come il nitrato di ammonio, l'urea e i fertilizzanti fosfatici sono stati eliminati dagli input colturali e al loro posto è stato aggiunto del letame in quantità tali da soddisfare il fabbisogno di nutrienti NPK per la coltivazione del pero.

Per quanto riguarda il potenziale di sequestro di carbonio del letame come fertilizzante organico, in letteratura sono presenti molti risultati diversi, con valori piuttosto distanti tra loro, che vanno da 0,29 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> riportati da Tiefenbacher et al. (2021) al massimo di 0,95 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> proposto da Freibauer et al. (2004). Il valore medio complessivo delle quantità trovate in letteratura è di 0,53 tC ha<sup>-1</sup> anno.

Fonte	INCREMENTO ANNUALE NELLO STOCK DI SOC DA LETAME [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	SEQUESTRO ANNUALE DI CO <sub>2</sub> DA LETAME [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
Freibauer et al., 2004	0,95	1,28
Lal et al., 2007	0,35	3,01
Conant et al., 2017	0,82	3,48
Tiefenbacher et al., 2021	0,41	1,50
Jat et al., 2022	0,33	1,21
<b>Media</b>	<b>0,57</b>	<b>2,10</b>

Tab 47: Valori di letteratura per il sequestro potenziale annuale di carbonio da applicazione di letame nel frutteto

Viene pertanto utilizzato per la stima preliminare del potenziale sequestro di anidride carbonica da applicazione del solo letame come fertilizzante organico, il valore di media ottenuto dall'analisi della bibliografia di settore.

SEQUESTRO ANNUALE DI CO <sub>2</sub> DA LETAME [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
2,10

Tab 48: Sequestro di carbonio totale nello scenario con applicazione di letame come fertilizzante organico

### COMPOST UTILIZZATO COME FERTILIZZANTE ORGANICO

Per questo scenario, i fertilizzanti inorganici come il nitrato di ammonio, l'urea e i fertilizzanti fosfatici sono stati eliminati dagli input colturali e al loro posto è stato aggiunto del compost in quantità tali da soddisfare il fabbisogno di nutrienti NPK per la coltivazione del pero.

Per valutare le prestazioni del compost in termini di sequestro di carbonio è stata effettuata una ricerca nella letteratura di settore, ottenendo ancora una volta risultati piuttosto disparati, anche se con una variabilità inferiore rispetto al letame. I valori ottenuti vanno da 0,4 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> in Freibauer et al. (2004) a 0,82 tC ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> in Conant et al. (2017).

FONTE	AUMENTO DELLO STOCK DI SOC ANNUALE DA COMPOST [tC ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	SEQUESTRO POTENZIALE ANNUALE DI CO <sub>2</sub> DA COMPOST [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
Freibauer et al., 2004	0,40	1,47
Conant et al., 2017	0,82	3,01
Tiefenbacher et al., 2021	0,71	2,62
<b>Media</b>	<b>0,64</b>	<b>2,36</b>

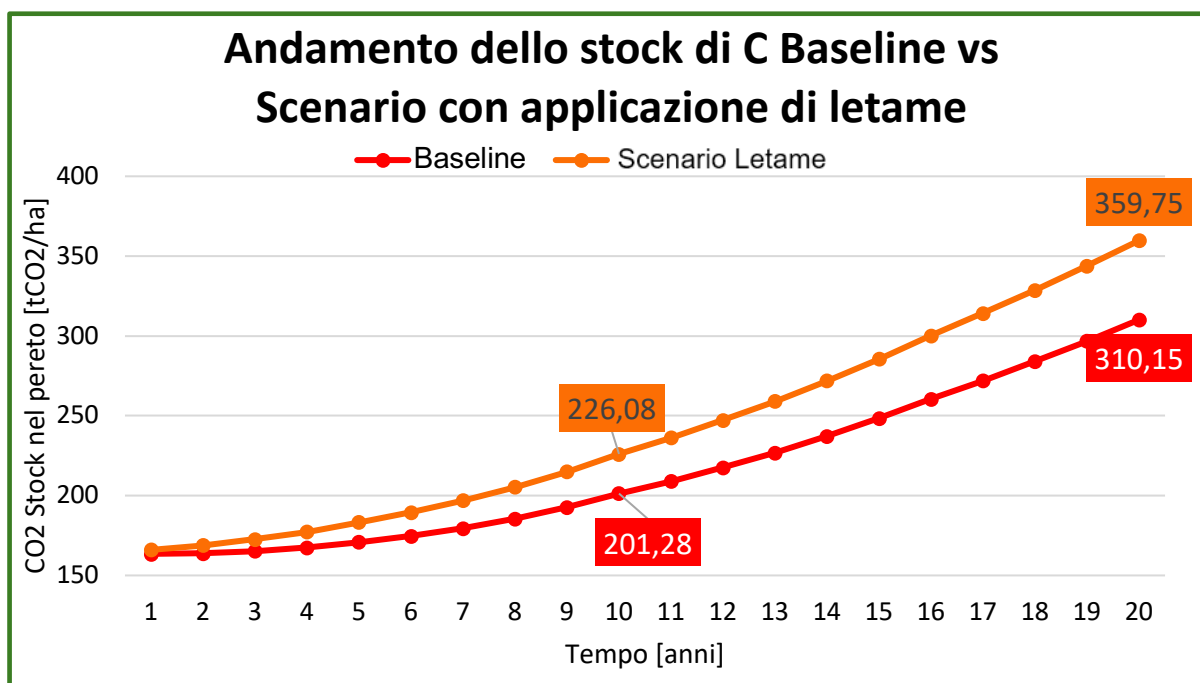
Tab 49: Valori di letteratura ottenuti per il sequestro annuale di carbonio da applicazione di compost

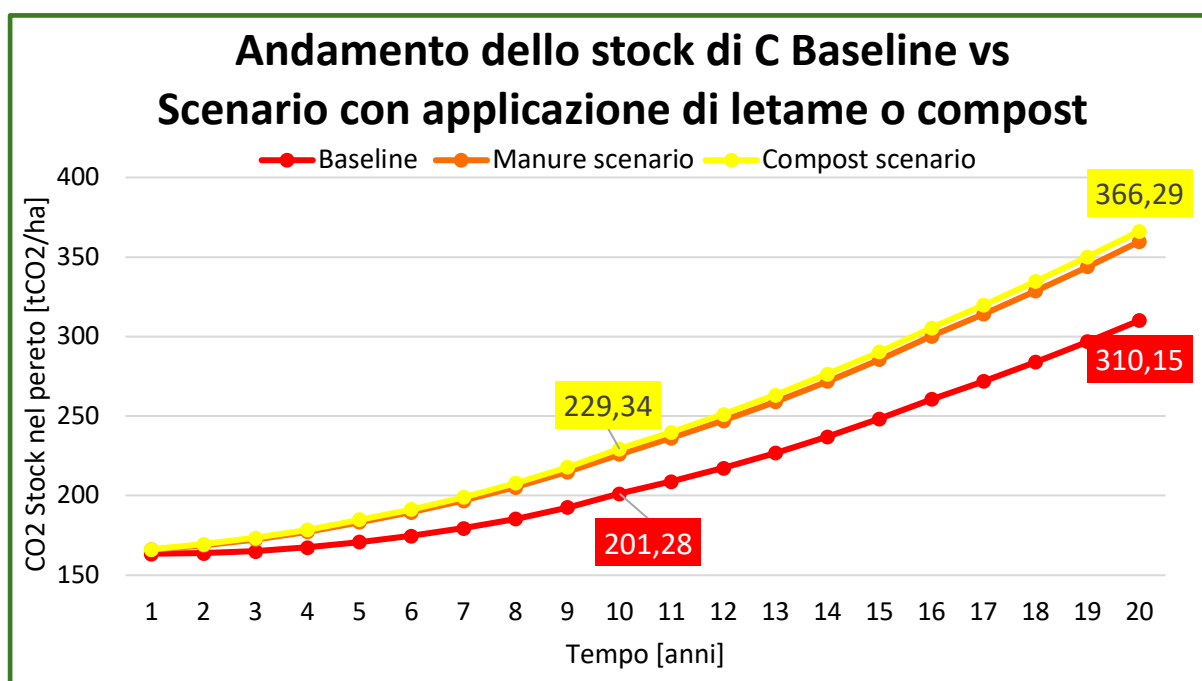
Viene pertanto utilizzato per la stima preliminare del potenziale sequestro di anidride carbonica da applicazione di compost come fertilizzante organico, il valore di media ottenuto dall'analisi della bibliografia di settore.

SEQUESTRO ANNUALE DI CO <sub>2</sub> DA COMPOST [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
2,36

Tab 50: Sequestro di carbonio totale nello scenario con applicazione di compost come fertilizzante organico

Di seguito i grafici che riportano il confronto tra le performance di queste tre tecniche applicate al frutteto, sommandole alla baseline di progetto.





#### APPLICAZIONE DEL BUFFER CAUTELATIVO ALLA STIMA DI SEQUESTRO

Nel report metodologico sviluppato dall'Università di Genova (Unige), è stato sinteticamente esaminato l'aspetto precauzionale riguardante potenziali errori nella valutazione del sequestro di carbonio derivante dalle pratiche di carbon farming applicate alla coltivazione della pera. A tal fine, è stato introdotto un buffer di sicurezza del 20% sui valori precedentemente calcolati, basato su un'analisi del rischio che fornisce un valore risultante considerato standard per progetti agricoli simili a quello oggetto dello studio.

Di conseguenza, presentiamo di seguito in una tabella riassuntiva i valori annuali di sequestro di anidride carbonica ai quali è stato sottratto il suddetto buffer. Questi valori rappresentano quindi le stime finali proposte per questa metodologia.

TECNICA DI CARBON FARMING	SEQUESTRO POTENZIALE DI CO <sub>2</sub> SENZA BUFFER [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]	SEQUESTRO POTENZIALE DI CO <sub>2</sub> CON APPLICAZIONE DI BUFFER [tCO <sub>2</sub> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> ]
COVER CROPS	2,53	2,02
INERBIMENTO PERMANENTE	1,63	1,50
RESIDUI DI POTATURA	0,43	0,34
LETAME	2,10	1,68
COMPOST	2,36	1,89

Tab 51: Sequestro di carbonio per gli scenari di carbon farming considerando un buffer cautelativo standard del 20%.

## 2.8 Stima dei crediti di carbonio generabili dal progetto

### 2.8.1 Modello preliminare

#### MAIS

Per la stima degli assorbimenti di progetto e di conseguenza per la stima delle unità generate, è stata considerata la combinazione delle seguenti tecniche di carbon farming: lavorazione meccanica del terreno ridotta, cover crops e utilizzo di fertilizzante organico.

Periodo di Vintage	Stima di assorbimenti baseline (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di assorbimenti progetto (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di unità generate (tCO <sub>2</sub> –eq)
Anno 1 - 10	3,63	5,10	1,47

Tab 52: Stima delle unità generate per il mais secondo metodologia semplificata in un periodo di crediting di 10 anni

#### POMODORO

Per la stima degli assorbimenti di progetto e di conseguenza per la stima delle unità generate, è stata considerata la combinazione delle seguenti tecniche di carbon farming: lavorazione meccanica del terreno ridotta, cover crops e utilizzo di fertilizzante organico.

Periodo di Vintage	Stima di assorbimenti baseline (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di assorbimenti progetto (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di unità generate (tCO <sub>2</sub> –eq)
Anno 1 - 10	0,95	1,75	0,80

Tab 53: Stima delle unità generate per il pomodoro secondo metodologia semplificata in un periodo di crediting di 10 anni

#### PERO

Nella seguente tabella i valori della stima di assorbimento per la baseline è ipotizzata per un pereto con alberi maturi, dove all'anno 1 corrisponde un albero di 10 anni di età. Per quanto riguarda le pratiche di carbon farming è stata ipotizzata la combinazione delle seguenti tecniche: inerbimento permanente, uso di letame come fertilizzante organico, reintroduzione del legname di potatura.

Periodo di Vintage	Stima di assorbimenti baseline (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di assorbimenti progetto (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di unità generate (tCO <sub>2</sub> –eq)
Anno 1	192,51	196,03	3,52
Anno 2	199,71	203,23	3,52
Anno 3	207,58	211,10	3,52
Anno 4	216,16	219,68	3,52
Anno 5	225,46	228,98	3,52
Anno 6	235,51	239,03	3,52
Anno 7	244,98	248,50	3,52
Anno 8	254,96	258,48	3,52
Anno 9	265,44	268,96	3,52
Anno 10	276,43	279,95	3,52

Tab 54: Stima delle unità generate per il pomodoro secondo metodologia semplificata in un periodo di crediting di 10 anni

## 2.8.2 Modello RothC

### MAIS

Per la stima degli assorbimenti di progetto e di conseguenza per la stima delle unità generate, è stata considerata la combinazione delle seguenti tecniche di carbon farming: lavorazione meccanica del terreno ridotta, cover crops e utilizzo di fertilizzante organico.

Periodo di Vintage	Stima di assorbimenti progetto (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di unità generate (tCO <sub>2</sub> –eq)
Anno 1	1,03	1,03
Anno 2	1,43	1,43
Anno 3	1,67	1,67
Anno 4	2,13	2,13
Anno 5	2,47	2,47
Anno 6	2,78	2,78
Anno 7	3,15	3,15
Anno 8	3,52	3,52
Anno 9	3,88	3,88
Anno 10	4,24	4,24

Tab 55: Stima delle unità generate per il mais secondo RothC in un periodo di crediting di 10 anni

### POMODORO

Per la stima degli assorbimenti di progetto e di conseguenza per la stima delle unità generate, è stata considerata la combinazione delle seguenti tecniche di carbon farming: lavorazione meccanica del terreno ridotta, cover crops e utilizzo di fertilizzante organico.


Periodo di Vintage	Stima di assorbimenti progetto (tCO <sub>2</sub> –eq)	Stima di unità generate (tCO <sub>2</sub> –eq)
Anno 1	0,95	0,95
Anno 2	1,41	1,41
Anno 3	1,98	1,98
Anno 4	2,47	2,47
Anno 5	2,82	2,82
Anno 6	3,18	3,18
Anno 7	3,50	3,50
Anno 8	3,87	3,87
Anno 9	4,27	4,27
Anno 10	4,65	4,65

Tab 56: Stima delle unità generate per il pomodoro secondo RothC in un periodo di 10 anni



### 3 Stakeholders Engagement

Si riportano nel seguito i dettagli delle iniziative di divulgazione del progetto.

Descrizione dell'attività	Documentazione
<p>Giornata divulgativa delle attività in campo. Lunedì 15 Aprile 2024 a Conselice (RA)</p>	 <p>The poster features the logos for 'Conserve Italia' and 'NOI siamo FILIERA' at the top. The main title 'CARBON CONTROL' is prominently displayed in large, bold, green letters, with a '2' as a subscript under the 'O'. Below the title, the text reads: 'Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio'. The central graphic is a green globe with a white footprint overlaid on it, and the letters 'CO2' are written in large green font at the bottom right of the globe. The event details are listed in bold black text: 'LUNEDÌ 15 APRILE 2024   ORE 11 Agriturismo Massari via Coronella 110, Conselice (RA)'. At the bottom, there is a small 'Carbon Control' logo, a paragraph of text stating the project is financed by the PSR Emilia Romagna 2014-2020, and logos for the 'Programma di Sviluppo Rurale dell'Emilia-Romagna 2014-2020', the 'Unione Europea' (European Union), and the 'Regione Emilia-Romagna'.</p>

	<div data-bbox="619 295 1177 376"> <h2>CARBON CONTROL</h2> <p>Giornata divulgativa delle attività in campo</p> </div> <div data-bbox="1198 271 1362 412"> </div> <div data-bbox="619 400 766 430"> <h3>OBIETTIVI</h3> </div> <div data-bbox="587 436 1329 770"> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>1 Definire una metodologia di monitoraggio, comunicazione e verifica</b> dell'assorbimento di carbonio delle colture analizzate e fornire uno strumento che consenta di generare crediti di carbonio.</li> <li><b>2 Effettuare il calcolo di un indicatore che consideri i diversi aspetti dell'impronta della fase agricola</b> quantificando le emissioni di gas serra, valutate lungo il ciclo di vita, e gli assorbimenti di carbonio delle colture, definendo le emissioni nette a livello di prodotto al fine di valutare il "CarbonFootprint Saving".</li> <li><b>3 Comunicare i risultati</b>, all'interno delle EPD (Environmental Product Declaration) relative a prodotti specifici.</li> </ol> </div> <div data-bbox="619 804 850 835"> <h3>INTERVENGONO</h3> </div> <div data-bbox="619 840 1251 1173"> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Dott. Pietro Crudele</b>, responsabile del progetto (Ufficio Ambiente e Certificazioni di Conserve Italia);</li> <li>✓ <b>Prof.ssa Ing. Adriana Del Borghi</b>, UNIGE - TETIS, Prorettrice alla Sostenibilità dell'Università di Genova e CEO di TETIS Institute S.r.l;</li> <li>✓ <b>Dott.ssa Livia Paleari</b>, UNIMI, Ricercatore presso il Dipartimento di Scienze a Politiche Ambientali - Università degli Studi di Milano</li> <li>✓ <b>Dott.ssa Daniela Famulari</b>, CNR - IBE, Fisico Ambientale - Ricercatore presso Istituto di Bioeconomia Consiglio Nazionale delle ricerche</li> </ul> </div> <div data-bbox="619 1187 813 1218"> <h3>PROGRAMMA</h3> </div> <div data-bbox="619 1223 1126 1254"> <p><b>ore 10.30</b> Arrivo e registrazione dei partecipanti</p> </div> <div data-bbox="619 1256 896 1288"> <p><b>ore 11</b> Apertura dei lavori:</p> </div> <div data-bbox="619 1285 1299 1491"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduzione a cura di Pietro Crudele</li> <li>• UNIGE -TETIS: Carbon Farming, strumento di decarbonizzazione ed opportunità per il settore agricolo</li> <li>• UNIMI: Pratiche gestionali alternative per migliorare lo stoccaggio di Carbonio nei suoli agrari</li> <li>• IBE-CNR: Misure di scambi di Carbonio e Azoto tra la coltura agraria e l'ambiente: strumentazione in campo e risultati</li> </ul> </div> <div data-bbox="619 1494 1313 1554"> <p><b>ore 13</b> Chiusura lavori e rinfresco offerto da Conserve Italia presso l'azienda agricola Massari, Via Coronella, 110, Conselice (RA)</p> </div> <div data-bbox="619 1594 1313 1680"> </div>
Presentazione del progetto nello stand Conserve Italia a Cibus 2024 (Parma)	<a href="https://youtu.be/M0vnpYTvnQM?si=a2-0Kb-3xaZi0hLL">https://youtu.be/M0vnpYTvnQM?si=a2-0Kb-3xaZi0hLL</a>



Tab 57: Stakeholders engagement aggiornato a fine maggio 2024

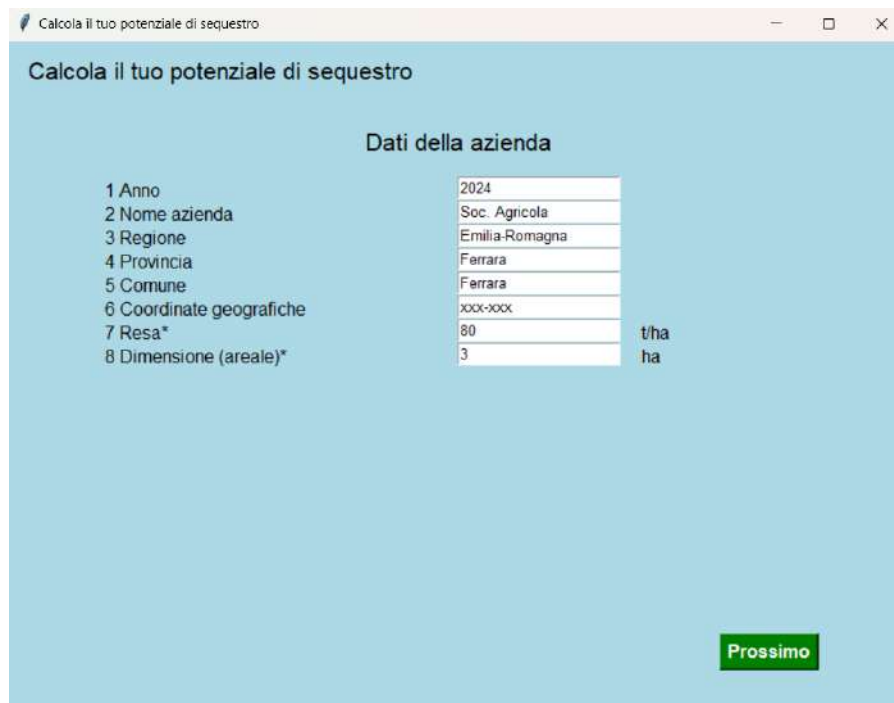
#### 4 Tabella riassuntiva dei risultati

COLTURA	MODELLO PRELIMINARE		MODELLO RothC	
POMODORO	Fonte dei dati: Letteratura		Fonte dei dati: CNR	
	Approccio: Solo incrementale		Approccio: totale	
	Risultati	<b>Stima assorbimenti baseline: 0,95 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>	Risultati	<b>Stima assorbimenti baseline: 0,95 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>
		<b>Stima assorbimenti progetto: 1,75 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		<b>Stima assorbimenti progetto: 3,75 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>
<b>Stima unità generate: 0,80 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		<b>Stima unità generate: 2,80 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		
MAIS	Fonte dei dati: Letteratura		Fonte dei dati: letteratura fornita da CNR	
	Approccio: Solo incrementale		Approccio: totale	
	Risultati	<b>Stima assorbimenti baseline: 3,63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>	Risultati	<b>Stima assorbimenti baseline 3,63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>
		<b>Stima assorbimenti progetto: 5,10 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		<b>Stima assorbimenti progetto: 6,26 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>
<b>Stima unità generate: 1,47 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		<b>Stima unità generate: 2,63 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		
PERO	Fonte dei dati: Letteratura (PEFC, IPCC) e adattamento metodologia forestale		Non applicato	
	Approccio: totale, ipotizzando età del frutteto 20 anni			
	Risultati	<b>Stima assorbimenti baseline: 255,05 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup></b>		
		<b>Stima assorbimenti di progetto: 279,95 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>		
<b>Stima unità generate: 3,52 tCO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup></b>				

Tab 58: Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dall'applicazione dei modelli alle colture selezionate

## 5 Modello preliminare (tool)

A titolo esemplificativo si riportano le schermate del tool relativo al pomodoro.



Calcola il tuo potenziale di sequestro

Dati della azienda

1 Anno	2024
2 Nome azienda	Soc. Agricola
3 Regione	Emilia-Romagna
4 Provincia	Ferrara
5 Comune	Ferrara
6 Coordinate geografiche	xxx-xxx
7 Resa*	80 t/ha
8 Dimensione (areale)*	3 ha

Prossimo

Calcolo dal sequestro potenziale

### Calcolo dal sequestro potenziale

SITUAZIONE ATTUALE

Lavorazione del terreno: Lavorazione meccanica convenzionale

Uso di fertilizzante Organico: Nessun uso di fertilizzante organico

Uso di colture di copertura: No colture di copertura

SITUAZIONE DOPO AVER APPLICATO LE TECNICHE DI CARBON FARMING

Lavorazione del terreno: Lavorazione meccanica ridotta

Uso di fertilizzante Organico: Uso di fertilizzante organico

Uso di colture di copertura: Colture di copertura

Informazioni

**Calcola**



## 6 Bibliografia

- Abatzoglou, J.T., Dobrowski, S.Z., Parks, S.A., Hegewisch, K.C., 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Sci Data* 5, 170191. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.191>
- Adam B, Abdulai A. Minimum tillage as climate-smart agriculture practice and its impact on food and nutrition security. *PLoS One*. 2023 Dec 22;18(12):e0287441. doi: 10.1371/journal.pone.0287441. PMID: 38134208; PMCID: PMC10745223.
- Bhattacharyya R., Prakash V., Kundu S., Pandey S. C., Srivastva A. K, Gupta H. S., 2009: Effect of fertilisation on carbon sequestration in soybean–wheat rotation under two contrasting soils and management practices in the Indian Himalayas. *Australian Journal of Soil Research*, 2009, 47, 592–601.
- Bilas, G., Karapetsas, N., Gobin, A., Mesdanitis, K., Toth, G., Hermann, T., Wang, Y., Luo, L., Koutsos, T.M., Moshou, D., Alexandridis, T.K., 2022. Land Suitability Analysis as a Tool for Evaluating Soil-Improving Cropping Systems. *Land* 11. <https://doi.org/10.3390/LAND11122200>
- Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118, 29–42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>
- Commission, E., Action, D.-G. for C., Radley, G., Keenleyside, C., Frelüh-Larsen, A., McDonald, H., Pyndt Andersen, S., Qvist-Hoffmann, H., Strange Olesen, A., Bowyer, C., Russi, D., 2021. Setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU – Technical guidance handbook. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/doi/10.2834/056153>
- Conant R. T., Cerri C. E. P., Osborne B. B., Paustian K., 2017: Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis *Ecological Applications*, 27(2), 2017, pp. 662–668. Ecological Society of America.
- EPD, 2020: Product Category Rules (PCR) – Arable and vegetable crops. Product category classification: UN CPC 011, 012, 014, 017, 0191. PCR 2020:07. Version 1.0.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Corsi S, Muminjanov H., 2019: Conservation Agriculture - Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia. ISBN 978-92-5-131456-2
- Freibauer A., Rounsevell M.D.A., Smith P., Verhagend J., 2004: Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe. *Geoderma* 122 (2004) 1 –23. doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.021.
- Ghanem, M. E., Martínez-Andújar, C., Albacete, A., Pospíšilová, H., Dodd, I. C., Pérez-Alfocea, F., & Lutts, S. (2011). Nitrogen form alters hormonal balance in salt-treated tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Plant Growth Regulation*, 30, 144-157.
- Gucci R., Caruso G., Sifola M.I., Pellegrini S., Pagliai M., Gnozzi N., 2011: Gestione sostenibile di oliveti intensivi con l'inerbimento permanente. *Economia e tecnica - Frutticoltura* - n. 12 – 201.
- Haruna S. I., Anderson S. H., Udawatta R. P., Gantzer C. J., Phillips N. C., Cui S., Gao Y., 2020: Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosyst Geosci Environ*. 2020. <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>.
- Ho, L.C., 1984. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. *Plant Growth Regul* 2, 277–285. <https://doi.org/10.1007/BF00027287>
- Hollis J. M., J. Hannam, Bellamy P. H., 2011: Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils. *European Journal of Soil Science*, 2011. doi: 10.1111/j.1365-2389.2011.01412.x

- Hübner R., Kühnel A., Lu J., Dettmann H., Wang W., Wiesmeier M., 2021: Soil carbon sequestration by agroforestry systems in China: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 315 (2021) 107437
- IPCC, Aalde H., Gonzalez P., Gytarsky M., Krug T., Kurz W. A., Lasco R. D., Martino D. L., McConkey B. G., Ogle S., Paustian K., Raison J., Ravindranath N.H., Schoene D., Smith P., Somogyi Z., van Amstel A., Verchot I., 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- ISMEA, Ronga M., Chiriaco M. V., Pellis G., Perugini L., Valentini R., 2018: Metodologia per l'attuazione di meccanismi volontari di riduzione e compensazione delle emissioni a livello di distretto zootecnico. Rete rurale nazionale 2014-2020, Piano di azione biennale 2017-18. Scheda progetto ISMEA 14.1 Cambiamenti climatici, emissioni.
- Jat M. L., Chakraborty D., Ladha J. K., Parihar C. M., Biswapati Mandal A. D., Nayak H. S., Maity P., Rana D. S., Chaudhari S. K., Gerard B., 2022: Carbon sequestration potential, challenges, and strategies towards climate action in smallholder agricultural systems of South Asia. *Crop and Environment* 1 (2022) 86–101. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.005>
- Jordon, M.W., Smith, P., 2022. Modelling soil carbon stocks following reduced tillage intensity: A framework to estimate decomposition rate constant modifiers for RothC-26.3, demonstrated in north-west Europe. *Soil and Tillage Research* 222, 105428. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105428>
- Kimura, S.D., Mishima, S.-I., Yagi, K., 2011. Carbon resources of residue and manure in Japanese farmland soils. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89, 291–302. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9394-0>
- Lal, R., Follett, F., Stewart, B.A., Kimble, J.M., 2007: Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil Sci.* 172, 943–956
- Liu R., Thomas B. W., Shi X., Zhang X., Wang Z., Zhang Y., 2021: Effects of ground cover management on improving water and soil conservation in tree crop systems: A meta-analysis. *Catena* 199 (2021) 105085.
- Luo Y., Zhao X., Andrén O., 2014: Soil organic carbon in relation to cultivation in arable and greenhouse cropping systems in Lanzhou, NW China, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 64:3, 203-210, DOI: 10.1080/09064710.2014.901407
- Magdoff F., van Es H., 2021: Building Soils for Better Crops – Ecological management for healthy soils (Fourth edition): Ch 3. Amount of Organic Matter in Soils. Sustainable Agriculture Research and Education (SARE). ISBN 9781888626193
- Mann L. K., 1986: Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Sci.* 142, 279–288. <https://doi.org/10.1097/00010694-198611000-00006>.
- Nakamura, S., Hayashi, K., Omae, H., Ramadjita, T., Dougbedji, F., Shinjo, H., Saidou, A.K., Tobita, S., 2011. Validation of soil organic carbon dynamics model in the semi-arid tropics in Niger, West Africa. *Nutr Cycl Agroecosyst* 89, 375–385. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9402-4>
- Pausic A., Tojnko S., Lesnik M., 2021: Permanent, undisturbed, in-row living mulch: A realistic option to replace glyphosate-dominated chemical weed control in intensive pear orchards. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 318 (2021) 107502.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G.P., Smith, P., 2016. Climate smart soils. *Nature* 532, 49–57.
- Pergola M., Persiani A., Palesea A. M., Di Meoc V., Pastore V., D'Adamo C., Celano G., 2018: Composting: The way for a sustainable agriculture. *Applied Soil Ecology* 123 (2018) 744–750
- Poeplau C., Don A., 2015: Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 200 (2015) 33–41.



Poggio, L., De Sousa, L.M., Batjes, N.H., Heuvelink, G.B.M., Kempen, B., Ribeiro, E., Rossiter, D., 2021. SoilGrids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *SOIL* 7, 217–240. <https://doi.org/10.5194/SOIL-7-217-2021>

Popp, M., Nalley, L., Fortin, C., Smith, A., Brye, K., 2011. Estimating Net Carbon Emissions and Agricultural Response to Potential Carbon Offset Policies. *Agronomy Journal* 103, 1132–1143. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0517>

Regione Emilia – Romagna, 2023: Geoportale. Available online at: <https://geoportale.regione.emilia-romagna.it/>

Seitz, D., Fischer, L.M., Dechow, R., Wiesmeier, M., Don, A., 2023. The potential of cover crops to increase soil organic carbon storage in German croplands. *Plant Soil* 488, 157–173. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05438-w>

Shishido, Y., Kumakura, H., & Nishizawa, T. (1999). Carbon balance of a whole tomato plant and the contribution of source leaves to sink growth using the CO<sub>2</sub> steady-state feeding method. *Physiologia plantarum*, 106(4), 402-408.

Soil Service of Belgium, Ghent University, 2006. Develop an expert system for advising carbon management in agricultural soils. (Originally published in Dutch: Ontwikkelen van een expertsysteem voor het adviseren van het koolstofbeheer in de landbouwbodems).

Tiefenbacher A., Sandén T., Haslmayr H. P., Miloczki J., Wenzel W., Spiegel H., 2021: Optimizing Carbon Sequestration in Croplands: A Synthesis. *Agronomy* 2021, 11, 882. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050882>.

Toensmeier E., 2016: The carbon farming solution: A global toolkit of perennial crops and regenerative agriculture practices for climate change mitigation and food security. Chelsea Green Publishing. ISBN 9781603585729

UNECE, JSFQ, 2009: Forest Product Conversion factors: Project overview and status.

Ungaro F., Calzolari C., 2015: Carta del contenuto percentuale e dello stock di carbonio delle frazioni granulometriche e della salinità dei suoli della pianura emiliano-romagnola (0-30 cm). *Rapp. 2.1 Ott.* 2015

Yokozawa, M., Shirato, Y., Sakamoto, T., Yonemura, S., Nakai, M., Ohkura, T., 2010. Use of the RothC model to estimate the carbon sequestration potential of organic matter application in Japanese arable soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 56, 168–176. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00422.x>

# PROGETTO CONTROL CARBON

“Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio”

FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE

## RAPPORTO AD INTERIM PER IL PERIODO GENNAIO 2023 - DICEMBRE 2023

AUTORI CNR-IBE: FAMULARI DANIELA, NARDINO MARIANNA, CHIECO CAMILLA, FIORINI LORENZO,  
BONIELLO FRANCESCO MARIA, MARI MATTEO, CAROTENUTO FEDERICO.

## Contents

“Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio” .....	1
FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE .....	1
1. Obiettivi all’interno del progetto.....	2
2. Risultati .....	2
2.1 Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy-covariance (Task 2.2) .....	2
2.2 Misurazione dei flussi di azoto nel suolo tramite camerette (Task 2.3).....	6
3. Progressi rispetto agli obiettivi.....	9
4. Output pubblicazioni e divulgazione .....	10
5. Prossimi step.....	11

## 1. Obiettivi all'interno del progetto

Il contributo CNR-IBE ha l'obiettivo di quantificare il carbonio assorbito dalla coltura durante un'intera stagione di crescita, al fine di valutare il suo potenziale effetto in termini di "mitigazione" del cambiamento climatico. Rispetto al cronoprogramma del progetto riportato sotto, si colloca all'interno della Azione 2, rispettivamente nei Task 2.2 e 2.3.

### CRONOPROGRAMMA

		2022	2022-23	2023	2023	2023	2023-24	2024
		28/09 28/12	29/12 28/03	29/03 28/06	29/06 28/09	29/09 28/12	29/12 28/03	29/03 28/06
<b>Azione</b>	<b>DESCRIZIONE ATTIVITÀ</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>	<b>IV</b>	<b>I</b>	<b>II</b>	<b>III</b>
Cooperazione	Coordinamento, gestione, monitoraggio del progetto	X	X	X	X	X	X	X
Azione 1	Task 1.1 Analisi contesto e pratiche colturali - UNIMI	X	X					
	Task 1.2 Studio di fattibilità UNIGE	X	X					
Azione 2	Task 2.1 Calcolo fissazione simulata UNIMI		X	X	X	X	X	X
	Task 2.2: Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy-covariance CNR - IBE		X	X	X	X	X	X
	Task 2.3: Misurazione dei flussi di carbonio e di azoto nel suolo tramite camere CNR - IBE		X	X	X	X	X	X
Azione 3	Task 3.1 Definizione della metodologia UNIGE				X	X	X	X
	Task 3.2 Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera) TETIS					X	X	X
	Task 3.3 Calcolo emissioni nette a livello di prodotto TETIS					X	X	X
Divulgazione	Diffusione dei risultati ed informazione agli stakeholders		X				X	X

## 2. Risultati

### 2.1 Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy-covariance (Task 2.2)

#### 2.1.1 Ecosistema pereto

Nel primo trimestre si è approntata la stazione di eddy covariance sul campo (Figura 1). Abbiamo identificato, in accordo con Conserve Italia, l'azienda agricola Massari di Conselice (RA) come ospite della torre di misura. La stazione è stata installata su un **pereto** con estensione maggiore di 6 ettari, con un

impianto di circa 20 anni di età. Il **22/03/2023** sono iniziate le misure di flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O con la tecnica di eddy covariance.



*Figura 1. A sinistra: Montaggio della torre eddy covariance (22/3/2023) sul pereto a Conselice: vegetazione all'inizio della gemmatura. A destra: torre di misura operativa sul pereto in fase di fioritura (3/4/2023).*

Con le stesse tempistiche si è installata operativa una stazione per il rilevamento continuo, su base medioraria, del bilancio energetico dell'ecosistema pero con sensori di temperatura e umidità del suolo, flussi di calore dal suolo, radiazione solare. Tutti i dati meteorologici e del suolo vengono misurati a cadenza semioraria, e registrati su un datalogger CR1000X Campbell. I dati per l'eddy covariance, misurati dall'anemometro ultrasonico e dal LICOR-7500 rilevano dati ad una frequenza di 10Hz di concentrazioni di CO<sub>2</sub>, vapor acqueo, e delle componenti del vettore vento: anche questi dati vengono raccolti sullo stesso datalogger CR1000X. I flussi vengono calcolati a posteriori su una base medioraria, per restituire una misura diretta degli scambi tra l'ecosistema pereto e l'atmosfera in continuo. La misura su un anno completo con questa strumentazione consentirà di calcolare un bilancio completo dell'ecosistema pereto attraverso le stagioni diverse e le differenti condizioni meteo.

Gli eventi iniziati il 3/5/2023 in Emilia Romagna hanno pesantemente inciso sul monitoraggio pianificato. Dal 3/5/2023 infatti l'acquisizione dati è stata interrotta per alluvione: mancanza di corrente elettrica, rottura del Campbell Logger CR1000X, dell'alimentatore e di due batterie di accumulo per il funzionamento

della stazione. Nella seconda metà di giugno è stato possibile raggiungere di nuovo il sito a Conselice, ed abbiamo approntato le sostituzioni, modifiche ed i ricambi richiesti per il funzionamento delle misure; il 19/6/2023 abbiamo ripreso a misurare, e le misure sono tuttora in corso. Poichè il periodo perso, dal 3/5/2023 al 19/6/2023, copre una fase cruciale della crescita annuale dell'ecosistema pereto, non sarà possibile restituire un anno continuo di misure per valutare il bilancio del carbonio, anche e soprattutto considerando la perturbazione apportata al sistema dalle condizioni alluvionate. E' stato quindi proposto che la fine delle misure sia posticipata, dal 30/3/2024 al 30/6/2024, nel tentativo di fornire 12 mesi di monitoraggio continui, che possano rappresentare tutto il ciclo vegetativo delle piante.

### 2.1.2 Ecosistema pomodoro

Per l'ecosistema-**pomodoro**, lo stesso gruppo di ricerca ha effettuato le misure durante il periodo vegetativo del 2022 (maggio-settembre) su un appezzamento di 1,5 ha coltivato a pomodoro da industria (cv. UG11239F1) all'interno del sito Acqua Campus, polo di ricerca del Canale Emiliano Romagnolo (CER) in provincia di Bologna, IT (Mezzolara di Budrio). Gli scambi tra l'atmosfera e l'agroecosistema sono qui riportati in termini di scambi ecosistemici netti (NEE) tra l'atmosfera e l'agroecosistema e il flusso di evapotraspirazione, con il calcolo dei coefficienti colturali (Kc).



Figura 2. Sinistra: estensione dei campi agricoli sul sito di ACQUA CAMPUS, a Budrio; il poligono arancione indica i campi di pomodoro in esame, e la croce in rosso la posizione della torre eddy covariance. Destra: l'area colorata compresa nelle linee rosse indica il footprint delle misure di flusso.

In Figura 2 è illustrata l'area che più probabilmente contribuisce al flusso totale (*footprint*): i dati raccolti ricadono all'interno della superficie delle colture nelle tre parcelle considerate. Questa analisi permette di concludere che i dati di flusso siano affidabilmente rappresentativi del campo di pomodoro in esame.

I flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O durante la stagione vegetativa (maggio-settembre 2022) sono riportati nella Figura 3, con gli eventi del periodo di semina e di raccolta: il flusso di carbonio mostra un chiaro aumento (in negativo) durante il periodo di crescita della vegetazione (assorbimento di CO<sub>2</sub>) e diventa positivo (emissione di CO<sub>2</sub>) dopo la raccolta (24 agosto). Anche il flusso di evapotraspirazione si intensifica durante il periodo vegetativo, mostrando l'evaporazione delle piante che si aggiunge alla traspirazione del suolo.

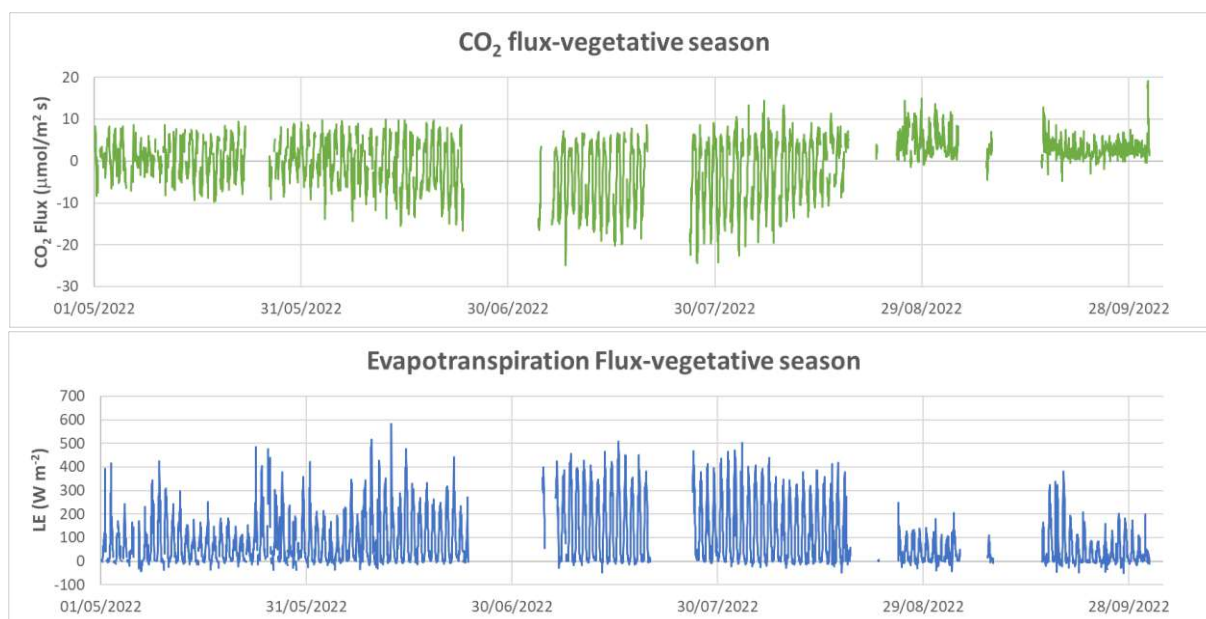


Figura 3. Flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O dal pomodoro durante il periodo vegetativo (maggio-settembre 2022).

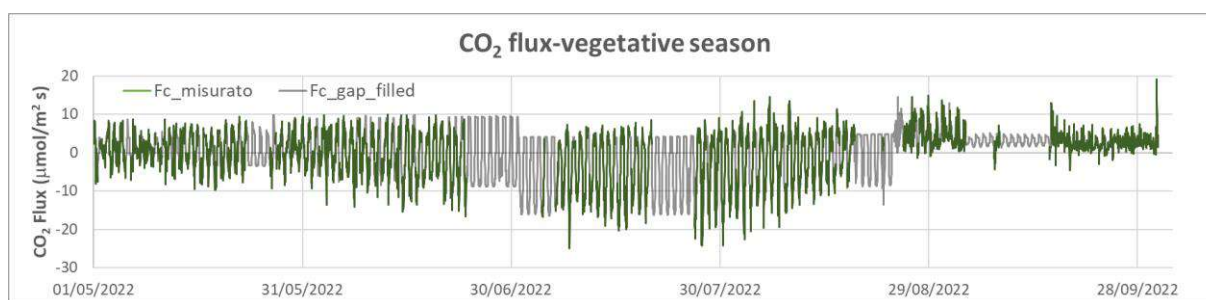


Figura 4. Flusso di CO<sub>2</sub> misurato (verde) e valori ricostruiti con gap-filling (grigio) durante il periodo vegetativo (maggio-settembre 2022).

In Figura 4 è mostrata la serie temporale dei flussi di CO<sub>2</sub> dopo l'applicazione del *gap-filling*, una procedura che permette di ricostruire e riempire le lacune nei flussi di CO<sub>2</sub> misurati partendo dai valori esistenti di flusso, combinati con una serie di variabili ambientali misurate dalla stazione sperimentale. Da questa serie completa (Figura 4) sono stati calcolati: NEE (Net Ecosystem Exchange), ER (Ecosystem Respiration) e GPP (Gross Primary Production). Poiché la coltura di pomodoro è stata piantata a fine maggio, il valore di NEE per questo mese risulta positivo, ovvero emissione di CO<sub>2</sub> in atmosfera da parte dell'ecosistema. Giugno e luglio sono invece i mesi in cui si verifica il maggior assorbimento di CO<sub>2</sub>, grazie all'attività fotosintetica, con un valore massimo di assorbimento di 5090 kg CO<sub>2</sub>/ha mese (Figura 5).

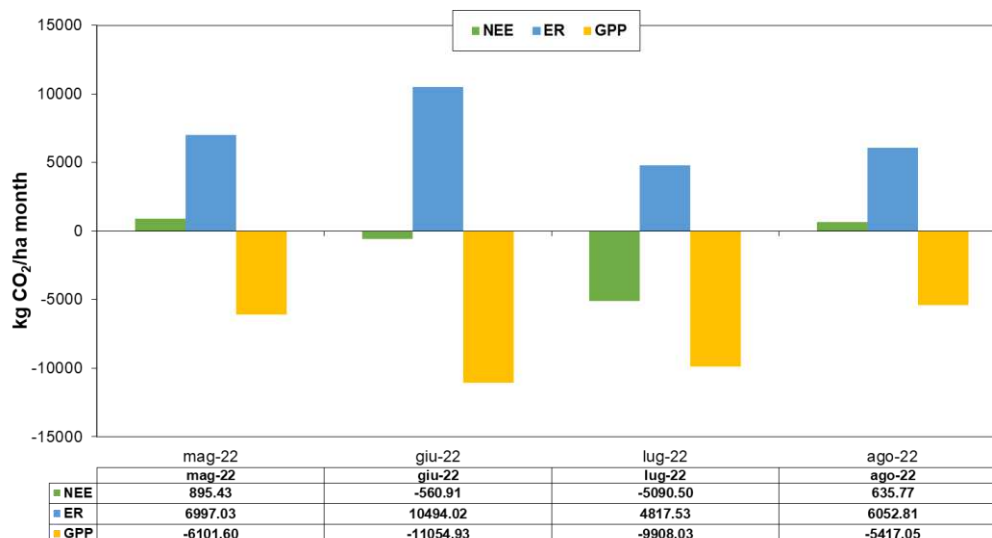


Figura 5. NEE (Net Ecosystem Exchange), ER e GPP mensili durante tutto il periodo vegetativo. I valori indicati in tabella sono valori cumulativi mensili.

Anche la respirazione dell'ecosistema è cambiata durante questi mesi a causa delle diverse temperature del suolo e delle diverse coperture vegetali. Lo scambio ecosistemico NEE della coltura del pomodoro durante questo ciclo colturale (23 maggio-24 agosto) risulta pari a 6 t CO<sub>2</sub>/ha ciclo colturale, valore paragonabile a quello riportato da Ramirez et al. (2011) per la coltura della soia.

## 2.2 Misurazione dei flussi di azoto nel suolo tramite camerette (Task 2.3)

### 2.2.1 Ecosistema pereto

Le misure sullo stesso ecosistema-**pereto** (dove è stata installata la torre eddy covariance) sono iniziate il **22/03/2023** per i flussi di N<sub>2</sub>O dal suolo con la tecnica della cameretta dinamica (la stessa utilizzata al pereto di Conselice). Le misure puntuali di concentrazione e flusso di N<sub>2</sub>O sono affiancate da misure di temperatura del suolo (Soil T), umidità del suolo (WFPS) da una Stevens HydraProbe, connessa alla cameretta dinamica.



Figure 6. Foto aerea del sito del pereto a Conselice, con il posizionamento dei 10 collari per la misura dei flussi di  $N_2O$  dal suolo (sinistra). Apparato di misura (da destra, la camera dinamica e il collare inserito nel suolo).

Per ogni campionamento sono stati presi 10 punti sparsi sul frutteto (come in Figura 6), e le misure sono state fatte a cadenza settimanale /bisettimanale a seconda degli eventi di fertirrigazione. Per quanto riguarda la misura del flusso di  $CO_2$  dal suolo, la frequenza di misura è molto minore, data la scarsa variabilità del valore. La singola misura di flusso comprende T del suolo, umidità del suolo e flusso di  $N_2O/CO_2$ . Tutte le misure sono proseguite fino al 3 maggio, dove hanno subito un'interruzione dovuta all'alluvione in Emilia Romagna, e le attività sono riprese il 19 giugno 2023, quando l'accesso stradale lo ha consentito. Le misure sono tuttora in corso.

### 2.2.2 Ecosistema pomodoro

Per l'ecosistema-**pomodoro**, un dataset sui flussi di  $N_2O$  acquisito dallo stesso gruppo di ricerca nella stagione 2023 è stato acquisito nel secondo e terzo trimestre 2023, ed analizzato nell'ultimo trimestre 2023.

Le misure in campo sono partite il 17/3/2023 e si sono concluse il 26/9/2023. Questo intervallo temporale ha permesso di monitorare le fase di coltivazione, dal terreno a riposo per stabilire le emissioni di fondo, subito dopo l'aratura del suolo, e dopo la prima fertilizzazione di copertura con cadenza intensiva (più volte a settimana), con cadenza regolare settimanale lungo tutta la stagione di crescita, settimanale o bisettimanale a seconda degli eventi meteorologici. Il campo preso in esame è trattato con irrigazione a goccia, per consistenza con il campo misurato la stagione precedente per i flussi di carbonio. 5 collari sono stati disposti in maniera da coprire il più possibile le disuniformità del suolo, per essere più realisticamente rappresentativi del campo. La disuniformità delle emissioni di  $N_2O$  è infatti strettamente legata alle condizioni disomogenee di suolo, come si può vedere dalla Figura 7, in cui i flussi di emissioni, a parità di condizioni del campo, si differenziano di un fattore 2.



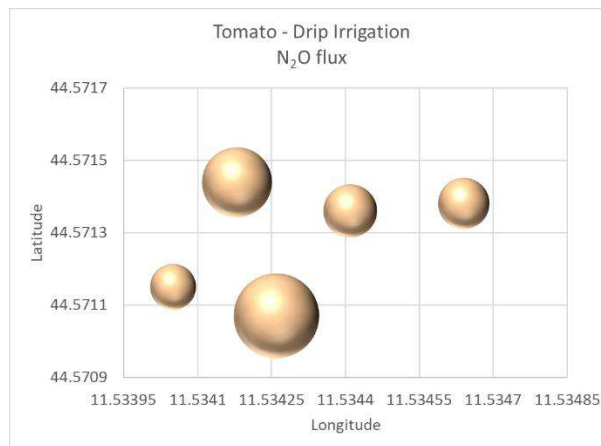


Figura 7. Flussi di  $N_2O$  misurati il 30/3/2023.

In Figura 8 sono riassunte tutte le misure operate da ciascun collare piazzato sul campo in esame. Ad ogni linea corrisponde un collare: ogni collare è rimasto per tutto il periodo in considerazione nello stesso punto, per permettere di monitorare la variabilità temporale delle emissioni da ogni punto in esame.

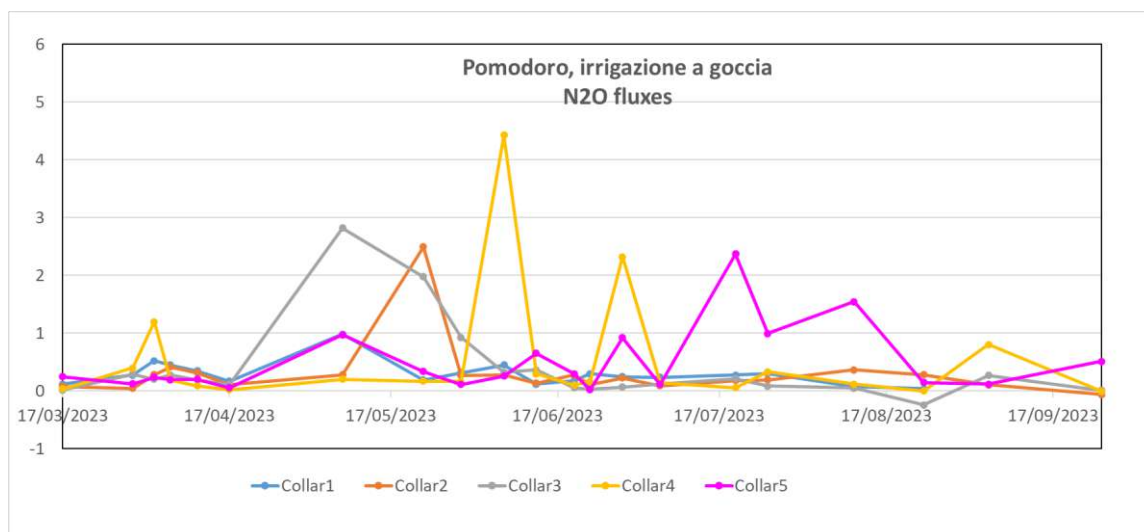


Figura 8. Flussi di  $N_2O$  ( $nmol / m^2s$ ) misurati durante tutto il periodo vegetativo 2023 da ogni collare disposto sul campo.

In Figura 9 è mostrato l'andamento temporale delle emissioni di  $N_2O$  dal campo, considerando le statistiche principali operate su tutte le camere assieme. Si può notare che l'evento alluvionale che ha colpito l'Emilia Romagna (dal 3/5/2023) sia visibile anche da questo dataset, ma sul campo in esame non si è verificato allagamento per tempi protratti, quindi l'azione dell'evento è riconducibile all'apporto notevole di acqua, con l'aggiunta potenziale di altre sostanze disciolte che hanno raggiunto il campo. Queste non sono quantificabili, tuttavia abbiamo ritenuto più opportuno scartare quella porzione di dati strettamente relativi a quell'evento, per cercare di mantenere una rappresentatività più legata alla gestione agronomica del campo.

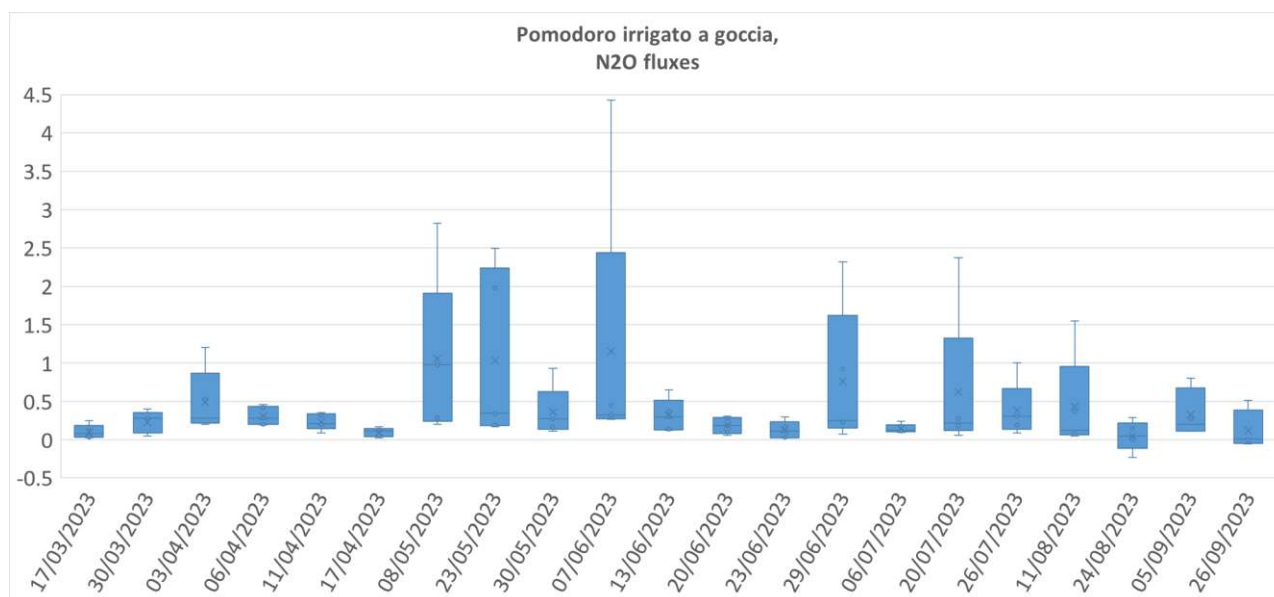


Figura 9. Box-plot dei flussi di N<sub>2</sub>O (nmol / m<sup>2</sup>s) misurati durante tutto il periodo vegetativo 2023, considerando tutti i collari disposti sul campo.

Dopo il raccolto, avvenuto alla fine di agosto, si possono notare degli altri flussi di emissione di N<sub>2</sub>O dal campo, dovuti all'interramento dei residui del raccolto.

Calcolando i flussi cumulativi su tutto il periodo -inclusa l'alluvione- il fattore di emissione che ritroviamo dalle misure dell'intero periodo che va dal pre-trattamento del campo prima della piantagione, a dopo il raccolto, ci risulta un valore EF = 0.99%. Considerando lo stesso arco temporale, ma togliendo il periodo 3-30/5/2023, EF calcolato risulta di 0.79%. Infine, considerando il periodo senza-alluvione, e senza il post-raccolto risulta EF = 0.66%.

### 3. Progressi rispetto agli obiettivi

Obiettivo		Scadenza		
Numero	Titolo		Completo	Nei tempi
1	Installazione della strumentazione in campo per le misure eddy covariance di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b> .	28/3/2023	Sì	Sì
2	Inizio delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dallo stesso campo sperimentale ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b>	28/3/2023	Sì	Sì
3	Inizio delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo	28/6/2023	Sì	Sì

	sperimentale -ecosistema <b>pomodoro a Budrio (Bo)</b>			
4	Analisi delle misure in eddy covariance per CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O sull'ecosistema <b>pomodoro</b> .	28/6/2023	Sì	Sì
5	Conclusione delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale - <b>ecosistema pomodoro</b> a Budrio (Bo)	28/9/2023	Sì	Sì
6	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale - <b>ecosistema pomodoro</b> a Budrio (Bo)	28/12/2023	Sì	Sì
7	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal <b>ecosistema mais</b> da letteratura	28/12/2023	Sì	Sì
8	Analisi delle misure delle emissioni di CO <sub>2</sub> dal <b>ecosistema mais</b> da letteratura	28/12/2023	Sì	Sì
9	Condivisione dei dati <b>ecosistema mais</b> tramite tabelle a UniMi e Tetis	28/12/2023	Sì	Sì

## 4. Output pubblicazioni e divulgazione

Inoltre, per la parte di divulgazione del progetto, di seguito sono elencate le iniziative di CNR-IBE nella tabella sottostante.

14-16 /6/2023	XXV CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, Matera –“L'agrometeorologia per la gestione delle risorse e delle limitazioni ambientali in agricoltura”  Contributo di M. Nardino (CNR-IBE) con presentazione orale alla conferenza: Nardino M., Anconelli S., Chieco C., Famulari D., Gentile S.L., Mari M., Solimando D.- Scambi di flussi di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro.
3/7/2023	Riunione tecnica di progetto sull'avanzamento delle misure sperimentali. Ospitata da Conserve Italia, in modalità mista di persona e online. Relazione orale D. Famulari (CNR-IBE) in presenza sulle misure in corso sul sito di Conselice presso l'azienda agricola Massari.

3/8/2023 ( <i>in press</i> )	<p>“Scambi di flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro” – “CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O exchange fluxes between atmosphere and a tomato crop”.</p> <p>Marianna Nardino, Stefano Anconelli, Federico Carotenuto, Camilla Chieco, Daniela Famulari, Salvatore Luca Gentile, Matteo Mari, Domenico Solimando and Federica Rossi</p> <p>Pubblicazione sulla rivista ISI <i>Italian Journal of Agrometeorology (IJAM)</i>.</p>
9/11/2023	Visita didattica sul campo degli studenti del corso di AGROMETEOROLOGIA ED ECOLOGIA AGRARIA della Facoltà di Agraria dell’Università degli studi di Bologna.
1/12/2023	Riunione tecnica di progetto in modalità online, organizzata da Tetis, sull’avanzamento delle attività. Nel particolare, sulla specificazione delle variabili utili e necessarie alla modellistica.

## 5. Prossimi step

In rosso le nuove scadenze proposte, a sostituire le date contrassegnate con \*.

Obiettivo		Scadenza		
Numero	Titolo		Completo	Nei tempi
1	Condivisione dei dati <b>ecosistema pomodoro</b> tramite tabelle a UniMi e Tetis	28/1/2024		
2	Conclusione delle misure eddy covarianze di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b> .	28/3/2024* 28/6/2024		
3	Conclusione delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dallo stesso campo sperimentale ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b>	28/3/2024* 28/6/2024		
4	Analisi delle misure in eddy covarianze per CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O sull’ecosistema <b>pereto</b> .	28/6/2024* 28/9/2024		
5	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale - <b>ecosistema pereto</b>	28/6/2024* 28/9/2024		
6	Scrittura della relazione finale di progetto.	28/6/2024* 28/9/2024		



**Programma di  
Sviluppo Rurale**  
dell'Emilia-Romagna  
2014-2020



UNIONE EUROPEA  
Fondo Europeo Agricolo  
per lo Sviluppo Rurale



**Regione Emilia-Romagna**

L'Europa investe nelle zone rurali

# PROGETTO CONTROL CARBON

“Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio”

FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE

## RAPPORTO FINALE DI PROGETTO

A CURA DELLA RESPONSABILE DEL CONTRIBUTO CNR-IBE: FAMULARI DANIELA

HANNO COLLABORATO:

PER LA PARTE TECNICA E MISURE IN CAMPO: BONIELLO FRANCESCO MARIA, MARI MATTEO, FIORINI LORENZO,  
CAROTENUTO FEDERICO

PER L'ANALISI DEL SUOLO, ELABORAZIONE DATI E CONCETTUALIZZAZIONE: CHIECO CAMILLA

PER ELABORAZIONE DATI E CONCETTUALIZZAZIONE: NARDINO MARIANNA, ROSSI FEDERICA.

26/6/2024

## Contents

“Contabilizzazione delle emissioni nette delle colture orticole/frutticole per elaborare proposte di metodologie per la generazione di crediti di carbonio” .....	1
FOCUS AREA 3A Operazione 16.2.01 PIANO DI INNOVAZIONE .....	1
1. Obiettivi all’interno del progetto .....	3
2. Risultati .....	3
2.1 Misurazione degli scambi di carbonio (CO <sub>2</sub> ) fra colture ortifrutticole e atmosfera tramite eddy-covariance (Azione 2, Task 2.2).....	3
2.2 Misurazione dei flussi di azoto nel suolo tramite camerette (Azione 2, Task 2.3) .....	7
2.3 Input per modelli.....	12
3. Progressi rispetto agli obiettivi .....	15
4. Output pubblicazioni e divulgazione.....	16

## 1. Obiettivi all'interno del progetto

Il contributo CNR-IBE ha l'obiettivo di quantificare il carbonio assorbito dalla coltura durante un'intera stagione di crescita, al fine di valutare il suo potenziale effetto in termini di "mitigazione" del cambiamento climatico. Rispetto al cronoprogramma del progetto riportato sotto, si colloca all'interno della Azione 2, rispettivamente nei Task 2.2 e 2.3.

### CRONOPROGRAMMA

		2022	2022-23	2023	2023	2023	2023-24	2024
		28/09 28/12	29/12 28/03	29/03 28/06	29/06 28/09	29/09 28/12	29/12 28/03	29/03 28/06
Azione	DESCRIZIONE ATTIVITÀ	I	II	III	IV	I	II	III
Cooperazione	Coordinamento, gestione, monitoraggio del progetto	X	X	X	X	X	X	X
Azione 1	Task 1.1 Analisi contesto e pratiche colturali - UNIMI	X	X					
	Task 1.2 Studio di fattibilità UNIGE	X	X					
Azione 2	Task 2.1 Calcolo fissazione simulata UNIMI		X	X	X	X	X	X
	Task 2.2: Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy-covariance CNR - IBE		X	X	X	X	X	X
	Task 2.3: Misurazione dei flussi di carbonio e di azoto nel suolo tramite camere CNR - IBE		X	X	X	X	X	X
Azione 3	Task 3.1 Definizione della metodologia UNIGE				X	X	X	X
	Task 3.2 Applicazione della metodologia per ciascuna coltura identificata (mais, pomodoro, pera) TETIS					X	X	X
	Task 3.3 Calcolo emissioni nette a livello di prodotto TETIS					X	X	X
Divulgazione	Diffusione dei risultati ed informazione agli stakeholders		X				X	X

## 2. Risultati

### 2.1 Misurazione degli scambi di carbonio (CO<sub>2</sub>) fra colture ortifrutticole e atmosfera tramite eddy-covariance (Azione 2, Task 2.2)

#### 2.1.1 Ecosistemi pomodoro e mais

Per i risultati misurati sull'ecosistema pomodoro si veda la prima relazione di progetto (Allegato 1). Per quanto riguarda i parametri per la coltura del mais, abbiamo fatto una ricerca bibliografica e riassunto i dati per gli input dei modelli, riportati nel §2.3.

## 2.1.2 Ecosistema pereto

Per l'installazione del sito di misura si veda la relazione ad interim di dicembre 2023 (Allegato 1).

Gli eventi iniziati il 3/5/2023 in Emilia Romagna hanno pesantemente inciso sul monitoraggio pianificato, come descritto nella prima relazione (Allegato 1). Dal 3/5/2023 infatti l'acquisizione dati è stata interrotta per alluvione: mancanza di corrente elettrica, rottura del Campbell Logger CR1000X, dell'alimentatore e di due batterie di accumulo per il funzionamento della stazione. Nella seconda metà di giugno è stato possibile raggiungere di nuovo il sito a Conselice, ed abbiamo approntato le sostituzioni, modifiche ed i ricambi richiesti per il funzionamento delle misure; il 19/6/2023 abbiamo ripreso a misurare, e le misure si sono protratte fino a termine progetto. Poichè il periodo perso, dal 3/5/2023 al 19/6/2023, copre una fase cruciale della crescita annuale dell'ecosistema pereto, non sarà possibile restituire un anno continuo di misure per valutare il bilancio del carbonio dalla coltura di pere. Inoltre, la perturbazione apportata al sistema dalle condizioni alluvionate ha comportato la perdita del raccolto, la mancanza di fertilizzazioni ed irrigazioni secondo le pratiche agricole consuete al sito di Conselice, oltre che una perturbazione alla capacità delle piante di fotosintetizzare.



Figura 1. Estensione dei campi agricoli dell'Azienda Massari a Conselice (RA) nell'intorno del campo di pere analizzato. Il poligono rosso indica il pereto in esame, e il pallino in giallo la posizione della torre eddy covariance (da GoogleMaps).

Gli scambi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O durante il periodo monitorato (dal 22/3/2023 al 22/6/2024) sono espressi come dati di flusso.



Data l'impossibilità di stilare un bilancio annuale rappresentativo della gestione agricola della coltura a causa dell'alluvione, abbiamo messo assieme i dati di tutto il periodo per avere un comportamento medio durante questo anno anomalo.

In Figura 2 a sinistra è rappresentato l'andamento giornaliero di un giorno medio (mediato su tutto l'anno solare) dei flussi di calore latente (LE), ovvero lo scambio di evapotraspirazione dell'ecosistema pereto. In Figura 2 a destra è invece riportata l'evapotraspirazione media per ogni mese dell'anno. Dalla figura si vede come l'evapotraspirazione del pereto sia più pronunciata nelle ore centrali della giornata (a sinistra), che segue l'andamento della radiazione solare e della temperatura. Per quanto riguarda i valori medi mensili (figura 2 a destra) si vede come il flusso di evapotraspirazione si intensifica durante il periodo vegetativo, mostrando l'evaporazione delle piante che si aggiunge alla traspirazione del suolo, e va diminuendo in intensità durante primavera e autunno, fino ad arrivare ai più bassi valori in inverno, con assenza di foglie e basse temperature.

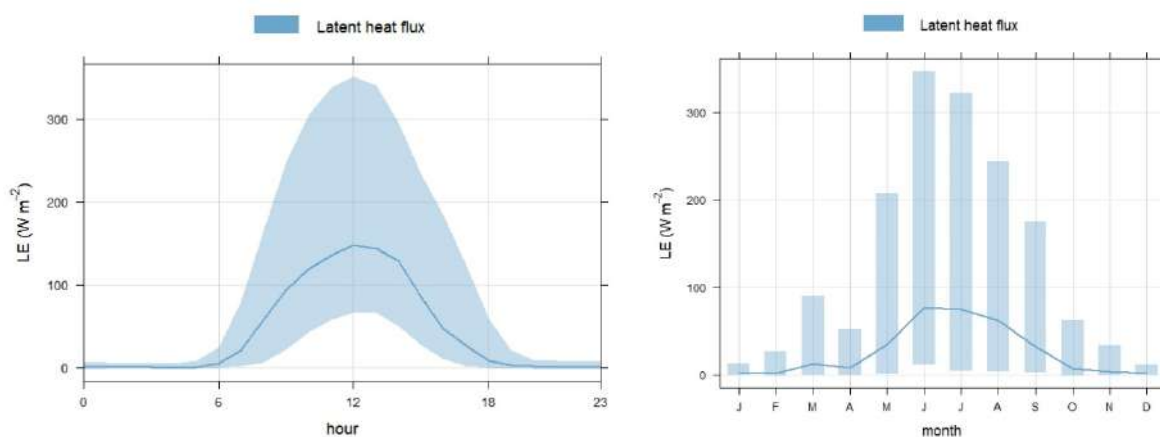


Figura 2. Valori di evapotraspirazione (LE) mediati su tutto il dataset mostrano il ciclo giornaliero medio (linea blu a sinistra): l'area azzurra rappresenta il range di tutti i valori per ogni fascia oraria. A destra, i valori mediati mensili (da gennaio a dicembre su un anno medio) di evapotraspirazione sull'anno solare misurato: le barre azzurre attorno alla linea blu media rappresentano il range dei valori per ogni mese.

In Figura 3 a sinistra è rappresentato l'andamento giornaliero di un giorno medio (mediato su tutto l'anno solare) dei flussi di  $CO_2$  ovvero lo scambio di anidride carbonica tra l'ecosistema pereto e l'atmosfera. Il flusso di carbonio ( $CO_2$ ), in condizioni normali, mostra un chiaro aumento (in negativo) durante il periodo di crescita della vegetazione (assorbimento di  $CO_2$  con la crescita della biomassa) e diventa positivo (emissione di  $CO_2$ ) in concomitanza con lavorazioni del terreno ad esempio, o presenza di suolo nudo, per effetto della respirazione del suolo. In Figura 3 a destra è invece riportato il flusso medio di  $CO_2$  per ogni mese dell'anno misurato nel pereto a Conselice. Si vede che per i mesi estivi non si verifica un netto assorbimento, e questo è dovuto all'impatto dell'alluvione, che ha compromesso la salute delle piante, che hanno prodotto meno biomassa, oltre ad aumentare la respirazione del suolo, che invece che essere una superficie vegetata è stato un manto di fango per la maggior parte del periodo estivo nel 2023. Si nota infatti che nel mese di luglio (misurato nel 2023) il contributo totale è prossimo allo zero, se non positivo, indicando una emissione di  $CO_2$ . Osservando il mese di maggio (misurato invece nel 2024, poichè mancante nella serie 2023 per via dell'alluvione) il valore è nettamente negativo, che indica assorbimento del sistema pereto, per via della produzione di biomassa. Da questi dati è evidente come sia impossibile stilare un bilancio di carbonio per la coltura di pere basandosi su questo anno anomalo.

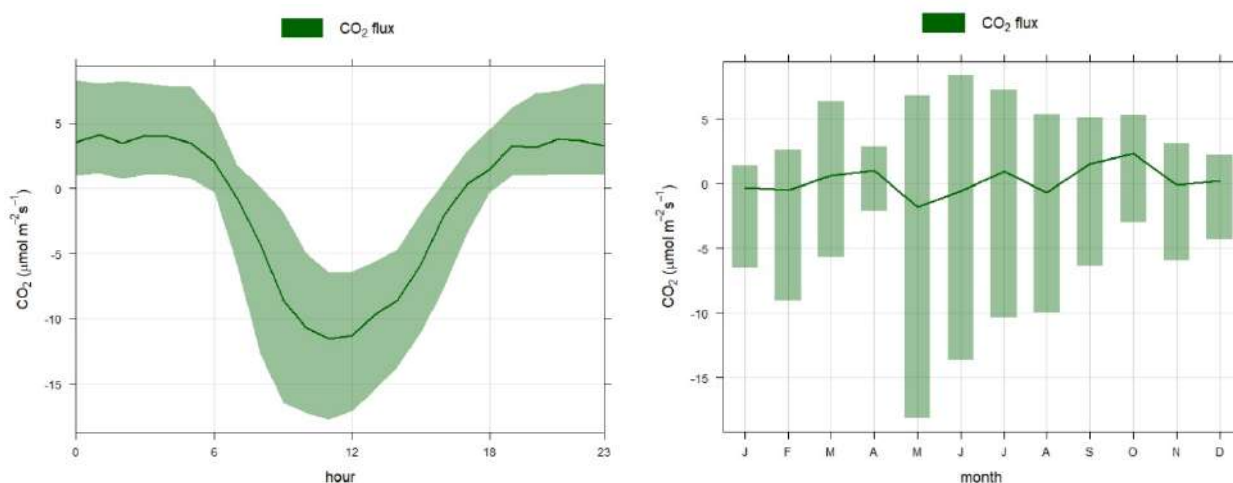


Figura 3. Valori di flusso di CO<sub>2</sub> mediati su tutto il dataset mostrano il ciclo giornaliero medio (linea verde scura a sinistra): l'area verde chiara rappresenta il range di tutti i valori per ogni fascia oraria. A destra, i valori mediati mensili di scambio di CO<sub>2</sub> sull'anno solare misurato: le barre verdi chiare attorno alla linea verde scura media rappresentano il range dei valori per ogni mese.

In Figura 4 è mostrata come esempio la serie temporale nel dettaglio, con i valori di scambio pereto-atmosfera di CO<sub>2</sub> misurati ogni mezzora per il mese di agosto 2023 (linea verde scura) dalla torre *eddy covariance*. La linea verde chiara si riferisce agli stessi flussi di CO<sub>2</sub> dopo l'applicazione del *gap-filling*, una procedura che permette di ricostruire e riempire le lacune nei flussi di CO<sub>2</sub> misurati partendo dai valori esistenti di flusso, combinati con una serie di variabili ambientali misurate dalla stazione sperimentale. Da questa serie completa per tutta la durata di un anno, si può calcolare: NEE (Net Ecosystem Exchange), ER (Ecosystem Respiration) e GPP (Gross Primary Production): procedura seguita per la coltura di pomodoro (vedi Allegato 1). Per le ragioni già discusse sopra e poiché il pereto è stato sommerso a causa dell'alluvione dall'inizio di maggio alla seconda metà di giugno, per questo periodo non è possibile stimare l'emissione o l'assorbimento di CO<sub>2</sub> in atmosfera da parte dell'ecosistema. Maggio, giugno e luglio sono i mesi in cui si verifica il maggior assorbimento di CO<sub>2</sub>, grazie all'attività fotosintetica, e costituiscono un periodo cruciale per la valutazione del bilancio del C di un ecosistema.

Anche la respirazione dell'ecosistema è cambiata durante questi mesi a causa delle diverse temperature del suolo e delle diverse coperture vegetali. Lo scambio ecosistemico NEE della coltura del pereto durante l'anno 2023 è del tutto anomalo, e non rappresentativo della coltura in esame. Anzitutto, per la mancanza di un periodo cruciale (maggio-giugno) per la crescita della pianta e la conseguente attività fotosintetica. Inoltre, la presenza prolungata di acqua sul pereto, e l'apporto fangoso dall'alluvione, hanno provocato un considerevole cambiamento della superficie sotto gli alberi, che normalmente sarebbe ricoperta di vegetazione annuale erbosa, mentre durante questa stagione estiva è risultata per lo più un tappeto fangoso. Il susseguirsi delle lavorazioni del terreno per incamerare la fanghiglia accumulata sulla superficie del terreno hanno permesso il ripristino del manto erboso, ma solo nei mesi autunnali.

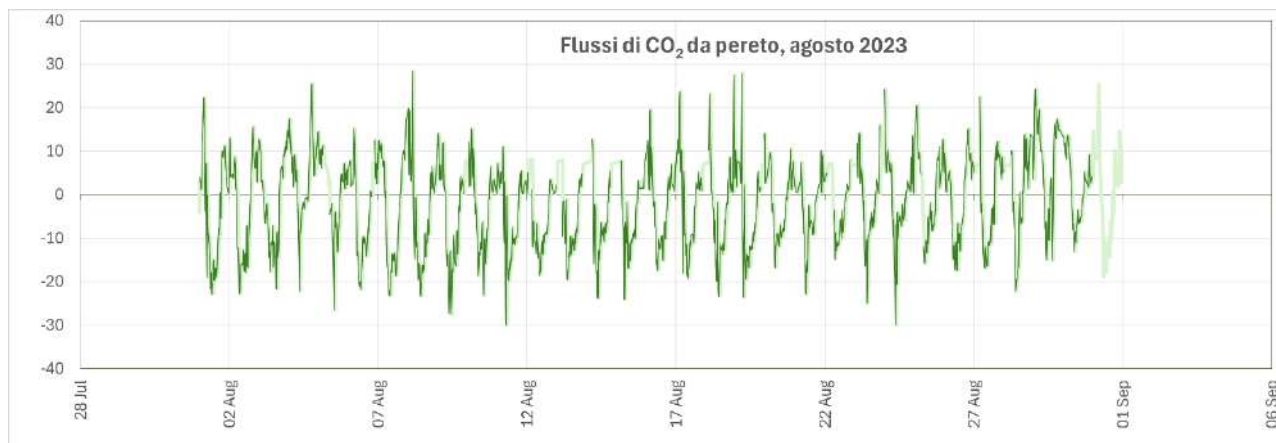


Figura 4. Flusso di CO<sub>2</sub> misurato (verde scuro) e valori ricostruiti con gap-filling (verde chiaro) durante il mese di agosto 2023.

## 2.2 Misurazione dei flussi di azoto nel suolo tramite camerette (Azione 2, Task 2.3)

### 2.2.1 Effetto dell'alluvione del maggio 2023 sulle emissioni di N<sub>2</sub>O (si veda Allegato 3)

Dopo gli eventi alluvionali, condizioni come il ristagno d'acqua e la ridotta disponibilità di ossigeno creano un ambiente ideale per i processi di denitrificazione. Il processo di denitrificazione indotto dalle alluvioni porta in genere a un aumento delle emissioni di N<sub>2</sub>O dal suolo. Questo perché le condizioni anaerobiche (prive di ossigeno) favoriscono l'attività dei batteri denitrificatori, che producono N<sub>2</sub>O come sottoprodotto. Inoltre, le inondazioni possono aumentare la disponibilità di composti azotati nel suolo, stimolando ulteriormente la denitrificazione e la produzione di N<sub>2</sub>O. Studiare l'impatto degli eventi alluvionali sui processi di denitrificazione e sulle conseguenti emissioni di N<sub>2</sub>O è fondamentale, soprattutto per le implicazioni sul ciclo dell'azoto e sulle emissioni di gas serra. Per quantificare questo impatto, è necessaria una combinazione di misure sul campo, esperimenti di laboratorio e approcci modellistici per fornire un quadro completo dell'impatto. Questo studio è incentrato sulla misurazione dei flussi di N<sub>2</sub>O dal suolo di un campo di pere che ha subito gli eventi alluvionali del maggio 2023 in Romagna. L'obiettivo originario dello studio era quello di quantificare il carbonio assorbito dalla coltura durante un'intera stagione di crescita per valutarne il potenziale effetto in termini di "mitigazione" del cambiamento climatico, seguendo il metodo di Nardino et al., 2013 (Allegato 2), e considerando allo stesso tempo tutte le potenziali emissioni di gas serra, da includere nel bilancio come CO<sub>2</sub>-eq. Il verificarsi dell'evento alluvionale nel maggio 2023 ha interrotto le misurazioni per un mese e mezzo, ma ha fornito un esperimento non intenzionale sulla valutazione dell'impatto delle alluvioni sulle emissioni di N<sub>2</sub>O nel suolo.

Le misure sono state condotte su un frutteto di pere con un'estensione di oltre 6 ettari e un impianto di circa 20 anni (Fig.5), dell'Azienda Agricola Massari, situato a Conselice (RA), N 44°53' - E11°81', nella Regione Emilia Romagna. La campagna di campo è iniziata il 22/03/2023, con misure dei flussi di CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O

mediante tecnica eddy covariance, e dei flussi di N<sub>2</sub>O con il metodo del dynamic enclosure. Nel mese di maggio 2023, in Romagna si è verificata un'importante calamità naturale che ha avuto profonde ripercussioni sul territorio: le forti precipitazioni hanno portato a diffuse alluvioni, che hanno interessato sia le aree urbane che quelle rurali. Nell'area studiata, all'interno del Comune di Conselice, l'alluvione ha interrotto le reti di trasporto, danneggiato le infrastrutture e messo a rischio la sicurezza pubblica. Le inondazioni hanno avuto anche conseguenze ambientali, come l'erosione degli argini, lo straripamento, la contaminazione delle acque, il danneggiamento degli habitat naturali e l'impatto sugli agricoltori locali e sui loro mezzi di sussistenza. Tra il 2 e il 17 maggio si sono verificati 4 miliardi di m<sup>3</sup> di precipitazioni, 14 corsi d'acqua sono esondati in un primo momento e poi 23 contemporaneamente, e altri 13 fiumi hanno superato i livelli di allarme nella Regione Romagna. Nel sito del pereto, il livello dell'acqua ha raggiunto i 120 cm nella fase di picco ed è rimasto a circa 20 cm dal suolo per oltre 5 settimane.



Figura 5. Foto aerea del sito del pereto a Conselice, con il posizionamento dei 10 collari per la misura dei flussi di N<sub>2</sub>O dal suolo (sinistra). Apparato di misura (da destra, la camera dinamica e il collare inserito nel suolo).

Per ogni campionamento sono stati presi 10 punti sparsi sul frutteto (come in Figura 5), e le misure sono state fatte a cadenza settimanale /bisettimanale a seconda degli eventi di fertirrigazione. Per quanto riguarda la misura del flusso di CO<sub>2</sub> dal suolo, la frequenza di misura è molto minore, data la scarsa variabilità del valore. La singola misura di flusso comprende T del suolo, umidità del suolo e flusso di N<sub>2</sub>O/CO<sub>2</sub>. Tutte le misure sono proseguite fino al 3 maggio, dove hanno subito un'interruzione dovuta all'alluvione in Emilia Romagna, e le attività sono riprese il 19 giugno 2023, quando l'accesso stradale lo ha consentito. I flussi di N<sub>2</sub>O nel suolo sono stati misurati con un analizzatore portatile di gas in traccia N<sub>2</sub>O (LI-7820 N<sub>2</sub>O /H<sub>2</sub>O, Li-Cor Inc.) collegato a una camera del suolo automatizzata (LI-8200-01S Smart Chamber, Li-Cor Inc.) illustrata nella Fig. 5. Il monitoraggio intensivo delle emissioni è stato effettuato dopo l'evento di alluvione, tra giugno e settembre 2023, con frequenza settimanale; il monitoraggio è proseguito con misurazioni quindicinali e poi mensili per il resto dell'anno, quando i livelli iniziali di emissione sono stati ristabiliti. Il flusso di N<sub>2</sub>O è stato calcolato con la seguente equazione:

$$F_{N_2O} = (V P (1 - W_0)) / R S T \, dN_2O/dt \quad (1)$$

Dove F<sub>N<sub>2</sub>O</sub> è il flusso di N<sub>2</sub>O nel suolo (nmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>), V è il volume della camera (m<sup>3</sup>), P è la pressione atmosferica (Pa), W<sub>0</sub> è la frazione molare iniziale del vapore acqueo (mol mol<sup>-1</sup>), R è la costante del gas (Pa m<sup>3</sup> mol<sup>-1</sup>k<sup>-1</sup>), S è l'area del suolo (m<sup>2</sup>), T è la temperatura della camera (°K), dN<sub>2</sub>O/dt è il tasso di variazione di N<sub>2</sub>O (nmol mol<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>) durante la chiusura della camera. La temperatura e l'umidità del suolo

sono state misurate con una Stevens HydraProbe collegata alla Smart Chamber insieme alle misure di flusso.

I flussi di N<sub>2</sub>O misurati all'inizio di aprile 2023 (Fig. 6, pannello superiore) possono essere considerati il livello di emissione di fondo per il pereto di Conselice. La fertilizzazione nel sito avviene con fertirrigazione a goccia durante la stagione di crescita; in quella fase, la vegetazione era appena fiorita e non si erano verificati eventi di fertirrigazione. Il livello di emissione di N<sub>2</sub>O è stato in media di 0,35 nmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, con un intervallo compreso tra 0,16 e 0,57 nmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, e si è osservata una scarsa variabilità spaziale tra i punti di campionamento, come si può vedere nella Fig.6. Osservando la situazione il 27 giugno, dopo l'evento alluvionale, si nota una variabilità spaziale molto più ampia tra i punti di campionamento, a indicare che il suolo del sito è stato pesantemente colpito (Fig. 6). Il 27 giugno, il flusso medio osservato era di 5,79 nmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, con valori che variavano da 0,6 a 19,4 nmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

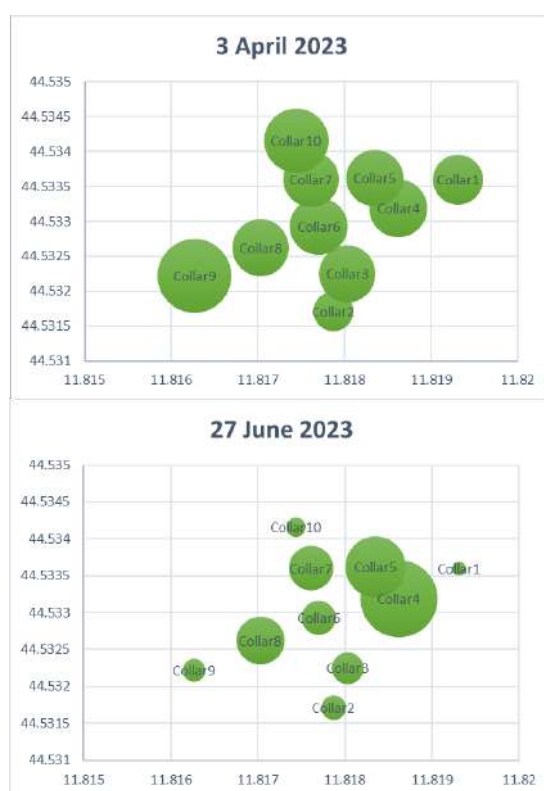


Figura 6 – Variabilità spaziale delle emissioni di N<sub>2</sub>O nei punti di campionamento (collari della camera) prima (sopra) e dopo (sotto) gli eventi alluvionali. Le dimensioni dei cerchi indicano l'entità dei flussi misurati e sono impostate su una scala diversa.

I livelli più elevati di emissione di N<sub>2</sub>O osservati nel periodo successivo e per tutta la stagione estiva (vedi Fig. 7) sono persistiti e i livelli di base sono stati ripristinati solo in autunno (dati non mostrati). Dopo circa 5 settimane di ristagno idrico, il suolo è risultato saturo d'acqua e quindi umido per lungo tempo. La stagione calda ha fatto aumentare le temperature del suolo, creando un ambiente ideale per l'attività microbica, e la denitrificazione poteva avvenire per un periodo di tempo prolungato. Non si è verificata alcuna aggiunta di fertilizzanti N, poiché la stagione di crescita e il conseguente raccolto erano compromessi. Tuttavia, l'acqua portata dall'alluvione, contaminata tra l'altro da liquami e letame, ha agito come un evento di fertilizzazione su larga scala.

Figura 7 – Box e whisker plot delle misure del flusso di N<sub>2</sub>O dal suolo relative alla stagione estiva 2023 a Conselice.

Gli eventi alluvionali del maggio 2023 in Romagna hanno causato un aumento delle emissioni di N<sub>2</sub>O nel suolo di un frutteto di pere di circa 10 volte rispetto ai livelli di fondo precedenti all'alluvione, che si è protratto per tutta la stagione estiva. Dai nostri dati, è evidente che gli eventi alluvionali hanno agito come un evento di fertilizzazione su larga scala. Non è stato possibile misurare l'apporto di N al suolo causato dagli eventi alluvionali, poiché per un lungo periodo (un mese e mezzo) non è stato possibile raggiungere il sito. Per questo motivo, non è stato possibile calcolare un fattore di emissione specifico dell'evento alluvionale per l'N<sub>2</sub>O. Il dataset del flusso di N<sub>2</sub>O raccolto, insieme alle informazioni meteorologiche e alle analisi del suolo condotte sul sito, potrebbe essere utile per la validazione della modellazione su scala di campo delle emissioni di gas serra, nel caso di eventi alluvionali.

### 2.2.2 Bilancio annuale di N<sub>2</sub>O

Le misure sono proseguite a cadenza settimanale per tutta la stagione vegetativa, poi bisettimanali e infine mensili per periodi di quiescenza vegetativa durante la stagione invernale. I 10 collari (Figura 5) sono stati disposti in maniera da coprire il più possibile le disuniformità del suolo all'interno dei filari, per essere più realisticamente rappresentativi del campo. La disuniformità delle emissioni di N<sub>2</sub>O è infatti strettamente legata alle condizioni disomogenee di suolo, come si può vedere dalla Figura 6, in cui i flussi di emissioni, a parità di condizioni del campo, si differenziano di un fattore 2 in condizioni pre-alluvionali, e >10 in condizioni post-alluvionali.

Per permettere di monitorare la variabilità temporale delle emissioni da ogni punto in esame, ogni collare è rimasto per tutto il periodo in considerazione nello stesso punto. Oltre alle misure all'interno dei filari, ad ogni evento di misura sono stati presi dei valori di flusso dal terreno inter-filare, non trattato con fertirrigazione, per avere conto del contributo del suolo non trattato, che rappresenta la grande maggioranza del terreno all'interno del perimetro. Dato che l'alluvione ha uniformato il terreno tra filare e inter-filare, ed i trattamenti non sono avvenuti nel 2023, le misure inter-filari sono state prese regolarmente solo quando le differenze tra filare e inter-filare erano reali.

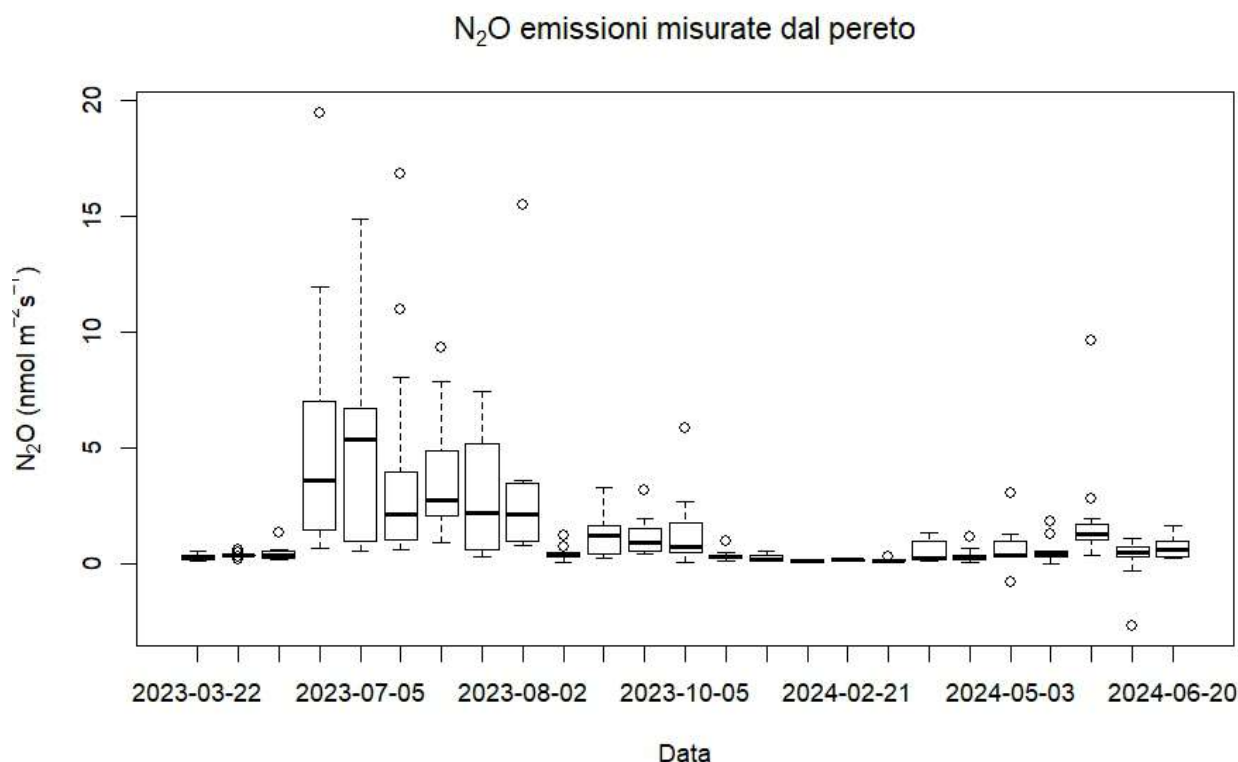


Figura 8. Box e whisker plot dei flussi di N<sub>2</sub>O (nmol / m<sup>2</sup>s) misurati durante tutto il periodo da marzo 2023 a giugno 2024.

In Figura 8 è mostrato l'andamento temporale delle emissioni di N<sub>2</sub>O dal campo, considerando le statistiche principali operate su tutte le posizioni dei collari assieme. Si può notare che l'evento alluvionale che ha colpito l'Emilia Romagna (dal 3/5/2023) sia visibile anche da questo dataset, ma sul campo in esame non si è verificato allagamento per tempi protratti, quindi l'azione dell'evento è riconducibile all'apporto notevole di acqua, con l'aggiunta potenziale di altre sostanze disciolte che hanno raggiunto il campo. Queste non sono quantificabili, rendendo impossibile, anche in questo caso, il calcolo di un fattore di emissione legato al pereto.

Anzitutto per l'incognita di N aggiunto nel 2023 dall'evento alluvionale, poi per il cambio radicale di superficie (fangosa invece che erbosa), e per la totale diversità di gestione del frutteto durante tutto l'anno 2023. Si nota che l'effetto dell'alluvione sulle emissioni di N<sub>2</sub>O si è protratto sino al mese di ottobre 2023. Con la stagione invernale il campo ha ripristinato il suo stato normale, e i dati in Figura 8 mostrano l'andamento normale di un campo agricolo, con emissioni molto basse (se non inesistenti) nella stagione invernale, dovuto alle temperature più basse che inibiscono l'attività microbica nel suolo. I valori nella primavera 2024 mostrano un piccolo incremento dovuto all'apporto di compostato nelle aree interfilari. Si può notare dalla Figura 8 che i valori di emissione di giugno 2024 sono di gran lunga inferiori a quelli misurati nel giugno 2023 (seconda metà, con il sito accessibile).

Calcolando il flusso medio di emissione di N<sub>2</sub>O dal pereto su tutto l'anno solare misurato, risulta esserci un'emissione di 1.42 (nmol/m<sup>2</sup> s). Questo numero non è tuttavia traducibile in un fattore di emissione per

la gestione di coltura, dato che rappresenta un anno anomalo grazie all'alluvione, e alla mancanza di fertirrigazione controllata.

## 2.3 Input per modelli

Di seguito riportiamo le tabelle con le grandezze richieste dai modelli (Azione 3). Sono illustrate, per i casi: i) del pomodoro (§2.3.1) i valori misurati in campo da CNR-IBE in studi paralleli al progetto; ii) del mais, raccolti, selezionati e sintetizzati da letteratura scientifica (§2.3.2), iii) del pero, misurati in campo a Conselice durante il periodo di monitoraggio.

### 2.3.1 Pomodoro

27/11/2023	
	Pomodoro
<b>Informazioni generali</b>	
Temperatura aria media annuale	14.7 °C
Precipitazioni annue	628 mm
Estensione campo sperimentale [ha]	0.2 ha
<b>Dati el suolo</b>	
Profondità del suolo considerato [cm]	0-50cm
pH del suolo	7.6
Profondità del suolo considerato	0-50cm
Densità apparente del terreno (bulk density, BD) [g/cm <sup>3</sup> ]	
Tessitura del [%sabbia, %limo, %argilla]	franco [sabbia 42.2%, limo 39.8%, argilla 17.9% ]
Frazione grossolana del terreno (coarse fraction) [%ghiaia o ciottoli]	-
Carbonio organico nel terreno (organic carbon, OC) [gC/kg soil]	0.71%
Stock di Carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) [MgC/ha]	-
Sostanza organica nel suolo (SOM)	1.23%
Azoto Totale nel suolo	0.08%
Rapporto C/N	
Umidità <b>del suolo</b>	19%
Temperatura del suolo	26°C
<b>Dati agronomici</b>	
Tipologia di pesticida impiegato	-
Quantitativo di pesticida impiegato [kg/ha]	-
Tipologia di fertilizzante impiegato	Ammnitra; nitrato di K; nitrato di Ca; nitrato di Mg; Splendide
Quantitativo di fertilizzante impiegato [kg/ha]	N =183.7 kg /ha; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =144.4 kg/ha; K <sub>2</sub> O= 221.3 kg/ha
Tipologia di ammendante impiegato	Fosforo 40; Evolution; Teflutar
Quantitativo di ammendante impiegato [kg/ha]	N =183.7 kg /ha; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> =144.4 kg/ha; K <sub>2</sub> O= 221.3 kg/ha
<b>Informazioni su pratiche agricole BAU (Business As Usual)</b>	
Metodo irriguo e frequenza	IRRIGAZIONE A GOCCIA
Consumo energetico per irrigazione [kWh/ha]	-
Lavorazioni del suolo/gestione interfila	aratura pre-piantumazione
Gestione residui colturali	interramento residui piante
<b>Informazioni su pratiche gestionali alternative</b>	
Metodo irriguo e frequenza	NA
Superficie gestita con minima lavorazione del suolo [ha] (pomodoro/mais)	NA
Superficie gestita con colture di copertura (cover crop) [ha] (pomodoro/mais)	NA
Consumi energetici [kWh]	NA



### 2.3.2 Mais

27/11/2023	CNR	mais traditional (Liu et MAIS optimal (Liu et MAIS (Ding et al. 2007)	Mais Volpi	mais 2007 (Alberti et a mais 2008 (Alberti
	mais traditional (Liu et MAIS optimal (Liu et MAIS (Ding et al. 2007)			
<b>Informazioni generali</b>				
Temperatura aria media annuale	9.3°C	13.9°C	13°C	14
Precipitazioni annue	430 mm	615 mm	820 mm	-
Estensione campo sperimentale [ha]	60 mq/plot	36 mq/plot	32 mq (plot)	8.6
<b>Dati al suolo</b>				
Profondità del suolo considerato [cm]	0-20 cm	0-20 cm	0-20 cm	0-30
pH del suolo	8.4	8.65	-	7.1
Profondità del suolo considerato	0-20 cm	0-20 cm	0-5 cm	0-30
Densità apparente del terreno (bulk density, BD) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.33	1.35 Mg m <sup>-3</sup>	2.65	1.25 +0.15
Tessitura del [%sabbia, %limo, %argilla]	19.9% clay	17%72%11%	-	Chromi-Endoskeletal C
Frazione grossolana del terreno (coarse fraction) [%ghiaia o ciottoli]	-	-	-	-
Carbonio organico nel terreno (organic carbon, OC) [gC/kg soil]	16.9	7.28	-	-
Stock di Carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) [MgC/ha]	-	-	-	-
Sostanza organica nel suolo (SOM)	-	-	-	-
Azoto Totale nel suolo	1.79 g/kg	1.79 g/kg	1.50%	48.4 +8.5
Rapporto C/N	non riportato	0.57 g N kg <sup>-1</sup>	0.05%	4.2+- 1.1
Umidità	53.25 avg/3 years	53%	-	25%
Temperatura del suolo	14 to 28.5 (21.25 avg)	53.25 avg/3 years	G51 21%, G52 25%	-
		14 to 28.5 (21.25 avg)	G51 27°C, G52 34%	-
<b>Dati agronomici</b>				
Tipologia di pesticida impiegato				
Quantitativo di pesticida impiegato [kg/ha]				
Tipologia di fertilizzante impiegato	nitro phosphate fertilizer + urea	superphosphate + potassium sulfate + urea	Calcium superphosphate + potassium sulfate + Urea	(NH4)2SO4--- (NH4)2HPO4
Quantitativo di fertilizzante impiegato [kg/ha]	60 kg P2O5 ha <sup>-1</sup> + 330 kg N ha <sup>-1</sup>	100 kg P2O5 ha <sup>-1</sup> + 100 kg K2O ha <sup>-1</sup> + 120 kg N ha <sup>-1</sup>	3 tesi con diverso contenuto di N: 0/150/250 kg N ha <sup>-1</sup> . Tutte e 3 hanno ricevuto 75 kg P2O5 ha <sup>-1</sup> + 150 kg K2O ha <sup>-1</sup>	(NH4)2SO4-Urea
Metodo irriguo e frequenza	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	sprinkler-not specified
Consumo energetico per irrigazione [kWh/ha]	no	no	no	-
Lavorazioni del suolo/gestione interfila	aratura 20 cm pre trapianto	aratura 20 cm pre trapianto	aratura 20 cm pre trapianto	-
Gestione residui colturali	no	no	no	-
<b>Informazioni su pratiche gestionali alternative</b>				
Metodo irriguo e frequenza	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	2 flood irr. /year (70 mm each ha-1)	sprinkler-not specified
Superficie gestita con minima lavorazione del suolo [ha] (pomodoro/mais)				
Superficie gestita con colture di copertura (cover crop) [ha] (pomodoro/mais)				
Consumi energetici [kWh]				

### 2.3.3 Pero

28/6/2024

	<b>dati CNR</b>
	<b>Pero</b>
<b>Informazioni generali</b>	
Temperatura aria media annuale	16.5°C
Precipitazioni annue	822 mm
Estensione campo sperimentale [ha]	5 ha
<b>Dati del suolo</b>	
Profondità del suolo considerato [cm]	0-30 cm
pH del suolo	8
Profondità del suolo considerato	0-30 cm
Densità apparente del terreno (bulk density, BD) [g/cm <sup>3</sup> ]	1.4 g/cm <sup>3</sup>
Tessitura del [%sabbia, %limo, %argilla]	21.66sabbia; 34.59limo; 43.73argilla
Frazione grossolana del terreno (coarse fraction) [%ghiaia o ciottoli]	-
Carbonio organico nel terreno (organic carbon, OC) [gC/kg soil]	1.1614 g/kg
Stock di Carbonio organico nel terreno (soil organic carbon, SOC) [MgC/ha]	-
Sostanza organica nel suolo (SOM)	-
Azoto Totale nel suolo	0.31 g/kg
Rapporto C/N	
Umidità	0.141 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Temperatura del suolo	15.1
<b>Dati agronomici</b>	
Diametro del tronco di pero a 130 cm di altezza (Diameter at Breast Height DBH)	12.1 cm
Altezza albero di pero	442 cm
Tipo di potatura albero di pero (palmetta/fusetto/...)	fusetto
Densità del legno [g/cm <sup>3</sup> ]	-
Età dell'albero di pero [anni]	20 circa
Tipologia di pesticida impiegato	nessuno
Quantitativo di pesticida impiegato [kg/ha]	nessuno
Tipologia di fertilizzante impiegato	organico, frazione liquida con 6% di N
Quantitativo di fertilizzante impiegato [kg/ha]	100 kg/ha
Tipologia di ammendante impiegato	compostato bovino, 2% N, 2% P 2% K
Quantitativo di ammendante impiegato [kg/ha]	10000 kg/ha
<b>Informazioni su pratiche agricole BAU (Business As Usual)</b>	
Metodo irriguo e frequenza	goccia, dipende da condizioni meteo
Consumo energetico per irrigazione [kWh/ha]	-
Lavorazioni del suolo/gestione interfila	sarchiatura 5cm di profondità
Gestione residui colturali	sovescio per erbacee
<b>Informazioni su pratiche gestionali alternative</b>	
Metodo irriguo e frequenza	-
Superficie gestita con minima lavorazione del suolo [ha] (pomodoro/mais)	-
Superficie gestita con colture di copertura (cover crop) [ha] (pomodoro/mais)	-
Superficie gestita con sovescio dell'interfila [ha] (pero varietà William)	tutta l'area del pereto, 5ha.
Superficie gestita con subirrigazione profonda [ha] (pero varietà Abate Fétel)	-
Consumi energetici [kWh]	-

### 3. Progressi rispetto agli obiettivi

Obiettivo		Scadenza		
Numero	Titolo		Completo	Data Completamento
1	Installazione della strumentazione in campo per le misure eddy covariance di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b> .	28/3/2023	Sì	28/3/2023
2	Inizio delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dallo stesso campo sperimentale ecosistema <b>pereto a Conselice (Ra)</b>	28/3/2023	Sì	28/3/2023
3	Inizio delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale -ecosistema <b>pomodoro a Budrio (Bo)</b>	28/6/2023	Sì	28/6/2023
4	Analisi delle misure in eddy covariance per CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O sull'ecosistema <b>pomodoro</b> .	28/6/2023	Sì	31/12/2023
5	Conclusione delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale - <b>ecosistema pomodoro a Budrio (Bo)</b>	28/9/2023	Sì	30/9/2023
6	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale - <b>ecosistema pomodoro a Budrio (Bo)</b>	28/12/2023	Sì	31/12/2023
7	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal <b>ecosistema mais</b> da letteratura	28/12/2023	Sì	31/12/2023
8	Analisi delle misure delle emissioni di CO <sub>2</sub> dal <b>ecosistema mais</b> da letteratura	28/12/2023	Sì	31/12/2023

9	Condivisione dei dati <b>ecosistema mais</b> tramite tabelle a UniMi e Tetis	28/12/2023	Sì	31/12/2023
10	Analisi delle misure in eddy covariance per CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O sull'ecosistema <b>pereto</b> a Conselice (RA)	26/6/2024	Sì	26/6/2024 Misure in corso
11	Analisi delle misure delle emissioni di N <sub>2</sub> O dal suolo dal campo sperimentale <b>-ecosistema pereto</b> a Conselice (RA)	26/6/2024	Sì	26/6/2024 Misure in corso
12	Condivisione dei dati <b>ecosistema mais</b> tramite tabelle a UniMi e Tetis	26/6/2024	Sì	26/6/2024

## 4. Output pubblicazioni e divulgazione

Inoltre, per la parte di divulgazione del progetto, di seguito sono elencate le iniziative di CNR-IBE nella tabella sottostante.

14-16 /6/2023	XXV CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, Matera – “L’agrometeorologia per la gestione delle risorse e delle limitazioni ambientali in agricoltura”  Contributo di M. Nardino (CNR-IBE) con presentazione orale alla conferenza: Nardino M., Anconelli S., Chieco C., Famulari D., Gentile S.L., Mari M., Solimando D.- Scambi di flussi di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro.
3/7/2023	Riunione tecnica di progetto sull’avanzamento delle misure sperimentali. Ospitata da Conserve Italia, in modalità mista di persona e online. Relazione orale D. Famulari (CNR-IBE) in presenza sulle misure in corso sul sito di Conselice presso l’azienda agricola Massari.
3/8/2023  (Allegato 2)	“Scambi di flussi di CO <sub>2</sub> e H <sub>2</sub> O tra atmosfera e colture ortive: il caso del pomodoro” – “CO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> O exchange fluxes between atmosphere and a tomato crop”.  Marianna Nardino, Stefano Anconelli, Federico Carotenuto, Camilla Chieco, Daniela Famulari, Salvatore Luca Gentile, Matteo Mari, Domenico Solimando and Federica Rossi  Pubblicazione sulla rivista ISI <i>Italian Journal of Agrometeorology (IJAM)</i> .
9/11/2023	Visita didattica sul campo degli studenti del corso di AGROMETEOROLOGIA ED ECOLOGIA AGRARIA della Facoltà di Agraria dell’Università degli studi di Bologna.

---

1/12/2023	Riunione tecnica di progetto in modalità online, organizzata da Tetis, sull'avanzamento delle attività. Nel particolare, sulla specificazione delle variabili utili e necessarie alla modellistica.
15/4/2024	Evento di divulgazione all'Azienda Agricola Massari, sede delle misure in campo, con visita al sito di misura (si vedano i dettagli del Rapporto Tetis, Task 3.2)
5/6/2024  (Allegato 3)	XXVI CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, l'Aquila –“ Approcci innovativi a supporto delle produzioni agrarie in un contesto climatico in evoluzione”  Contributo presentazione orale di <b>Daniela Famulari</b> , Marianna Nardino <sup>1</sup> , Lorenzo Fiorini <sup>1</sup> , Francesco M. Boniello <sup>1</sup> , Matteo Mari <sup>1</sup> , Federico Carotenuto <sup>1</sup> , Federica Rossi <sup>1</sup> , Pietro Crudele <sup>2</sup> , Gianluca Pilo <sup>2</sup> , Mattia Onofri <sup>2</sup> , Camilla Chieco <sup>1</sup> .- EFFETTO DELL'ALLUVIONE IN ROMAGNA DEL MAGGIO 2023 SULLE EMISSIONI DI N2O