



TIPO DI OPERAZIONE

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

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 754/2022

FOCUS AREA 4B

RELAZIONE TECNICA FINALE

DOMANDA DI SOSTEGNO 5517300

DOMANDA DI PAGAMENTO 5854798

Titolo progetto	Digestato, Cover crops e Operazioni colturali per aumentare la Sostanza Organica del Suolo. DICO-SOS
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra Via Conca, 73/B - 44123 Ferrara (FE) CF e P.IVA 00079060380
Partner del GO	Università degli studi di Ferrara Centro Ricerche Produzioni Animali Soc. Cons. p.A. Gherardi Ravalli Modoni Nicola Società Agricola Società agricola Tiziana di Preti Tiziana e Gherardi Nicola s.s. DINAMICA Società Consortile a Responsabilità Limitata

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	15
Data inizio attività	01/01/2023
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	05/08/2024

Relazione relativa al periodo di attività dal	01/01/2023	al	05/08/2024
Data rilascio relazione	23/09/2024		

Autore della relazione			
telefono		e-mail	fondazioneavarra@peccura.it
pec	fondazioneavarra@peccura.it		

Sommario

1	DESCRIZIONE DEL PROGETTO	4
1.2	STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PROGETTO	5
2	DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE.....	7
2.1	ATTIVITÀ E RISULTATI	7
2.2	PERSONALE	18
2.3	SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE	20
2.4	MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI..	20
2.5	COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI	21
2.6	SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE.....	21
2.7	SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA	21
3	CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ	22
4	ALTRE INFORMAZIONI	22
5	CONSIDERAZIONI FINALI	22
6	RELAZIONE TECNICA.....	23
	AZIONE 1 - Pratiche agricole per aumentare la Sostanza Organica del Suolo e caratterizzazione dei prodotti.....	23
	Azione 2 - Monitoraggio rimozione nitrati e diffusione erbe infestanti.....	32
	Azione 3 - Caratterizzazione dei suoli.....	44
	Azione 4 - Valutazione sostenibilità ambientale ed economica	53

1 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Descrivere brevemente il quadro di insieme relativo alla realizzazione del progetto

Il progetto si colloca nell'ambito della produzione vegetale di colture annuali in aree vulnerabili ai nitrati ed aree interne. Gli obiettivi del Piano sono stati la definizione del ruolo della sostanza organica del suolo nella riduzione dell'inquinamento da nitrati e la riduzione dell'utilizzo di diserbanti in colture minacciate dagli effetti dei cambiamenti climatici come il mais attraverso pratiche agronomiche conservative associate all'utilizzo di cover crops e digestato come suggerito dal nuovo piano strategico nazionale per la PAC 2023-27.

È ormai dimostrato l'effetto di mitigazione dei cambiamenti climatici dell'agricoltura conservativa attraverso la riduzione di input e l'aumento di stock di carbonio nel suolo che contribuisce anche a migliorarne la struttura. In questo progetto sono stati utilizzati campi dove le pratiche di agricoltura conservativa sono confrontate con quelle tradizionali dal 2017 consentendo una valutazione su un arco temporale di 7 anni. L'utilizzo di cover crops e digestato ha consentito di valutare l'effetto additivo su disponibilità nutrizionali e biodiversità del suolo.

Il progetto DICO SOS aveva i seguenti obiettivi specifici:

- Confrontare il contenuto di carbonio nel suolo fra agricoltura conservativa e tradizionale
- approfondimento degli effetti della maggior disponibilità di sostanza organica sulla rimozione dei nitrati per la prevenzione dell'inquinamento
- mettere a punto un protocollo di utilizzo di cover crops nelle rotazioni colturali per ridurre l'utilizzo di diserbanti
- riduzione dell'utilizzo di fertilizzanti di sintesi attraverso l'impiego di ammendanti organici e cover crops
- Caratterizzazione microbiologica del suolo delle diverse pratiche agronomiche utilizzate

Il progetto era articolato in 4 azioni specifiche:

AZIONE 1 – Pratiche agricole per aumentare la Sostanza Organica del Suolo e caratterizzazione dei prodotti

L'azione è stata coordinata dal Dipartimento di Scienze Chimiche Farmaceutiche ed Agrarie (DOCPAS) dell'Università di Ferrara in collaborazione con CRPA. L'attività sperimentale è stata condotta sia sui campi della Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra dov'è in atto il confronto tra diverse lavorazioni del terreno dal 2017 che presso due aziende i cui campi sono situati in aree interne della bassa ferrarese (Tresignana e Copparo).

I campi della Fondazione Navarra presentano parcelle di grandi dimensioni con disegno sperimentale a blocchi randomizzati con quattro tesi e tre repliche.

- TESI 1: lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm + apporto di digestato (pratiche tradizionali)
- TESI 2: lavorazioni minime senza inversione degli strati + apporto digestato
- TESI 3: conversione da lavorazioni tradizionali a semina su sodo + apporto di digestato in copertura
- TESI 4: semina su sodo + apporto di digestato in copertura

Nelle aziende di Copparo e Tresignana sono state fatte solo le tesi 1, 2 e 3. Per tutte le aziende nel 2023 è stato coltivato mais, seguito da una cover crop autunno vernina con effetto decompattante e a primavera 2024 è stato seminato il sorgo. Sono stati fatti rilievi eco-filiologici, produttivi e qualitativi delle biomasse.

AZIONE 2 – Monitoraggio rimozione nitrati e diffusione erbe infestanti

L'azione è stata coordinata dal Prof. Castaldelli ed aveva come obiettivo il monitoraggio dell'effetto delle pratiche agronomiche sulla prevenzione dell'inquinamento da nitrati ed ha riguardato le tempistiche e modalità di distribuzione del digestato e i relativi effetti sulla prevenzione dell'inquinamento da nitrati. Sono state allestite carote di suolo prelevate dai campi sperimentali monitorati e sono stati misurati in continuo i parametri fisici e chimici che regolano i processi di trasformazione, percolazione e rimozione dell'azoto. I protocolli si sono basati su risultati sperimentali pubblicati in decine di articoli su riviste scientifiche internazionali e rappresentano la prosecuzione della sperimentazione effettuata in campo, nel GOI Nitrati Ferrara.

L'azione prevedeva anche il monitoraggio delle erbe infestanti in tutte le tesi messe a confronto e su tutte le colture (mais - cover crop - sorgo).

AZIONE 3 – Caratterizzazione dei suoli

Questa azione è stata coordinata da CRPA, e prevedeva lo studio dei suoli presenti nei siti dimostrativi e il monitoraggio del contenuto di sostanza organica e di qualità biologica del suolo all'interno delle varie tesi messe a confronto. Ciò ha consentito di raggiungere i seguenti obiettivi:

- conoscere la variabilità del contenuto di carbonio organico all'interno dei siti dimostrativi;
- monitorare l'effetto sul suolo della diversa gestione proposta nelle tesi;

- identificare la biodiversità dei terreni in funzione delle pratiche agronomiche applicate.

L'azione prevedeva anche la quantificazione di acidi fulvici (FA) ed umici (HA) nonché la caratterizzazione microbiologica del suolo per ottenere un set di indicatori associati all'aumento di funzionalità biologica dei suoli nei sistemi in cui sono state usate soluzioni di gestione innovative.

AZIONE 4 – Valutazione sostenibilità ambientale ed economica

Questa azione è stata coordinata dall'Università di Ferrara in collaborazione con il CRPA.

L'Università di Ferrara ha effettuato la valutazione di impatto ambientale (LCA) tramite indicatori di sostenibilità degli impatti ambientali generati dalle tre strategie di coltivazione (convenzionale con aratura, minime lavorazioni, semine su sodo). È stato quindi creato un Registro delle Operazioni Colturali (ROC) da cui sono state prese le informazioni per il calcolo della sostenibilità ambientale. Sono stati quindi prodotti indicatori non solo prettamente legati al calcolo dell'LCA (Life Cycle Assessment), ma sono stati implementati anche con rilevatori di performance agronomici.

Il CRPA ha invece effettuato la valutazione della sostenibilità economica dei sistemi di gestione agronomica messi a confronto con quelli convenzionali. L'analisi economica delle attività è stata effettuata tramite raccolta delle seguenti informazioni:

- a) costi di produzione per singola tesi
- b) ricavi attesi per la produzione di singola tesi alla luce della qualità e tipologia del prodotto coltivato.

La raccolta dei dati è stata condotta direttamente in azienda con compilazione di un modulo di raccolta dei dati primari.

RISULTATI ATTESI

I risultati attesi mirano ad una riduzione del rischio di inquinamento da nitrati in aree vulnerabili attraverso l'aumento della sostanza organica del suolo ed alla stesura di un protocollo per l'inserimento delle cover crops negli avvicendamenti colturali per ridurre progressivamente l'utilizzo di diserbanti nelle coltivazioni. Tali risultati vanno incontro al nuovo piano strategico nazionale 2023-27 in cui si mira a "ridurre i fenomeni di erosione e degrado del suolo" attraverso pratiche agricole conservative e uso di ammendanti organici e a "ridurre il rischio di inquinamento e degrado delle matrici ambientali" con tecniche innovative volte a minimizzare l'uso di input in campo.

Si tratta quindi di una azione prioritaria per la qualità ambientale che si sviluppa con linee operative differenti ma complementari quali: 1) l'applicazione di tecniche di agricoltura conservativa per l'aumento della sostanza organica nel suolo per ridurre la perdita di nitrati nelle acque di falda e superficiali, 2) la definizione di un protocollo di utilizzo di cover crops per ridurre l'impiego di prodotti fitosanitari come i diserbi per tutelare sia le acque che il suolo e 3) l'applicazione di digestato locale per incrementare ulteriormente la sostanza organica e favorire la biodiversità del suolo. Inoltre, il progetto si avvale di un campo dimostrativo in cui le diverse lavorazioni del terreno sono applicate dal 2017 e questo consentirà di avere a fine progetto una fotografia del loro effetto su un arco temporale di 7 anni.

Il concetto di biodiversità viene qui applicato a livello epigeo allargando le rotazioni con l'introduzione delle cover crops ed esteso a livello ipogeo con la caratterizzazione microbiologica del terreno.

Per rendere il quadro più completo e trasferire al settore agricolo quante più informazioni possibili sugli effetti delle pratiche agronomiche proposte verrà altresì valutata la sostenibilità sia economica che ambientale attraverso gli strumenti di studio come LCA.

La divulgazione e trasferimento dei risultati in senso lato, ha ruotato attorno alla comunicazione veicolata attraverso la pagina internet dedicata sui siti della Fondazione Navarra (<https://www.fondazione Navarra.it/index.php/eventi-ambiente-e-salute/progetti/item/154-dico-sos>) e del CRPA (https://goi.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=24943&tt=t_bt_app1_www), gli articoli e incontri tecnici. La chiusura dell'attività divulgativa ha visto la realizzazione del convegno finale, condotto in modalità in presenza il 24/07/2024.

1.2 STATO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PROGETTO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Esercizio della cooperazione	Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra	organizzazione e cooperazione	1	1	15	18
Azione n. 1 - Pratiche agricole per aumentare la Sostanza Organica del Suolo e	Università degli studi di Ferrara	studi necessari alla realizzazione del piano	1	1	15	18

caratterizzazione dei prodotti						
Azione n. 2 - Monitoraggio rimozione nitrati e diffusione erbe infestanti	Università degli studi di Ferrara	studi necessari alla realizzazione del piano	1	1	15	18
Azione n. 3 - Caratterizzazione dei suoli	CRPA Scpa	studi necessari alla realizzazione del piano	1	1	15	18
Azione n. 4 - Valutazione sostenibilità ambientale ed economica	Università degli studi di Ferrara	studi necessari alla realizzazione del piano	4	4	15	18
Formazione	DINAMICA	formazione	9	9	15	18
Divulgazione	Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra	divulgazione	4	4	15	18

2 DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

Compilare una scheda per ciascuna azione

2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione	Esercizio della cooperazione
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>A seguire la comunicazione dell'ammissione in graduatoria utile a ricevere il contributo regionale con provvedimento n. 2359 del 07/02/2023, la Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra (da qui in poi "Fondazione"), ha avviato formalmente il Progetto. Sono state organizzate riunioni di pianificazione delle attività con il gruppo di ricerca per definire tempistiche.</p> <p>Il ruolo di coordinatore/organizzatore del Progetto, come previsto, è stato assunto dalla Fondazione, che nello svolgimento dell'azione di coordinamento afferente alle parti amministrative e di segreteria (ricepimento, verifiche dei documenti messi a disposizione dalla Regione per consentire la rendicontazione del Progetto nella modalità e tempistica richiesta) si è avvalsa del proprio personale qualificato; le attività tecniche sono state seguite in collaborazione con i partner.</p> <p>L'attività di monitoraggio ha permesso un buon uso delle risorse, redistribuzione dei tempi e dei carichi di lavoro in funzione delle problematiche affrontate.</p> <p>L'esercizio della cooperazione svolta dalla Fondazione in collaborazione con tutti i partner, è stata svolta attraverso riunioni sia in presenza, sia da remoto con incontri informali necessari allo scambio di dati e informazioni.</p> <p>La Fondazione ha provveduto ad organizzare i previsti incontri tecnici e il Convegno finale 24 luglio 2024 presso Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra, a Malborghetto di Boara (F E).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Le attività di organizzazione e coordinamento sono state completate.</p>

Azione	Azione n. 1 - Pratiche agricole per aumentare la Sostanza Organica del Suolo e caratterizzazione dei prodotti
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>L'azione prevedeva una iniziale fase di impostazione delle prove sperimentali di campo presso le aziende partecipanti al progetto. Per la precisione, presso i campi della Fondazione per l'agricoltura "F.lli Navarra" in località Cona si è provveduto alla gestione della prova sperimentale già in essere dal 2017 con la realizzazione delle seguenti gestioni delle lavorazioni del suolo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TESI 1: lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm + apporto di digestato (pratiche tradizionali) • TESI 2: lavorazioni minime senza inversione degli strati + apporto digestato • TESI 3: conversione da lavorazioni tradizionali a semina su sodo + apporto di digestato in copertura • TESI 4: semina su sodo + apporto di digestato in copertura <p>Presso le aziende "Gherardi Ravalli Modoni" e "Preti e Gherardi" sono stati allestiti campi sperimentali a blocchi randomizzati con parcelle di grandi dimensioni con la tesi 1, tesi 2 e tesi 3 replicate tre volte. I campi sono stati realizzati come da progetto con successo in tutte e tre le località.</p> <p>Durante l'applicazione del digestato è stata prelevata una quantità opportuna di prodotto per consentire la caratterizzazione dell'ammendante in termini di pH, conducibilità, sostanza secca, azoto totale, azoto ammoniacale, fosforo totale, potassio totale, carbonio totale. Le analisi sono state svolte presso i laboratori del CRPA.</p> <p>I team di ricerca di UNIFE e CRPA hanno provveduto alla visita regolare dei campi prova in tutte le località e non sono state individuate problematiche legate a fitopatie e fisiopatie in entrambe le colture oggetto della prova: mais (2023) e sorgo (2024). In maniera simile, le colture di copertura hanno mostrato uno sviluppo regolare durante il rispettivo periodo di crescita.</p> <p>Durante la raccolta del mais sono stati effettuati rilievi biometrici quali altezza, dimensione e caratteristiche delle pannocchie, diametro basale e numero di foglie, mentre durante la raccolta del sorgo è stata misurata l'altezza, il diametro basale, inserzione del panicolo e numero di foglie. Al momento della raccolta, sia per mais che per sorgo è stato prelevato un campione ed essiccato a 65% per le analisi qualitative della biomassa attraverso spettroscopia (tecnologia NIRS).</p> <p>In generale, le produzioni di mais sono risultate tendenzialmente maggiori nelle parcelle gestite tramite pratiche di lavorazione del suolo convenzionale. Tuttavia, le maggiori differenze sono state rilevate presso la prova di lungo periodo svolta a Cona, dove la gestione convenzionale ha fatto rilevare una resa di biomassa superiore a quella riscontrata nelle altre lavorazioni (in media 18,2 vs. 14,4 t ha⁻¹ di s.s.) anche se in maniera non significativa; invece, nessuna differenza è stata riscontrata nella prova "Gherardi Ravalli Modoni" (in media 17.2 t ha⁻¹ di s.s.).</p> <p>Il sorgo ha avuto un andamento simile a quello del mais, ossia tendenzialmente le rese maggiori sono state riscontrate nelle tesi condotte tradizionalmente (Tesi 1) in tutti i campi di prova.</p> <p>Al momento della soppressione delle colture di copertura, il miscuglio a base di facelia, rafano, senape bruna non è risultato essere devitalizzato per l'azione del freddo invernale ed è stato effettuato un diserbo chimico in presemina. Tuttavia, le produzioni di biomassa riscontrate a fine inverno hanno fatto riscontrare valori più elevati nelle parcelle in convenzionale (350.7, 179.4 and 84.2 g m⁻² di s.s. presso le aziende situate a Cona, Tresignana e Copparo, rispettivamente).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi,	<i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche</i>

<p>scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>emerse durante l'attività</i></p> <p>Gli obiettivi indicati nell'azione 1 sono stati raggiunti, le attività pianificate sono state eseguite in accordo al piano descritto al fine di garantire il monitoraggio e lo sviluppo delle colture oggetto di sperimentazione. Le prove sperimentali sono state impostate e gestite correttamente grazie alla collaborazione tra le aziende coinvolte e il team di ricerca dei partner UNIFE e CRPA. La raccolta del mais nell'anno 2023 è stata eseguita con successo presso le aziende situate a Cona e Tresignana, mentre la raccolta del mais nella prova situata a Copparo non è stata effettuata a causa di una violenta perturbazione che ha compromesso il raccolto e invalidato i risultati. Tuttavia, al fine di raggiungere gli obiettivi dell'azione, il gruppo di lavoro ha deciso di implementare le misurazioni con la raccolta della biomassa della coltura del sorgo nel 2024 su tutte le località oggetto di sperimentazione. La caratterizzazione del digestato e delle biomasse (incluse quelle aggiunte del sorgo) sono state regolarmente svolte secondo quanto riportato nell'azione.</p> <p>A causa del compattamento del terreno registrato su mais nel 2023 è stato deciso di seminare una cover crop autunnale con caratteristiche decompattanti per migliorare la struttura per la coltura successiva.</p> <p>Con riferimento alla prova di Cona, sono state rilevate misurazioni aggiuntive in modo da avere una visione completa degli aspetti agronomici legati alle lavorazioni del suolo e la risposta produttiva delle colture agrarie. Per la precisione sono stati rilevati i seguenti parametri: grado di compattamento del suolo al momento della semina del mais e del sorgo, stima del benessere delle piante tramite NDVI e umidità del suolo.</p> <p>Le analisi delle biomasse inizialmente previste erano 60 (30 campioni per il mais e 30 campioni per le cover crop), ma con la raccolta del sorgo i campioni totali raccolti e analizzati sono stati 81 (21 per il mais, 30 per le cover e 30 per il sorgo).</p>
---	--

Azione	Azione n. 2 - Monitoraggio rimozione nitrati e diffusione erbe infestanti
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>La presente azione ha riguardato le tempistiche e modalità di distribuzione del digestato e i relativi effetti sulla prevenzione dell'inquinamento da nitrati. La sperimentazione è stata volta a descrivere le principali trasformazioni dell'azoto apportato ai campi tramite il digestato, dalla sua distribuzione, in ottobre, al momento di maggiore assimilazione da parte delle colture, in maggio, nella tesi di minima lavorazione. In tale periodo sono state simulate condizioni di saturazione idrica del suolo superficiale, sempre più frequenti negli ultimi anni nella provincia di Ferrara, come evidenziato in Figura 1.</p> <p>I risultati delle prove di laboratorio sono stati confrontati con i dosaggi dell'azoto totale e del carbonio organico effettuati da CRPA negli stessi campi della Fondazione Navarra. L'incrocio dei risultati ha rafforzato gli output ottenuti, con maggiore possibilità di utilizzarli a fini applicativi.</p>  <p><i>Figura 1: Evento piovoso che ha colpito il territorio ferrarese nel maggio del 2023.</i></p> <p>I risultati hanno confermato studi precedenti nella stessa area di studio, che hanno riguardato il destino dell'azoto somministrato in forma ureica. Il passaggio dalla forma ureica a quella ammoniacale, allo scioglimento dei granuli è istantanea e l'ossidazione quantitativa dell'ammoniaca a nitrato, avviene mediamente nel tempo di una settimana (Castaldelli et. al., 2018). Nel caso dell'azoto organico distribuito come digestato il passaggio ad ammoniaca e l'ossidazione a ione nitrato ha richiesto mesi, con ossidazione di più dell'80% dell'azoto inizialmente presente nel tempo di sei mesi. Se durante questo periodo, a seguito degli eventi piovosi estremi, si verificano condizioni di saturazione idrica, una frazione dei nitrati può essere persa in atmosfera come azoto molecolare, a causa del processo di denitrificazione, che è favorita dalla scarsità di ossigeno a seguito della saturazione idrica. La frazione di nitrati persi può essere più o meno importante a seconda di quanto tempo è intercorso dalla distribuzione alla saturazione, della durata della saturazione e della quantità di sostanza organica biodegradabile presente, che al pari dei nitrati è indispensabile per il processo batterico di denitrificazione. Tali fenomeni possono causare deficit di dotazione azotata ma allo stesso tempo possono ridurre le perdite di azoto dai terreni agricoli ai corsi d'acqua, in occasione di piogge intense.</p> <p>L'azione prevedeva anche il monitoraggio delle erbe infestanti per le colture di mais (2023) e sorgo (2024) e a fine ciclo delle colture di copertura. Il monitoraggio è stato eseguito presso tutti e tre siti sperimentali coinvolti nella sperimentazione. La rilevazione delle erbe</p>

	<p>infestanti ha mostrato come sul sito di Cona, una gestione delle lavorazioni differenziata in un arco temporale di 7 anni ha determinato un differenziamento dello sviluppo della flora infestante con una maggiore presenza di specie perenni sulla gestione in non lavorazione e minima lavorazione come il <i>Convolvulus arvensis</i>, <i>Cyperus rotundus</i>, <i>Sonchus oleraceus</i>, <i>Lolium multiflorum</i> e <i>Sorghum halepense</i>. Contrariamente, sempre nel sito di Cona, il contenuto di erbe infestanti nella gestione delle lavorazioni convenzionali è risultata essere più contenuta e limitata allo sviluppo di poche specie infestanti caratterizzate da un ciclo vegetativo annuale, come <i>Abitilon theophrasti</i>, <i>Amaranthus retroflexus</i>, <i>Anagallis foemina</i>, <i>Chenopodium album</i>. Contrariamente nei siti di Tresignana e Copparo, la rilevazione delle erbe infestanti è risultata simile tra i trattamenti, in particolare su mais, in quanto non evidente l'effetto lavorazione (realizzata solo per il 2023) e pertanto ininfluenza sulla dinamica delle malerbe per un periodo di breve durata.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Come da progetto sono stati monitorati di continuo parametri chimico-fisici che regolano i processi di trasformazione, percolazione e rimozione dell'azoto attraverso anche l'uso di traccianti e tutti gli obiettivi sono stati raggiunti.</p> <p>Anche l'obiettivo del monitoraggio delle malerbe previsto nell'azione 2 è stato raggiunto con successo. Durante il monitoraggio periodico dei campi sperimentali è stata riscontrata una "geopardizzazione" dello sviluppo delle malerbe. Tale caratteristica è tipica della dinamica di diffusione dei semi delle malerbe, in quanto sensibili al trasporto legato a fattori climatici (es. pioggia e vento), biologici (es. predatori in generale come insetti e uccelli) e agronomici (es. lavorazioni del suolo). Per evitare il rischio di rilevare/monitorare le infestanti con un alto livello di disomogeneità si è scelto di valutare le parcelle in base alla percentuale di copertura anziché campionare aree di saggio disposte in maniera random sulle parcelle. Questo approccio ha consentito una valutazione complessiva più accurata essendo necessaria un'area di analisi di maggiori dimensioni con maggiore probabilità di avere uno spettro completo del grado di infestazione che ha caratterizzato l'intera area sperimentale.</p>

Azione	Azione n. 3 - Caratterizzazione dei suoli
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>La caratterizzazione dei suoli è avvenuta attraverso un campionamento negli strati di suolo 0-20 cm e 20-40 cm prima della distribuzione del digestato e prima la semina della seconda coltura primaverile nel 2024. Sono stati valutati il contenuto di sostanza organica azoto totale, azoto nitrico, conducibilità – salinità e fosforo totale.</p> <p>Nell'ambito dell'azione 3 del progetto, sono state anche condotte analisi quantitative degli acidi umici e fulvici, insieme alla valutazione della struttura della comunità microbica del suolo attraverso l'analisi degli acidi grassi dei fosfolipidi (EL-FAME) e la quantificazione della quantità di carbonio microbico presente nel suolo (MBC). Queste analisi hanno permesso di esaminare i potenziali effetti sul suolo derivanti dai diversi sistemi di gestione, dall'applicazione di digestato e dalle cover crops. Questa valutazione possono fornire informazioni rilevanti su come le pratiche agronomiche influenzino la salute del suolo, la biodiversità microbica e l'attività biologica, contribuendo così a guidare lo sviluppo di strategie di gestione più efficaci e sostenibili.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Tutte le attività previste sono state completate e per i dettagli tecnici specifici si rimanda alla relazione tecnica</p>

Azione	Azione n. 4 - Valutazione sostenibilità ambientale ed economica
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>La transizione verso sistemi agro-alimentari sostenibili e resilienti è al centro dell'Agenda 2030 e per il raggiungimento di questo obiettivo è richiesto il contributo della ricerca, per l'individuazione di strategie che garantiscano la protezione ambientale, senza ridurre la produttività, la competitività e la redditività del settore e che evitino lo spostamento degli impatti da una fase all'altra del ciclo di vita o da un prodotto ad all'altro. Tra gli strumenti di analisi, il metodo LCA (Life Cycle Assessment) è la tecnica più completa e standardizzata per la valutazione dell'impatto ambientale. Uno degli aspetti più importanti e critici che condiziona la qualità dei risultati di uno studio LCA è che molto spesso non è possibile (o comunque è troppo difficoltoso) reperire dati affidabili. Le attività inerenti all'azione 4 per la valutazione della sostenibilità ambientale hanno quindi primariamente consistito nell'individuazione del contesto di analisi, ossia è stata svolta un'approfondita analisi e raccolta di informazioni e dati inerenti ai processi agricoli coinvolti. La partecipazione e cooperazione delle figure coinvolte nelle attività del progetto è risultata fondamentale in questa fase per garantire il più possibile la completezza e la validità delle informazioni e dei dati necessari alla successiva analisi di impatto ambientale; sono stati somministrati questionari di raccolta dati agli operatori dell'azienda agricola e, allo scopo di integrare, sono state effettuate numerose indagini sulle caratteristiche tecniche delle attrezzature e in generale dei vari input necessari ai processi oggetto di analisi e ulteriori ricerche nella letteratura scientifica. In particolare, sono stati investigati approfonditamente i fattori di emissioni relativi agli input fertilizzante e combustibile in relazione alle specificità del processo e della locazione geografica.</p> <p>Il software Open LCA è stato utilizzato per il calcolo e ha restituito i risultati, attribuendo determinati valori alle corrispondenti categorie di impatto ambientale. Tra queste, è stato posto il focus di analisi, implementazione e miglioramento, sulle categorie di impatto cambiamento climatico, eutrofizzazione e consumo di risorse in quanto considerate maggiormente rilevanti per i processi produttivi considerati.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>La valutazione di impatto ambientale è stata effettuata in completezza e ha permesso di evidenziare gli hotspots ambientali dei processi agricoli, sulla base dei quali è possibile effettuare ulteriori ricerche per individuare tecniche e soluzioni innovative in ottica di sostenibilità ambientale. Non sono stati registrati scostamenti dagli obiettivi del progetto originario.</p> <p>Alcune criticità sono state riscontrate e hanno interessato unicamente il reperimento dei dati per lo sviluppo dell'analisi: è stato necessario utilizzare dati secondari (non totalmente rappresentativi del contesto oggetto del progetto) a causa dell'impossibilità di ottenere dati puntuali e specifici per tutti i numerosi input dei processi analizzati.</p> <p>Le attività sono state completate, per i dettagli tecnici specifici si rimanda alla relazione tecnica e agli allegati.</p>

Azione	Divulgazione
Descrizione delle attività	<p data-bbox="491 300 1334 327"><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p data-bbox="491 333 1417 394">Il CRPA in collaborazione con la Fondazione Navarra ha contribuito alla realizzazione delle iniziative di divulgazione del progetto DICO_SOS. Di seguito le attività svolte.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="539 409 1417 568">• Creazione di una pagina dedicata sul sito Gruppi Operativi per l'Innovazione.crpa con gli obiettivi, la descrizione del piano, il finanziamento, i partner di progetto e i video prodotti (https://goi.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=24943&tt=t_bt_app1_www&aa=dico%2Dsos). <li data-bbox="539 584 1417 2054">• Collaborazione con la Fondazione Navarra per l'organizzazione degli eventi di comunicazione tecnica diretta: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="635 658 1417 1032">- 1° giornata tecnica, presso la Fondazione Navarra, - impostazione della locandina d'invito e invio, tramite la piattaforma aziendale CRM, con la newsletter CRPA Informa n. 11-2023, all'indirizzario aziendale e rinvio singolo a oltre n. 5.700 contatti, tra i portatori d'interesse (allevatori, coltivatori, agronomi, facoltà di agraria, mangimifici, organizzazioni professionali); Di seguito le presentazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="730 898 1417 987">▪ L'innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo ed agroalimentare dell'Emilia-Romagna di Maria Costanza Balboni – RER; <li data-bbox="730 1003 1417 1032">▪ Agricoltura conservativa e dinamica dell'azoto nel suolo <li data-bbox="730 1111 1023 1140">▪ Il progetto DICO_SOS. <li data-bbox="635 1155 1417 1597">- 2° giornata tecnica, presso la Fondazione Navarra, - impostazione della locandina d'invito e invio tramite la piattaforma aziendale CRM, con la newsletter CRPA Informa n. 3-2024 all'indirizzario aziendale e rinvio singolo a oltre n. 5.900 contatti tra i portatori d'interesse; Di seguito le presentazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="730 1323 1417 1413">▪ <i>L'innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo e agroalimentare dell'Emilia-Romagna</i> di Maria Costanza Balboni – RER; <li data-bbox="730 1429 1417 1518">▪ <i>Il ruolo agronomico delle colture di copertura nelle produzioni agrarie e nel contenimento delle erbe infestanti</i> – UNIFE; <li data-bbox="730 1534 1417 1597">▪ <i>La gestione sostenibile del suolo come chiave per preservare la sua biodiversità</i> – UNIFE. <li data-bbox="539 1612 1417 2054">- convegno finale presso la Fondazione Navarra, - invio del programma tramite la piattaforma aziendale CRM, con la newsletter CRPA Informa n. 12-2024 all'indirizzario aziendale. Le presentazioni dei relatori sono condivise sul sito di progetto. Di seguito le presentazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="635 1749 1417 1839">○ <i>L'innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo e agroalimentare dell'Emilia Romagna</i> di Piero Trosello Pastore - Regione Emilia Romagna; <li data-bbox="635 1854 1417 1944">○ <i>Dal progetto Nitrati Ferrara a DICO-SOS, 7 anni di studi sull'agricoltura conservativa in provincia di Ferrara</i> - CRPA scpa; <li data-bbox="635 1960 1417 2054">○ <i>Minime lavorazioni e biodisponibilità dell'azoto da digestati in relazione agli eventi estremi di pioggia</i>– Università di Ferrara;

- *Salute del suolo: il ruolo chiave dell'agricoltura conservativa*
– Università di Ferrara;
- *Gestione delle lavorazioni del suolo per un'agricoltura rigenerativa: problemi e soluzioni* – Università di Ferrara;
- *L'impatto ambientale dell'agricoltura conservativa: risultati dell'analisi LCA* – Università di Ferrara;
- *La divulgazione del progetto DICO-SOS* - Fondazione per l'Agricoltura F.lli Navarra;
- *ABSTRACT_Digestate^LJ Cover crop and different soil tillage management preliminary results on soil fertility and on maize (Zea mays L.) crop* .
- Newsletter (pacchetto di n. 3) per aggiornare i portatori di interesse sulle fasi del piano, inviate con newsletter aziendale CRPA Informa a oltre 20.000 contatti:
 - newsletter 1 - giugno 2023 - presentazione del progetto: https://goi.crupa.it/media/documents/crupa_www/blog/DICO-SOS/DICO_SOS_newsletter_1_005.pdf?v=20240703;
 - newsletter 2 - ottobre 2023 - avanzamento delle attività: https://goi.crupa.it/media/documents/crupa_www/blog/DICO-SOS/DICO_SOS_newsletter_2_004.pdf?v=20240703;
 - newsletter 3 - luglio 2024 – chiusura progetto con i risultati finali: https://goi.crupa.it/media/documents/crupa_www/blog/DICO-SOS/DICO_SOS_newsletter_3_003.pdf?v=20240703.
- Realizzazione di un video clip del progetto, con riprese effettuate durante la 2^a giornata tecnica del 19/02/2024:
 - videoclip versione in italiano: <https://www.youtube.com/watch?v=weUWvLVAvWY>
 - video versione con sottotitoli in inglese: <https://www.youtube.com/watch?v=i7TzrV63ll8>
- Collaborazione nella produzione di una brochure illustrativa del progetto *Le cover crop per un'agricoltura più sostenibile*; stampato in italiano: https://goi.crupa.it/media/documents/crupa_www/blog/DICO-SOS/brochure_DICOSOS_IT.pdf?v=20240731 e in inglese: https://goi.crupa.it/media/documents/crupa_www/blog/DICO-SOS/brochure_DICOSOS_ING.pdf?v=20240731
- Realizzazione di un articolo tecnico-divulgativo “*Semina su sodo, minima lavorazione e aratura, un confronto lungo 7 anni*” a cura di Alessandro Zatta - CRPA, Luca Davì - Fondazione Navarra, Emanuele Radicetti e Giuseppe Castaldelli – UNIFE, pubblicato sulla rivista Terra è Vita n. 27-2024.
- Partecipazione a due convegni internazionali con i seguenti contributi:
 - *Digestate, Cover crop and different soil tillage management: preliminary results on soil fertility and on maize (Zea mays L.) crop*. A cura di Allevato E., Quintarelli V., Ben Hassine M., Borgatti D., Ianiri M., Radicetti E., Stazi S.R. International Conference: ISPAMed (Innovations For Sustainable Crop Production In The Mediterranean Region). Palermo 2024, July 11th and 12th.
 - *On-farm assessment of soil CO2 emissions after 7 years of different soil tillage management: preliminary results on maize (Zea mays L.) crop*. A cura di M. Ben Hassine, D. Borgatti, V. Quintarelli, A. Zatta, E. Radicetti. Centennial Celebration and Congress of the International Union of Soil Sciences Florence – Italy May 19 - 21, 2024
- Invio di un comunicato stampa per informare della conclusione del progetto DICO_SOS e dei risultati ad addetti alla comunicazione e giornalisti: https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/DICO-

	<p>SOS/DICO SOS CS 1 003.pdf?v=20240801</p> <ul style="list-style-type: none"> • diffusione delle iniziative intraprese tramite i canali social LinkedIn: <ul style="list-style-type: none"> - (<u>agosto 2023</u>) https://www.linkedin.com/posts/centro-ricerche-produzioni-animali-scpa_dico-sos-registrazione-giornata-tecnica-activity-7089146116247609345-uEOr?utm_source=share&utm_medium=member_desktop - (<u>07/02/2024</u>) https://www.linkedin.com/posts/fondazione-navarra-06762b222_dico-sos-incontro-tecnico-cover-crop-activity-7160280710749077504-JYdo?utm_source=share&utm_medium=member_desktop - (<u>14/02/2024</u>) https://www.linkedin.com/posts/fondazione-navarra-06762b222_recall-colture-erbacee-dico-sos-activity-7162743777877520384-zpMc?utm_source=share&utm_medium=member_desktop - (<u>30/04/2024</u>) https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7191055987951157248 - (<u>05/07/2024</u>) https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7214913244241526785 - (<u>16/07/2024</u>) https://www.linkedin.com/feed/update/urn:li:activity:7218871996518940672 - canale social X: (<u>29/03/2024</u>) https://x.com/crpsocial/status/1773668858370363614
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Inizialmente era previsto la pubblicazione di un pieghevole in italiano e inglese da stampare in 500 copie. Al fine di ridurre l'impatto ambientale e renderlo fruibile a quante più persone possibili è stato deciso di farlo in pdf e scaricabile dal sito di CRPA e Fondazione Navarra. Le altre attività sono state completate, per i dettagli tecnici specifici si rimanda ai materiali disponibili nel sito di progetto.</p>

<p>Azione</p>	<p>Formazione e consulenza</p>
<p>Descrizione delle attività</p>	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Titolo: "Tecniche incremento sostanza organica nei suoli e gestione delle concimazioni e rotazioni colturali per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati di origine agricola e controllo erbe infestanti."</p> <p>La prevenzione dell'inquinamento da diserbanti e nitrati di origine agricola non può che passare attraverso un insieme di buone pratiche agricole che certamente partono dal controllo delle infestanti con metodi a basso impatto al bilanciamento tra gli apporti (fertilizzazioni) e le asportazioni di nutrienti da parte dei vegetali coltivati ma che si allargano ad un più ampio ventaglio di tecniche che includono le modalità di utilizzo dei fertilizzanti sia organici che inorganici nonché la gestione dei terreni. Diversi studi, tra cui quelli condotti nel GOI Nitrati Ferrara (2016-2019), hanno dimostrato che esiste una relazione tra il contenuto di sostanza organica di un suolo e l'efficienza della rimozione degli eccessi di nitrati per denitrificazione. All'aumentare della disponibilità di sostanza organica biodegradabile, in suoli a bassa permeabilità, aumenta la denitrificazione, ovvero il processo batterico che porta alla rimozione dei nitrati, trasformati in azoto</p>

	<p>molecolare (N₂) che dal suolo passa in atmosfera. Così come l'inserimento di cover crops nelle rotazioni colturali contribuisce sia all'aumento della sostanza organica del suolo che ad un contenimento della diffusione di erbe infestanti.</p> <p>Da qui l'opportunità di migliorare la gestione dei fertilizzanti e diserbanti con l'allargamento delle rotazioni colturali, utilizzo di ammendanti organici ed il mantenimento o, meglio, incremento delle dotazioni di sostanza organica dei terreni agricoli, sia per mantenerne/elevarne la fertilità che ai fini della prevenzione dell'inquinamento da nitrati e diserbanti delle acque.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'attività di formazione è stata realizzata in un'unica edizione</p> <p>EDIZIONE N.1 “Tecniche incremento sostanza organica nei suoli e gestione delle concimazioni e rotazioni colturali per la prevenzione dell'inquinamento da nitrati di origine agricola e controllo erbe infestanti.”</p> <p>Domanda di proposta n. 5517727 Domanda di avvio formazione GOI n. 5697376 Domanda di rendiconto formazione GOI n. 5709288 Periodo di Svolgimento: dal 13/11/2023 al 04/12/2023 Durata: 29 ore</p> <p>Nell'ambito del corso sono state realizzate le 29 ore di formazione previste in fase di proposta progettuale approvata dalla Regione Emilia-Romagna. Si sono iscritti 20 partecipanti di cui 19 hanno concluso il percorso formativo superando la percentuale minima di presenza. Inoltre, tutti e 19 hanno raggiunto gli obiettivi formativi previsti oggettivamente dimostrabili attraverso i risultati ottenuti nella verifica finale di apprendimento.</p>

2.2 PERSONALE

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

Partner	Azione	Persona	Mansione / Qualifica	Attività svolta nell'azione	ore	costo orario	Costo Totale
Navarra	Esercizio della cooperazione		Imp.Agr. 1° Cat.	Responsabilità del piano, animazione GO, coordinamento	170	€ 27,00	€ 4.590,00
Navarra	Esercizio della cooperazione		Imp.Agr. 2° Cat.	Attività cooperazione	140	€ 27,00	€ 3.780,00
Navarra	Esercizio della cooperazione		Imp.Agr. 3° Cat.	Attività cooperazione, predisposizione rendicontazioni	134	€ 27,00	€ 3.618,00
Navarra	Azione 1		Imp.Agr. 2° Cat.	Raccolta dati e prove in campo	140	€ 27,00	€ 3.780,00
Navarra	Azione 1		Operaio Specializzato	Prove in campo	113	€ 19,50	€ 2.203,50
Navarra	Azione 2		Imp.Agr. 2° Cat.	Raccolta dati e prove in campo	114	€ 27,00	€ 3.078,00
Navarra	Azione 2		Operaio Specializzato	Prove in campo	98	€ 19,50	€ 1.911,00
Navarra	Azione 3		Imp.Agr. 2° Cat.	Elaborazione dati	37	€ 27,00	€ 999,00
Navarra	Azione 4		Imp.Agr. 2° Cat.	Definizione strategie operative	185	€ 27,00	€ 4.995,00
Navarra	Divulgazione		Imp.A gr. 1° Cat.	Responsabilità del piano, animazioneGO, coordinamento	134	€ 27,00	€ 3.618,00
Navarra	Divulgazione		Imp.Agr. 2° Cat.	Contenuti sito internet e pagine social, webinar	142	€ 27,00	€ 3.834,00
Navarra	Divulgazione		Imp.Agr. 3° Cat.	Supporto gestionale attività di divulgazione	140	€ 27,00	€ 3.780,00
UNIFE	Esercizio della cooperazione		Professore Ordinario	Funzionamento e gestione del GO	46	€ 73,00	€ 3.358,00
UNIFE	Azione 1		Ricercatore	Prove in campo	150	€ 31,00	€ 4.650,00
UNIFE	Azione 2	Professore	Ordinario	Prove di laboratorio e di campo	120	€ 73,00	€ 8.760,00
UNIFE	Azione 2		Professore Associato	Prove di laboratorio e di campo	182	€ 48,00	€ 8.736,00
UNIFE	Azione 2		Professore Ordinario	Prove in campo	90	€ 73,00	€ 6.570,00
UNIFE	Azione 2		Ricercatore	Prove di laboratorio e di campo	504	€ 31,00	€ 15.624,00
UNIFE	Azione 3		Professore Associato	Prove in campo	150	€ 48,00	€ 7.200,00
UNIFE	Azione 3		Ricercatore	Prove in campo	150	€ 31,00	€ 4.650,00
UNIFE	Azione 4		Professore Ordinario	Elaborazione dati delle prove di campo	31	€ 73,00	€ 2.263,00
UNIFE	Azione 4		Professore Associato	Elaborazione dati delle prove di campo	46	€ 48,00	€ 2.208,00
UNIFE	Divulgazione		Professore Ordinario	Attività di divulgazione	27	€ 73,00	€ 1.971,00
CRPA	Esercizio della cooperazione		Ricercatore	coordinamento attività	6	€ 43,00	€ 258,00
CRPA	Esercizio della cooperazione		Ricercatore	coordinamento organizzativo	10	€ 43,00	€ 430,00

CRPA	Esercizio della cooperazione		impiegato	contrattualistica, rendicontazioni	20	€ 27,00	€ 540,00
CRPA	Esercizio della cooperazione		impiegato	coordinamento amm.vo rendicontuale	8	€ 43,00	€ 344,00
CRPA	Esercizio della cooperazione		Tecnico	segreteria tecnica	52	€ 27,00	€ 1.404,00
CRPA	Azione 1		Tecnico	campionamento e rilievo dati	40	€ 27,00	€ 1.080,00
CRPA	Azione 1		Ricercatore	campionamento e rilievo dati	52	€ 27,00	€ 1.404,00
CRPA	Azione 1		Ricercatore	coordinamento attività, rilievi di campo, elaborazioni	65	€ 43,00	€ 2.795,00
CRPA	Azione 1		Ricercatore	campionamento e rilievo dati	67	€ 27,00	€ 1.809,00
CRPA	Azione 1		Tecnico	campionamento e rilievo dati	20	€ 27,00	€ 540,00
CRPA	Azione 1		Tecnico	analisi laboratorio	60	€ 27,00	€ 1.620,00
CRPA	Azione 1		Tecnico	analisi laboratorio	61	€ 27,00	€ 1.647,00
CRPA	Azione 2		Tecnico	campionamento e rilievo dati	27	€ 27,00	€ 729,00
CRPA	Azione 2		Ricercatore	campionamento e rilievo dati	33	€ 27,00	€ 891,00
CRPA	Azione 2		Ricercatore	coordinamento attività, rilievi di campo, elaborazioni	47	€ 43,00	€ 2.021,00
CRPA	Azione 2		Ricercatore	coordinamento attività, impostazione prove e verifiche	11	€ 43,00	€ 473,00
CRPA	Azione 2		Ricercatore	campionamento e rilievo dati	66	€ 27,00	€ 1.782,00
CRPA	Azione 2		Tecnico	campionamento e rilievo dati	28	€ 27,00	€ 756,00
CRPA	Azione 3		Ricercatore	coordinamento attività, rilievi di campo, elaborazioni	67	€ 43,00	€ 2.881,00
CRPA	Azione 3		Tecnico	campionamento, monitoraggi e rilievo dati	43	€ 27,00	€ 1.161,00
CRPA	Azione 3		Ricercatore	campionamento, monitoraggi e rilievo dati	30	€ 27,00	€ 810,00
CRPA	Azione 3		Ricercatore	coordinamento attività, impostazione prove e verifiche	11	€ 43,00	€ 473,00
CRPA	Azione 3		Tecnico	analisi laboratorio	178	€ 27,00	€ 4.806,00
CRPA	Azione 3		Tecnico	analisi laboratorio	211	€ 27,00	€ 5.697,00
CRPA	Azione 3		Ricercatore	campionamento, monitoraggi e rilievo dati	63	€ 27,00	€ 1.701,00
CRPA	Azione 3		Tecnico	campionamento e rilievo dati	19	€ 27,00	€ 513,00
CRPA	Azione 4		Ricercatore	elaborazione dati e stesura report	54	€ 43,00	€ 2.322,00
CRPA	Azione 4		Ricercatore	elaborazione dati e stesura report	60	€ 43,00	€ 2.580,00
CRPA	Divulgazione		segreteria	supporto attività divulgazione	14	€ 27,00	€ 378,00

CRPA	Divulgazione		Ricercatore	attività di divulgazione	19	€ 43,00	€ 817,00
CRPA	Divulgazione		Ricercatore	attività di divulgazione	8	€ 27,00	€ 216,00
Gherardi	Azione 1		Operaio Specializzato	prova in campo	48	€ 19,50	€ 936,00
Gherardi	Azione 1		Operaio Specializzato	prova in campo	54	€ 19,50	€ 1.053,00
Gherardi	Azione 2		Operaio Specializzato	raccolta dati	22	€ 19,50	€ 429,00
Gherardi	Azione 2		Operaio Specializzato	raccolta dati	29	€ 19,50	€ 565,50
Gherardi	Azione 3		Operaio Specializzato	valutazione dati	12	€ 19,50	€ 234,00
Gherardi	Azione 3		Operaio Specializzato	valutazione dati	39	€ 19,50	€ 760,50
Totale							€ 155.032,50

2.3 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE

Fornitore	Descrizione	Costo
Totale:		

2.4 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI

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

--	--	--

Fornitore	Descrizione	Costo
Totale:		

2.5 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

CONSULENZE ESTERNE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	864,00	Consulente UCS - Giornalista scientifico, supporto editing, rapporto coi media	864,00
Totale:			864,00:

CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo previsto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
Totale:				:

2.6 SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE

Fornitore	Descrizione	Costo
MCM Service	Servizi e materiali comunicazione e divulgazione	3.867,40
Frame	Videoclip classico in IT/EN con speakeraggio EN con drone	2.430,00
Totale:		6.297,40

2.7 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA

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

“Tecniche incremento sostanza organica nei suoli e gestione delle concimazioni e rotazioni colturali per la prevenzione dell’inquinamento da nitrati di origine agricola e controllo erbe infestanti.” – Domanda di Sostegno n. 5697376	
Periodo di Svolgimento - n. 5517727 edizione 1 dal 13/11/2023 - al 04/12/2023 partecipanti 19	
Spesa: 13.642,76 €	Importo contributo richiesto: 13.642,76 €
Contributo Unitario: 718,04 €	Costo Pro Capite: 718,04 €

3 CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico scientifiche	Non sono state riscontrate criticità scientifiche durante il progetto. Tutte le azioni sono state regolarmente svolte ed i risultati ottenuti
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	Nessuna
Criticità finanziarie	Nessuna

4 ALTRE INFORMAZIONI

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

nessuna

5 CONSIDERAZIONI FINALI

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

La continuità temporale dei due progetti (Nitrati Ferrara e DICO-SOS) finanziati dal PSR 2014-2022 dell'Emilia-Romagna e la realizzazione di un impianto sperimentale di lungo periodo hanno permesso di poter trarre delle considerazioni sulla gestione degli agroecosistemi in aree particolarmente vocate per l'agricoltura, ma altrettanto sensibili all'intensificazione agricola come quelle della provincia di Ferrara. La principale considerazione da fare dopo 7 anni di sperimentazione presso il campo di Cona (FE) è che la riduzione delle lavorazioni del suolo (1° pilastro dell'agricoltura conservativa) se non accompagnata da opportune rotazioni (2° pilastro) e dalla copertura costante del suolo (3° pilastro) può limitare e/o ridurre l'accumulo di sostanza organica del suolo. Pertanto, la ricerca di strategie agronomiche innovative deve basarsi su una pianificazione adeguata delle colture in successione cercando di inserire, dove possibile, le colture di copertura come elemento chiave per garantire un'ottimale strutturazione del suolo e favorire il riciclo degli elementi nutritivi. A tal fine il proseguo della sperimentazione anche per i prossimi anni rappresenta un elemento utile per comprendere le complesse dinamiche che riguardano il ciclo dell'azoto e del carbonio e mantenere il livello di fertilità dei terreni compatibilmente con i principi della sostenibilità.

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

AZIONE 1 - Pratiche agricole per aumentare la Sostanza Organica del Suolo e caratterizzazione dei prodotti

L'azione 1 aveva come obiettivo l'impostazione e gestione delle prove sperimentali di campo su una base comune (l'adozione di differenti lavorazioni del suolo) supportate dall'introduzione di colture di copertura al fine di sviluppare agroecosistemi resilienti e sostenibili. Pertanto, la presenza presso la Fondazione per l'Agricoltura "F.lli Navarra" nel sito di Cona (FE) di una prova sperimentale cominciata nel 2017 con il GOI Nitrati Ferrara ha permesso di creare una base solida per le analisi previste nelle azioni successive.

Materiali e Metodi:

Nel sito di Cona sono stati presi in considerazione i seguenti trattamenti sperimentali:

- TESI 1 (CT): lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm + apporto di digestato (pratiche tradizionali)
- TESI 2 (MT): lavorazioni minime senza inversione degli strati + apporto digestato
- TESI 3 (New-NT): conversione a semina su sodo + apporto di digestato in copertura
- TESI 4 (Old-NT): semina su sodo + apporto di digestato in copertura

Il disegno sperimentale è a blocchi randomizzati con 3 repliche per ogni trattamento.

A complemento della prova situata a Cona, sono state impostate le prove presso le località Tresignana e Copparo, presso le aziende agricole "Preti e Gherardi" e "Gherardi Ravalli Modoni", dove l'impostazione sperimentale simile per entrambi i siti è stata la seguente:

- TESI 1 (CT): lavorazioni convenzionali con aratura a 40 cm + apporto di digestato (pratiche tradizionali)
- TESI 2 (MT): lavorazioni minime senza inversione degli strati + apporto digestato
- TESI 3 (New-NT): conversione a semina su sodo + apporto di digestato in copertura

In accordo con la direttiva nitrati della regione Emilia-Romagna nelle tesi CT e MT è stato apportato digestato prima delle lavorazioni, mentre nelle tesi Old-NT e New-NT è stato apportato in fase di copertura. Nella tabella 1.1 vengono riportati i quantitativi e le tempistiche di distribuzione. Sempre in base alla direttiva nitrati della regione Emilia-Romagna è stata valutata un'efficienza di uso dell'azoto del 40% per le distribuzioni avvenute su CT e MT e un'efficienza di uso dell'azoto dell'82% per le distribuzioni avvenute su Old-NT e New-NT. Durante la distribuzione del digestato, un campione rappresentativo è stato prelevato e analizzato presso i laboratori del CRPA. Le analisi di caratterizzazione hanno riguardato: pH, conducibilità, sostanza secca, azoto totale, azoto ammoniacale, fosforo totale, potassio totale, carbonio totale e Acidi Grassi Volatili.

Tabella 1.1: quantitativi e tempistiche della somministrazione del digestato

data	CT - MT		Old-NT - New-NT	
	02/11/2022	05/09/2023	28/04/2023	01/06/2024
dose (t/ha)	45,45	45,45	30,00	35,00
efficienza (%)	40,00	40,00	82,00	82,00
azoto (%)	0,48	0,63	0,62	0,55
Azoto disponibile (kg/ha)	87,56	114,45	116,25	120,37

In post emergenza è stata effettuata una concimazione con urea per raggiungere il quantitativo di 210 kg ha⁻¹ di N per il mais nel 2023 e di 140 kg ha⁻¹ di N per il sorgo nel 2024.

Su tutte le sperimentazioni in data 30/03/23 è stato seminato mais varietà Kerubino (KWS), la semina è avvenuta ad una densità di 9 piante al m² prevedendo un interfila di 75 cm. A 30 giorni dell'emergenza del mais, è stata determinata la densità di piante emerse. Durante il ciclo colturale sono stati svolti diversi sopralluoghi in tutte le località al fine di verificare lo stato della salute della coltura. Il 26 luglio 2023 è stata eseguita la raccolta delle piante di mais per la determinazione della produzione di biomassa e sviluppo della pianta. La raccolta è avvenuta campionando le piante di mais presenti in 2 metri lineari posizionati in un'area rappresentativa di ogni parcella. Le piante sono state misurate per parametri biometrici (altezza, diametro basale, stadio fenologico e caratteristiche della pannocchia) e produttivi (sostanza secca). Di seguito un sub-campione è stato prelevato e analizzato presso

i laboratori del CRPA per la caratterizzazione della biomassa mediante spettroscopia (NIRS) per i seguenti caratteri: umidità, proteine grezze, frazioni proteiche (proteina solubile, proteine legata all'NDF e all'ADF), grasso, ceneri, frazioni della fibra (NDF, ADF, ADL) digeribilità dell'NDF a 24 ore, (dNDF), NDF indigerito (uNDF), amido, zuccheri, calcio e fosforo.

A seguito della raccolta del mais, in data 09/10/23, su tutti i campi sperimentali, è stato seminato il mix di colture di copertura gelive composto da: facelia (40%), rafano (40%) e senape bruna (20%). Di seguito durante l'inverno, sono stati eseguiti differenti monitoraggi al fine di valutare lo stato di sviluppo delle colture di copertura. Purtroppo, l'inverno particolarmente mite (praticamente non sono state registrate giornate sotto lo zero termico) non ha consentito la terminazione naturale della cover crop e in prossimità della semina del sorgo la biomassa delle cover è stata gestita chimicamente. Il 29/04/2024 è stato seminato il sorgo, varietà ABAS (MasSeed) su tutti i campi sperimentali. A circa 30 giorni dalla semina si è provveduto ad effettuare la valutazione della densità di semina e lo stato di salute delle piante. A fine luglio (31/07/2024) si è provveduto alla raccolta e analisi della biomassa di sorgo prodotta in tutte le prove sperimentali oggetto di valutazione (Cona, Tresignana e Copparo).

Oltre alle misure indicate, nella prova svolta presso la Fondazione per l'Agricoltura "F.lli Navarra" nel sito di Cona sono state effettuate le seguenti misurazioni:

- Compattamento del suolo alla semina del mais e del sorgo tramite lo strumento Field Scout 900;
- Stima del benessere delle colture tramite l'indice NDVI con lo strumento RapidScan.
- Umidità del suolo a 7,5 cm di profondità tramite strumento TDR350.

Le misurazioni sono state eseguite per l'intero ciclo colturale di entrambe le colture (mais e sorgo) con una cadenza di 15 giorni circa.

RISULTATI.

I dati relativi alla caratterizzazione del digestato impiegato come ammendante organico in tutte i siti sperimentali sono riportati in Tabella 2.1. Il digestato impiegato nelle lavorazioni CT e MT è stato distribuito il 2/11/2022 e il 5/09/2023. L'ammendante impiegato è stato applicato alla dose di 45,45 t ha⁻¹ con un'efficienza del 40% e un contenuto di azoto totale del 0,48% nel 2022 (corrispondente a 87,56 kg ha⁻¹ di azoto) e 0,63% nel 2023 (corrispondente a 114,45 kg ha⁻¹ di azoto, Tabella 2.1).

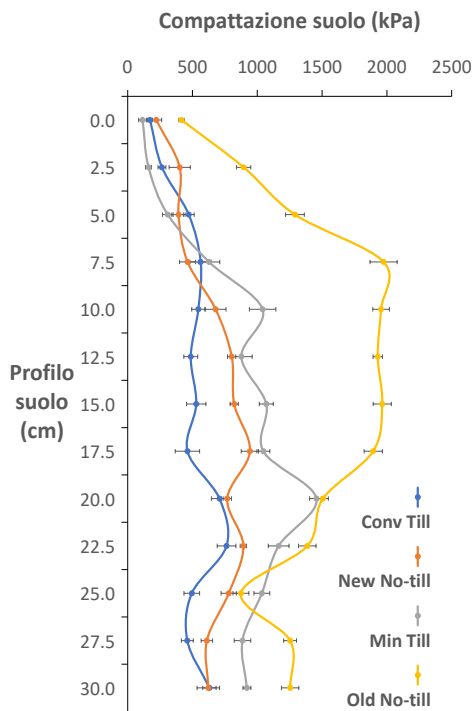
Tabella 2.1: Caratteristiche del digestato distribuito nei siti sperimentali e data di applicazione. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

parametri analizzati	nov-22	apr-23	set-23	mag-24
pH	7,66	7,86	8,09	7,52
solidi totali [g/kg tq]	73,79	88,95	76,66	66,67
solidi volatili [g/kg tq]	61,92	64,69	56,97	46,16
N tot Kjeldahl [mg/kg tq]	4.816,00	6.238,00	6.295,00	5.536,00
N tot Kjeldahl [kg/ton tq]	4,82	6,24	6,30	5,54
N-NH4 [mg/kg tq]	1.913,00	3.295,00		2.534,00
Fosforo [mg/kg tq]	467,00	868,00	630,00	599,80
K – potassio [mg/kg tq]	1860,00	5289,50	4723,00	4307,00
Carbonio Organico Totale [% ST]	52,84	61,68	40,44	34,60
Conducibilità	17,77	29,50	33,60	22,50

In primavera è stata effettuata la distribuzione del digestato in entrambi i trattamenti NT, applicando delle dosi di 30 e 35 t ha⁻¹ nel 2023 e 2024 rispettivamente. È stata considerata un'efficienza dell'82% con concentrazioni di azoto pari a 0,62% (114,25 kg ha⁻¹ di azoto) nel 2023 e 0,55% (120,37 kg ha⁻¹ di azoto) nel 2024.

In primavera 2023, al momento della semina del mais è stata eseguita una determinazione del livello di compattamento del suolo (Fig. 1.1). I dati hanno rilevato che, nel sito di Cona con una successione di lavorazioni iniziata nel 2017, il compattamento del suolo è risultato significativamente maggiore nelle Old-NT già a partire dai primi strati di suolo. Tale effetto è legato al ripetuto passaggio di macchine agricole pesanti che hanno sensibilmente compattato il terreno, rendendo necessari interventi di lavorazione del suolo, oppure un approccio di gestione conservativa, ma orientato a ridurre questa problematica, come l'impiego di un attrezzo decompattatore oppure la coltivazione di cover ad azione decompattante.

Figura 1.1. Compattazione del suolo nel profilo 0 – 30 cm nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona al momento della semina del mais.



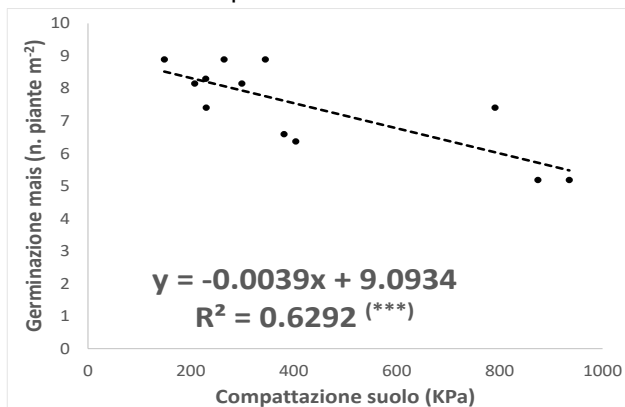
Contestualmente ai rilievi di compattamento sono stati eseguiti anche i rilievi di emergenza della coltura (determinazione del numero di piante al m²). I dati mostrano come la gestione convenzionale del suolo ha fatto rilevare una migliore germinazione del mais, seguito dalla minima lavorazione e New-NT, mentre la tesi Old-NT ha fatto rilevare il minor numero di densità colturale del mais (8,6; 8,1; 7,1 e 5,9 piante m⁻², rispettivamente Fig. 2.1).

Figura 2.1. Densità di germinazione del mais a 30 giorni dalla semina nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona.



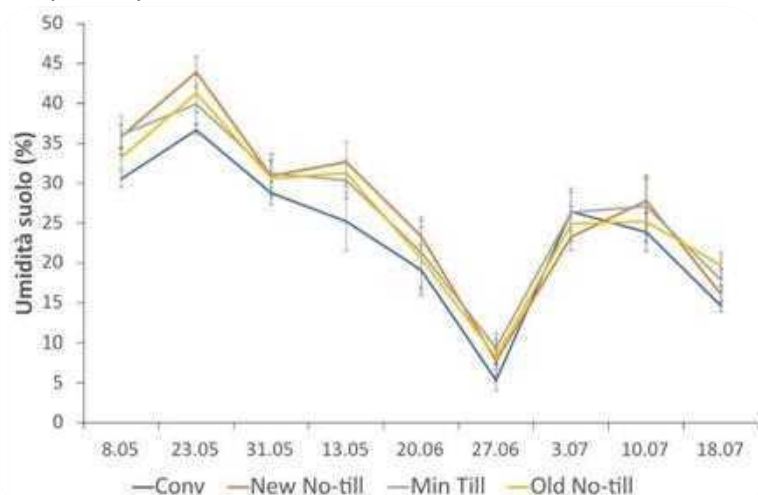
I dati mostrano come la germinazione del mais è risultata essere correlata alla compattezza media del suolo. Infatti, come si evince dalla Figura 3.1, il numero di piante a 30 giorni dalla semina è negativamente proporzionale alla compattazione media del suolo nel profilo 0-30 cm (Fig. 3.1).

Figura 3.1. Relazione tra la densità colturale della coltura del mais a 30 giorni dall'emergenza e il compattamento medio del suolo nel profilo 0-30 cm. *** = P < 0.001.



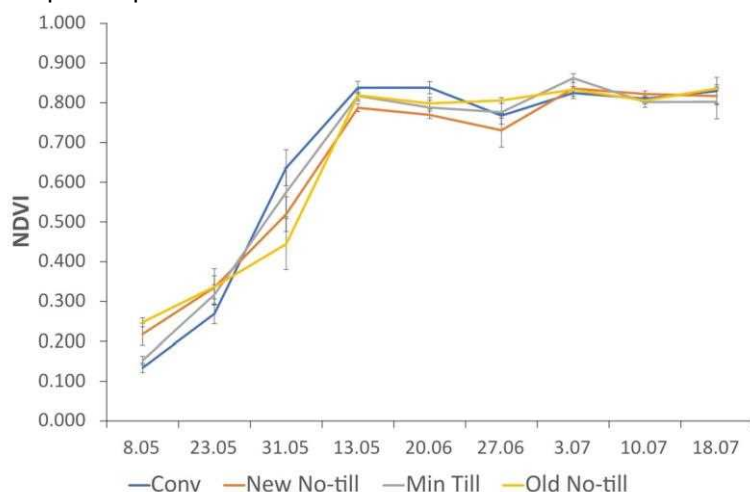
Il contenuto di umidità del suolo misurato per l'intera stagione produttiva del mais ha mostrato come una gestione conservativa del suolo (MT, New-NT e Old-NT) determina una maggiore capacità di trattenere umidità nel suolo mostrando valori sempre superiori a quelli osservati nella gestione convenzionale del terreno (Fig. 4.1). Tale caratteristica assume un ruolo importante nella gestione degli agroecosistemi, soprattutto in ottica di una gestione sostenibile della risorsa idrica, ipotizzando la possibilità di riduzione dei volumi irrigui tramite gestione conservativa.

Figura 4.1. Andamento dell'umidità del suolo durante il ciclo colturale del mais nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona.



In aggiunta, una maggiore disponibilità idrica ha potenzialmente favorito lo sviluppo della coltura del mais. Infatti, i dati relativi al benessere delle piante, misurato tramite l'indice NDVI, per l'intera durata del ciclo colturale del cereale mostra come le piante sono sviluppate con minime differenze tra i diversi trattamenti di gestione del suolo.

Figura 5.1. Andamento dell'indice NDVI durante il ciclo colturale del mais nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona.



Il 26 luglio 2023 è stata eseguita la raccolta delle piante di mais sui siti sperimentali di Cona e Tresignana per la determinazione dei parametri morfologici e produttivi. In genere, a Cona i risultati mostrano che la produzione di biomassa è risultata essere maggiore in CT con 18.24 t ha⁻¹ di s.s., seguita dalla MT ed infine i due sistemi di lavorazione in NT (Tabella 3.1). In generale le piante di mais cresciute nei trattamenti CT e MT hanno mostrato un'altezza e un diametro maggiore rispetto ai sistemi in NT. In genere, nessuna differenza è stata riscontrata per il numero di foglie, il numero di ranghi, la lunghezza e il diametro della pannocchia, anche se il peso è risultato essere significativamente più elevato nell'Old-NT (426,44 g, Tab. 3.1).

Tabella 3.1. Produzione di biomassa e componenti morfologici delle piante di mais al momento della raccolta presso il sito di Cona. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

	Altezza (cm)	Diametro (cm)	Pannocchia lunghezza (cm)	Pannocchia diametro (cm)	Pannocchia Peso (g)	Ranghi (n.)	Foglie (n.)	resa (t ha ⁻¹ s.s.)
CT	306.33 a	2.14 a	32.06 a	4.92 a	346.89 b	17.33 a	13.00 a	18.24 a
New-NT	283.44 b	1.93 b	32.83 a	4.71 a	335.33 b	16.33 a	12.67 a	13.64 b
MT	299.67 a	2.20 a	32.89 a	5.07 a	387.33 ab	16.44 a	12.89 a	15.59 ab
Old-NT	285.00 b	2.14 a	35.33 a	5.22 a	426.44 a	16.89 a	12.89 a	13.29 b

In genere, i dati relativi alla prova svolta presso il sito di Tresignana (tabella 4.1) non mostrano differenze relative ai trattamenti di gestione del suolo sulla produzione e sulle componenti della produzione della coltura del mais. Tale risultato evidenzia come l'adozione di pratiche di lavorazione conservative al primo anno non generano impatti negativi sulla produzione del mais rappresentando una valida alternativa alla gestione convenzionale.

Tabella 4.1. Produzione di biomassa e componenti morfologici delle piante di mais al momento della raccolta presso il sito di Tresignana. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023.

	Altezza (cm)	Diametro (cm)	Pannocchia lunghezza (cm)	Pannocchia diametro (cm)	Pannocchia Peso (g)	Ranghi (n.)	Foglie (n.)	resa (t ha ⁻¹ s.s.)
CT	261.00a	2.01a	30.17a	4.70a	316.22b	14.00a	12.44a	18.62a
MT	260.67a	1.94a	30.44a	4.60a	310.00b	13.78a	11.67a	16.67a
New-NT	261.67a	2.06a	31.89 a	5.02a	377.33 a	14.89a	11.78a	16.42a

In autunno è stata eseguita la semina delle colture di copertura attraverso l'impiego di un miscuglio costituito da facelia, rafano, senape bruna, con l'obiettivo di utilizzare le capacità decompattanti del rafano e ridurre l'impatto negativo del compattamento del suolo sulla germinazione e produzione della coltura da biomassa primaverile estiva. La crescita delle colture di copertura è stata regolare durante il periodo invernale e non sono stati riscontrati problemi di sviluppo o attecchimento della cover crop. A febbraio, in prossimità del massimo sviluppo e prima dell'azione geliva del freddo invernale è stato effettuato il rilievo della biomassa delle colture di copertura.

Tabella 5.1. Produzione di biomassa aerea del miscuglio di colture di copertura presso i siti sperimentali di Cona, Tresignana e Copparo. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

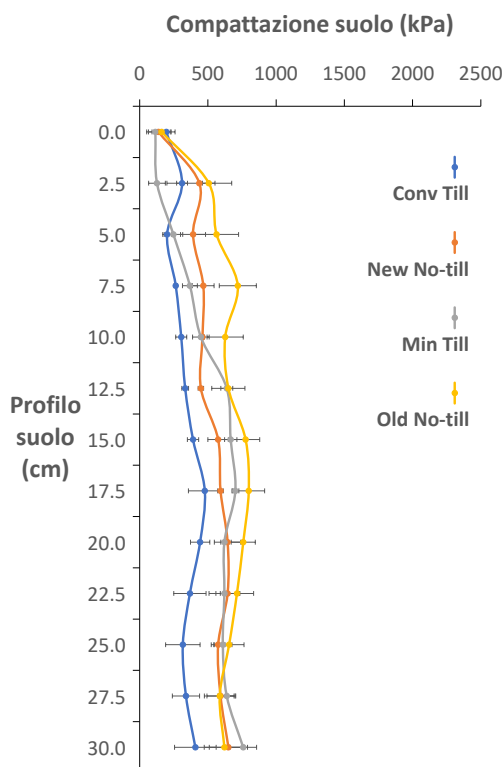
Sito	Trattamento	Biomassa cover crop (g m ⁻² di s.s.)
Cona	CT	350.7 a
	MT	342.7 a
	New-NT	310.7 b
	Old-NT	318.7 b
Tresignana	CT	179.4 a
	MT	93.0 b
	New-NT	81.3 b
Copparo	CT	84.2 a
	MT	71.2 a
	New-NT	29.2 b

In genere per tutti i siti sperimentali la biomassa aerea al momento del rilievo è risultato essere maggiore nei terreni gestiti in convenzionale (350,7, 179,4 e 84,2 g m⁻² di s.s. a Cona, Tresignana e Copparo, rispettivamente, Tab. 4.1), anche se per i siti di Cona e Copparo non sono state riscontrate differenze con il trattamento MT. La maggiore produzione di biomassa delle colture di copertura a seguito di una gestione convenzionale è un effetto riscontrato in ricerche precedenti. Infatti, le colture di copertura, caratterizzate da semi di piccole dimensioni, trovano maggior beneficio da un'ottimale preparazione del letto di semina, mentre in sistemi di non lavorazione i semi, oltre a una maggiore difficoltà di germinazione sono maggiormente assoggettati ad azione di organismi tellurici.

Il 29 aprile 2024 è stata eseguita la semina della coltura del sorgo. Anche per questa coltura, nel sito sperimentale di Cona, si è scelto di procedere con le misurazioni di densità colturale a circa 30 giorni dalla semina e le

misurazioni relative al grado di compattamento, umidità del suolo e benessere delle piante.

Figura 6.1. Compattazione del suolo nel profilo 0 – 30 cm nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona al momento della semina del sorgo.



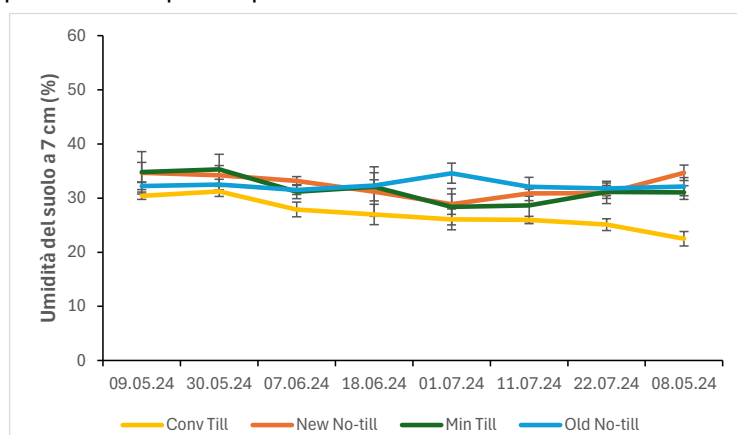
La misura del compattamento del suolo misurato al momento della semina del sorgo ha fatto rilevare una sensibile riduzione del compattamento sui trattamenti gestiti in sistemi conservativo, con particolare riferimento ai sistemi di non lavorazione (Old-NT e New-NT). Tale effetto è probabilmente dovuto all'effetto decompattante delle colture di copertura, in particolare il rafano, mostrando come la scelta di specie con apparato radicale idoneo, consente un'ottimale strutturazione del terreno riducendo gli effetti negativi legati al compattamento. Tuttavia, i dati relativi alla germinazione del sorgo mostrano come per il sito di Cona la germinazione risulti essere statisticamente ridotta nei sistemi conservativi. Precedenti ricerche mostrano che la riduzione della germinazione nei sistemi conservativi può essere mitigato tramite l'incremento della dose di semina in modo da compensare le differenze riscontrate. Un andamento simile è stato rilevato anche per gli altri siti sperimentali (Tab. 6.1).

Tabella 6.1. Densità di piante germinate (n° m⁻²) a circa 30 giorni dalla semina del sorgo. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Cona	CT	20.7	a
	New-NT	16.3	b
	MT	17.3	b
	Old-NT	17.7	b
Tresignana	CT	10.7	a
	MT	9.0	ab
	New-NT	7.3	b
Copparo	CT	12.3	a
	MT	9.3	b
	New-NT	12.0	a

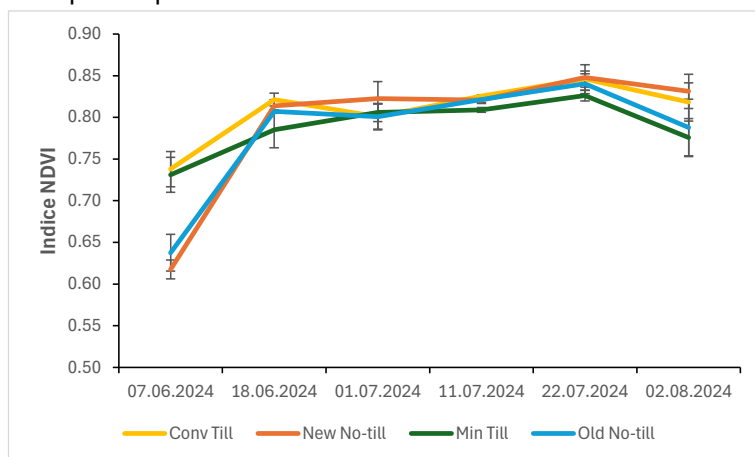
L'andamento dell'umidità nel suolo misurata durante il ciclo culturale del sorgo (Fig. 7.1) mostra un andamento simile a quello osservato l'anno precedente per la coltura del mais. Infatti, l'umidità è stata tendenzialmente superiore nei trattamenti conservativi quali Old-NT, New-NT e MT. Contrariamente, nei trattamenti gestiti come lavorazione convenzionale, il contenuto di umidità del suolo è risultato essere costantemente inferiore rispetto gli altri trattamenti per l'intera durata del periodo sperimentale.

Figura 7.1. Andamento dell'umidità del suolo durante il ciclo colturale del sorgo nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona.



Anche per l'indice di benessere (NDVI) i valori sono risultati essere simili tra i trattamenti sperimentali in linea con i valori e andamento riscontrato su mais nell'annata precedente (Fig. 8.1).

Figura 8.1. Andamento dell'indice NDVI durante il ciclo colturale del mais nei trattamenti sperimentali presenti nella prova sperimentale a Cona.



Nella tabella 7.1 vengono riportate le produzioni e i principali parametri misurati. La densità è risulta in media di circa 16 p.te/m² ma con valori maggiori in CT rispetto a MT, Old-NT e New-NT. Viceversa, la sostanza secca, che in media è stata di 26,8%, è risultata maggiore in Old-NT (27%) e minore in CT (24%). La tesi CT ha fatto registrare valori decisamente maggiori rispetto alle altre tre tesi sia per il parametro altezza che per la produzione di biomassa, sia fresca che secca. In particolare, rispetto alla tesi Old-NT l'altezza è risultata maggiore del 25%, la biomassa fresca addirittura del 92% e quella secca del 67%. Sicuramente i fattori che hanno influenzato tale andamento sono stati la minore densità di piante (-16%) associata ad una maggiore presenza d'infestanti che nel caso specifico ha raggiunto il 68% (tabella 4.2).

Le tesi MT e New-NT hanno invece mostrato andamenti simili per tutti i parametri presi in considerazione con valori più alti rispetto alla tesi Old-NT ma più bassi rispetto alla tesi CT.

Tabella 7.1. Produzione di biomassa e componenti morfologici delle piante di sorgo al momento della raccolta presso il sito di Cona. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

Tesi	densità (p.te/m ²)	sostanza secca (%)	Altezza (cm)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	biomassa secca resa (t ha ⁻¹)
CT	18,79	24,04	190,89	62,42	14,93
MT	15,76	28,18	170,44	39,09	11,27
New NT	14,85	27,43	168,22	40,30	11,13
Old NT	16,06	27,42	152,67	32,42	8,93
media	16,36	26,77	170,56	43,56	11,56

Tabella 8.1. Produzione di biomassa e componenti morfologici delle piante di sorgo al momento della raccolta presso il sito di Tresignana. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023.

Tesi	densità (p.te/m ²)	sostanza secca (%)	Altezza (cm)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	biomassa secca resa (t ha ⁻¹)
CT	9,70	21,42	160,11	59,39	12,57
MT	8,18	21,53	146,89	56,97	12,27
New NT	6,67	21,28	130,67	43,64	9,26
media	8,18	21,41	145,89	53,33	11,37

In località Tresignana (tabella 8.1) la densità al momento della raccolta è stata decisamente inferiore rispetto a quella della località Cona con una media di 8 p.te m⁻². Anche in questa località la semina su sodo (New-NT) ha fatto registrare il valore più basso e la tesi CT il valore più alto. La sostanza secca non s'è invece differenziata fra le tesi messe a confronto ed è stata in media di 21,4%. Anche l'altezza delle piante, in media decisamente inferiori rispetto a quella di Cona, è stata maggiore nella tesi CT rispetto sia a MT (-9,0%) che a Old-NT (-22,5%). La produzione di biomassa sia fresca che secca è stata invece simile fra CT e MT mentre New-NT ha fatto registrare un gap del 36% per la biomassa fresca e del 35% per la biomassa secca. Anche in questo caso le minori rese produttive sono da imputare sia alla minore densità (-45%) e alla maggiore presenza di infestanti (tabella 4.2).

Tabella 9.1. Produzione di biomassa e componenti morfologici delle piante di sorgo al momento della raccolta presso il sito di Copparo. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023.

Tesi	densità (p.te/m ²)	sostanza secca (%)	Altezza (cm)	Biomassa fresca (t ha ⁻¹)	biomassa secca resa (t ha ⁻¹)
CT	11,21	23,83	174,00	49,39	11,80
MT	10,30	21,21	174,00	45,45	9,67
New NT	9,09	24,80	146,44	27,27	6,67
media	10,20	23,28	164,81	40,71	9,38

Nella tabella 9.1 vengono riportati i risultati della raccolta fatta presso il campo di Copparo. La densità è stata in media di 10,2 p.te m⁻² e la sostanza secca di 23,3%. Come nelle altre località l'altezza (-23,3%), biomassa fresca (-81,1%) e biomassa secca (-76,9%) sono risultate inferiori nella tesi New-NT rispetto a CT, mentre le tesi CT e MT hanno mostrato valori simili.

Nel complesso, come per il mais, anche nel sorgo la semina su sodo ha comportato una minore densità di piante con conseguente riduzione delle altezze ma soprattutto delle rese che risultano in alcuni casi dimezzate. La densità di semina in tutte le località è stata decisamente inferiore rispetto alle aspettative e la causa potrebbe essere la presenza di abbondanti residui della coltura di copertura che non avendo terminato il suo ciclo in inverno a causa delle temperature miti ha continuato a vegetare costringendo gli agricoltori a terminarla chimicamente in presemina non consentendo una sua parziale degradazione.

Le analisi qualitative della biomassa sia di mais che di sorgo sono state effettuate presso i laboratori del CRPA con metodologia NIRs.

Tabella 10.1. Principali parametri qualitativi del trinciato di mais in località Cona nel 2023. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Tesi	proteine [%SS]	NDF [%SS]	grassi [%SS]	amido [%SS]	zuccheri [%SS]	Potenziale metanigeno (m ³ t ⁻¹)
CT	8,26	48,95	1,89	12,57	1,45	63,84
New NT	7,74	48,49	1,77	13,97	1,51	63,82
MT	8,23	45,36	2,15	18,35	1,34	67,53
Old NT	8,24	47,21	1,99	16,15	1,41	66,06
media	8,12	47,50	1,95	15,26	1,43	65,31

In località Cona in media il contenuto proteico è stato di 8,12% con il valore più basso fatto registrare nella tesi New

NT. Le fibre neutro detese hanno in media fatto registrare un valore di 47,5% con il valore più basso registrato nella tesi MT ed il più alto nella tesi CT. Sia i grassi (in media 1,95%) che l'amido (in media 15,26%) hanno fatto registrare valori più alti nella tesi MT e quelli più bassi nella tesi CT. Il potenziale metanigeno più alto è stato registrato nelle tesi MT e Old NT con valori sopra i 65,3 m³ t⁻¹.

Tabella 11.1. Principali parametri qualitativi del trinciato di mais in località Tresignana nel 2023. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023

Tesi	proteine [%SS]	NDF [%SS]	grassi [%SS]	amido [%SS]	zuccheri [%SS]	Potenziale metanigeno (m ³ t ⁻¹)
CT	9,33	44,19	2,30	18,79	1,45	76,73
New NT	8,97	43,11	2,25	21,82	1,32	73,77
MT	8,99	43,84	2,37	20,52	1,30	76,60
media	9,09	43,72	2,31	20,38	1,36	75,70

In località Tresignana il contenuto proteico è risultato in media di 9,1%, circa il 10% in più rispetto a Cona senza differenze significative fra le tesi messe a confronto. Viceversa, il contenuto di fibre detese, che in media è stato di 43,7% senza grosse differenze fra le tesi, è stato inferiore del 10% sempre rispetto all'altra località. Anche a Tresignana, come a Cona, il contenuto di amido è stato inferiore nella tesi CT rispetto alle altre, viceversa il potenziale metanigeno, che in media è stato di 75,7 m³ ha⁻¹ è stato il più alto. Confrontando le due località si nota come il potenziale metanigeno del mais prodotto a Tresignana sia superiore di oltre il 18% rispetto a quello prodotto a Cona.

Tabella 12.1. Principali parametri qualitativi del trinciato di sorgo in località Cona nel 2024. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Tesi	proteine [%SS]	NDF [%SS]	grassi [%SS]	amido [%SS]	zuccheri [%SS]
CT	7,45	55,63	2,22	14,41	6,69
New NT	6,13	60,12	1,82	5,76	10,62
MT	6,56	56,77	2,00	8,73	10,66
Old NT	5,66	59,69	1,88	5,56	11,62
media	6,45	58,05	1,98	8,62	9,90

Il sorgo coltivato a Cona (tabella 12.1) ha mostrato un contenuto di proteine di 6,4% dove la tesi Old NT fa fatto registrare il valore più basso e la tesi CT il più alto (+31% rispetto a Old NT), mentre il contenuto di fibre (in media 58%) e grassi (in media 1,9%) non ha fatto registrare differenze significative. Il contenuto di amido è stato in media di 8,6% con i valori più bassi registrati nelle tesi con semina su sodo (in media 5,6%) ed il valore decisamente più alto nella tesi CT (14,4%). Il valore degli zuccheri è stato in media di 9,9% con il valore più alto nella tesi Old NT e il più basso nella tesi CT, probabilmente a causa del ritardo nella maturazione del panicolo registrato nella tesi Old NT.

Tabella 13.1. Principali parametri qualitativi del trinciato di sorgo in località Tresignana nel 2024. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023

Tesi	Proteine [%SS]	NDF [%SS]	grassi [%SS]	amido [%SS]	zuccheri [%SS]
CT	11,57	64,27	1,81	1,42	7,25
New NT	12,37	64,25	1,84	0,31	6,92
MT	11,80	64,63	1,79	1,19	7,74
media	11,91	64,38	1,81	0,95	7,30

Per tutti i principali parametri analizzati le tre tesi messe a confronto a Tresignana (tabella 13.1) non hanno mostrato differenze significative. Nello specifico il contenuto medio di proteine è stato 11,9%, quello delle fibre 64,3% ed i grassi del 1,8%. Il contenuto di amido e zuccheri è risultato piuttosto basso, probabilmente perché la coltura era ancora in fase di post fioritura inizio riempimento del seme.

Tabella 14.1. Principali parametri qualitativi del trinciato di sorgo in località Copparo nel 2024. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023

Tesi	proteine [%SS]	NDF [%SS]	grassi [%SS]	amido [%SS]	zuccheri [%SS]
CT	9,04	64,69	1,64	0,37	9,22

New NT	8,27	62,44	1,77	1,57	10,39
MT	9,74	64,71	1,67	2,09	8,81
media	9,02	63,94	1,69	1,25	9,47

Anche il sorgo coltivato in località Copparo (tabella 14.1) non ha mostrato differenze significative fra le tesi sul contenuto proteico (in media 9%), di fibre (in media 63,9%) e grassi (in media 1,7%). Viceversa, il contenuto di amido è stato decisamente inferiore nella tesi CT rispetto alle altre due e la MT ha presentato un contenuto di zuccheri inferiore rispetto alle altre due tesi (in media -10%). Tutti i parametri analizzati sono risultati simili a quelli registrati a Tresignana.

Azione 2 - Monitoraggio rimozione nitrati e diffusione erbe infestanti

MONITORAGGIO RIMOZIONE NITRATI

Come già evidenziato nel corso di precedenti sperimentazioni (es. GOI Nitrati Ferrara), gli eventi piovosi intensi, estremizzati negli ultimi anni, nei suoli pesanti della provincia di Ferrara sono tali da determinare condizioni di saturazione idrica per giorni o settimane, il cui effetto sulle trasformazioni dei nitrati è potenzialmente importante. La sperimentazione è stata volta a descrivere le principali trasformazioni dell'azoto apportato ai campi tramite il digestato, dalla sua distribuzione, in ottobre, al momento di maggiore assimilazione da parte delle colture, in maggio, nella tesi di minima lavorazione. In tale periodo sono state simulate condizioni di saturazione idrica e descritte le trasformazioni dell'azoto e le perdite di nitrati.

I risultati delle prove di laboratorio sono stati confrontati con i dosaggi dell'azoto totale e del carbonio organico effettuati da CRPA negli stessi campi della Fondazione Navarra. L'incrocio dei risultati ha rafforzato i risultati ottenuti, con maggiore possibilità di utilizzarli a fini applicativi.

In carote di suolo prelevate dai campi sperimentali sono stati monitorati, in continuo, i parametri fisici e chimici che regolano i processi di trasformazione, percolazione e rimozione dell'azoto. I protocolli seguiti sono stati basati sui risultati sperimentali di studi precedenti, effettuati nello stesso sito e in siti comparabili della provincia di Ferrara (es. GOI Nitrati Ferrara), descritti in decine di articoli pubblicati su riviste scientifiche internazionale, di cui questo programma sperimentale rappresenta la prosecuzione.

Nei campi sperimentali della Fondazione Navarra, nel GOI Nitrati Ferrara, utilizzando traccianti è stato evidenziato un tempo minimo di circa tre anni per monitorare il trasporto di nitrati dal suolo superficiale all'acquifero freatico, tempo superiore alla durata dello stesso programma sperimentale. Per questa ragione si è deciso di concentrare la sperimentazione sui processi biogeochimici di trasformazione dell'azoto che in detti suoli avvengono principalmente nei primi sessanta centimetri superficiali.

I trattamenti su cui è stata concentrata la sperimentazione sono stati volti a chiarire l'effetto dell'utilizzo del digestato, in relazione a:

- a) tempistiche di mineralizzazione del digestato dalla distribuzione in occasione delle lavorazioni autunnali;
- b) effetto del verificarsi di condizioni di saturazione idrica, dopo alcuni mesi dalla distribuzione di digestato, sulla rimozione di nitrati per denitrificazione.

Da un punto di vista sperimentale, 8 carote di suolo, 4 trattate e 4 di controllo, sono state prelevate dalla tesi di minima lavorazione, con distribuzione di digestato, in autunno. Le due prove sono state finalizzate ad indagare eventuali effetti, non ancora descritti, delle tempistiche di distribuzione sulla disponibilità di azoto per le colture e sul rischio di perdite in ambiente. L'incubazione delle carote di suolo ha previsto l'aggiunta di digestato, nelle quantità e modalità applicate in campo e la simulazione di un evento di pioggia tale da determinare la propagazione di un fronte di saturazione idrica. Il trasferimento del fronte saturo verso il fondo delle carote è stato monitorato in continuo con estrazione di campioni acquosi dalle carote. Il monitoraggio della speciazione dell'azoto nei campioni acquosi prelevati dalle carote e dal surnatante, assieme al dosaggio dell'azoto gassoso nel surnatante ha permesso di descrivere le cinetiche di trasformazione dell'azoto e in particolare della denitrificazione.

Materiali e metodi

Da un punto di vista sperimentale, 8 carote di suolo (diametro interno 19.5 cm, altezza 60 cm) sono state prelevate nei campi agricoli dell'Azienda Agricola Fondazione Navarra. I suoli sono rappresentativi della provincia ferrarese con una tessitura limo-argillosa e sottoposti a minima lavorazione. Per evitare il compattamento, l'orizzonte di 60 cm di suolo è stato prelevato in 3 strati (20 cm a strato: 0-20; 20-40; 40-60 cm dalla superficie di campo) con l'utilizzo di un carotatore di acciaio (Fig. 2 – 3). In seguito al campionamento, le carote di suolo sono state ricomposte secondo gli stessi orizzonti di profondità all'interno di tubi di plexiglass chiusi sul fondo e trasportate in laboratorio, dove sono state lasciate per un certo tempo, affinché si stabilizzassero.

Figura 1.2: Fasi del campionamento delle carote di suolo in strati di 20 cm (0-20, 20-40, 40-60 cm dalla superficie del suolo) con l'utilizzo di un carotatore di acciaio.



Figura 2.2: Fasi di ricomposizione delle carote di suolo secondo lo stesso ordine di profondità fino al completamento dell'orizzonte di 60 cm.



In laboratorio, le carote di suolo sono state suddivise in due gruppi: sulle prime 4 è stato applicato il digestato, nella stessa quantità con cui è stato distribuito in campo, mentre le restanti 4 sono state utilizzate come controllo. Una carota per trattamento è stata utilizzata per le prove di monitoraggio delle proprietà idrauliche del suolo, mentre le altre 3 sono state utilizzate per l'esperimento di saturazione dei suoli.

1. Attività di campo

In seguito al campionamento delle carote di suolo, nelle stesse parcelle di campo in cui è stata applicata la minima lavorazione, sono stati installate sonde Watermark per la misura della conducibilità elettrica (EC; $\mu\text{S}/\text{cm}$) e in prossimità una termocoppia per la misura della temperatura del suolo ($^{\circ}\text{C}$; a -25 e -50 cm dalla superficie del suolo), per un totale di otto sonde ($4 \times 2 = 8$) con un'acquisizione oraria (Fig. 3.2).

Figura 3.2. Sonda Watermark installata in campo per il monitoraggio della temperatura a diverse profondità (- 25 e -50 cm dalla superficie del suolo; $^{\circ}\text{C}$) e della conducibilità elettrica a diverse profondità (- 25, -50, - 75 e -100 cm dalla superficie del suolo; $\mu\text{S}/\text{cm}$)



2. Aggiunta di digestato in laboratorio

In laboratorio, le carote di suolo sono state tenute umide fino all'aggiunta di digestato, le cui caratteristiche chimiche sono elencate in Tabella 1.2. La quantità aggiunta è stata calcolata in modo da replicare esattamente quella distribuita in campo nel novembre del 2023 (45.45 t ha⁻¹). In particolare, in ogni colonna sono stati distribuiti sulla superficie 130 g di digestato, subito interrati, come in campo, nel caso delle carote con un raschietto manuale, interessando i primi 5 cm della colonna (Fig. 4.2).

Figura 4.2. Aliquote di digestato pronte per la distribuzione (in alto a sinistra), operazione di distribuzione del digestato alle carote di suolo (in alto a destra), digestato sulla superficie del suolo prima dell'interramento



Tabella 1.2: Caratteristiche del digestato aggiunto nelle carote di suolo e sul campo sperimentale della Fondazione Navarra.

pH	8.09
Solidi totale [g kg_{tq}⁻¹]	76.66
Carbonio Organico Totale [% ST]	40.44
C/N	4.92
N tot Kjeldahl [kg ton_{tq}⁻¹]	6.29
N-NH4 [kg ton_{tq}⁻¹]	4.01
N/ha (kg)	286.00
Efficienza azoto (%)	63.00
Azoto disponibile (kg ha⁻¹)	180.18

3. Proprietà idrauliche

Nelle carote deputate allo studio delle proprietà idrauliche è stata aggiunta una sonda di circa 65 cm (Drill & Drop Connect, Soil Moisture Probe) utile per monitorare contenuto volumetrico di acqua e temperatura del suolo a diverse profondità dalla superficie (5, 35, 55 cm). Per verificare le vie preferenziali di percolazione sulla colonna priva del digestato è stata effettuata una prova mediante l'impiego della fluoresceina, utilizzata come tracciante. Entrambe le carote (trattata con digestato e controllo) sono state sottoposte a continue piogge, ognuna di 44.1 mm fatti precipitare in circa 3 ore, per simulare le precipitazioni previste secondo il modello del CMCC RCP 8.5 2021-2050 per la provincia ferrarese (+14% delle precipitazioni monitorate negli ultimi anni).

4. Misura della respirazione attraverso il dosaggio della CO₂ emessa dalle carote di sedimento.

L'attività respiratoria microbica è stata misurata attraverso la produzione di CO₂ in carote a cui è stato aggiunto il digestato, confrontate con le carote di controllo. L'emissione di CO₂ è anche correlata all'emissione di azoto ammoniacale. La CO₂ è stata dosata tramite un Portable CO₂ Gas Analyzer EGM-5 - PP systems (Fig. 5.2), secondo il metodo della Soil Respiration Chamber (Parkinson; 1981).

Le misure sono state effettuate con diverse frequenze:

- ogni 2-3 h nei primi 2 giorni dalla distribuzione di digestato;
- ogni 4 h dal terzo al quinto giorno;
- ogni 6 h dal quarto al settimo giorno;
- ogni 24 h dal settimo al tredicesimo giorno;
- ogni 48 h dal quattordicesimo giorno fino al termine dell'esperimento.

Le misure di CO₂ sono state concluse dopo 180 giorni di monitoraggio, quando si è osservato un delta quasi nullo nell'emissione di CO₂ tra le carote con il digestato e le carote dedicate al controllo.

Figura 5.2 Misura dell'emissione di CO₂ da una carota di suolo in seguito all'aggiunta di digestato attraverso l'utilizzo del Portable CO₂ Gas Analyzer EGM-5 - PP systems nei laboratori di Ecologia delle acque dell'Università di Ferrara.



5. Saturazione idrica del suolo superficiale e analisi di laboratorio

Dopo circa quattro mesi dall'aggiunta di digestato, tutte le carote, sia quelle in cui è stato aggiunto che quelle di controllo, sono state saturate lentamente con l'aggiunta di acqua mono-distillata per simulare gli eventi estremi di pioggia, che negli ultimi anni stanno interessando la provincia di Ferrara con sempre maggiore frequenza, e che determinano una condizione di saturazione dello strato superficiale dei suoli agricoli. Dopo l'operazione di saturazione, le carote sono state sigillate con un tappo di plexiglass dotato di una guarnizione in gomma a tenuta di vite tra due dischi in PVC (figura 6.2). Il tappo era equipaggiato con un motore da 12 V montato esternamente e una croce quadrata in plexiglass, interna alla carota, rotante a 10 giri al minuto. Questo sistema ha permesso di rimescolare il surnatante, tenendo in equilibrio l'acqua libera con quella interstiziale del suolo superficiale, senza determinare risospensione. Una volta sigillata, ogni carota risultava composta da 60 cm di suolo ricoperti da 5 cm di acqua. Il surnatante di ogni carota è stato campionato a frequenze decrescenti man mano che l'esperimento procedeva: due volte al giorno per i primi sette giorni, quotidianamente durante i dieci giorni successivi fino al termine dell'incubazione per un totale di due settimane. L'acqua è stata prelevata utilizzando una siringa da 50 mL attraverso un tubo di campionamento in plastica sigillato, inserito nel coperchio superiore e dotato di una piccola valvola unidirezionale, aperta solo in occasione dei campionamenti (Fig. 7.2). Per tenere la colonna di suolo sempre satura, l'acqua prelevata è stata sostituita da un tubo di plastica, anch'esso sigillato, inserito nel coperchio superiore in direzione opposta al tubo di campionamento e anch'esso dotato di una valvola unidirezionale, che a sua volta era collegata ad una tanica di acqua; il flusso del volume sostituito in ogni carota è stato aiutato dalla gravità.

Figura 6.2. Allestimento sperimentale delle 6 carote di suolo (le 3 carote a sinistra sono le carote destinate al controllo, 3 carote di destra sono quelle a cui è stato aggiunto il digestato).



I campioni di acqua prelevati sono stati analizzati per determinare le forme di N inorganico disciolto (NO_3^- , NO_2^-) e azoto molecolare (N_2). Il NO_3^- è stato determinato con l'utilizzo di un Technicon AutoAnalyser II (Armstrong et al., 1967) mentre il NO_2^- con Jasco V-550 applicando il metodo spettrofotometrico standard (Golterman et al., 1978). I campioni per il dosaggio dell'azoto gassoso (N_2) sono stati conservati in Exetainer da 12 mL, avvelenati aggiungendo 100 μL di soluzione di ZnCl_2 7 M e poi analizzati tramite spettrometria di massa con iniezione a membrana (MIMS, Bay Instruments; Kana et al., 1994), nei laboratori di Ecologia delle acque dell'Università di Ferrara. Ad ogni campionamento, la temperatura e la conducibilità dell'acqua sono state misurate con una sonda multiparametrica (YSI Model 85—Handheld Dissolved Oxygen, Conductivity, Salinity and Temperature System, YSI, Incorporated, Yellow Springs, OH, USA).

Figura 7.2. Fase di campionamento dell'acqua sovrastante ogni carota per il monitoraggio delle specie azotate.



Risultati e discussione

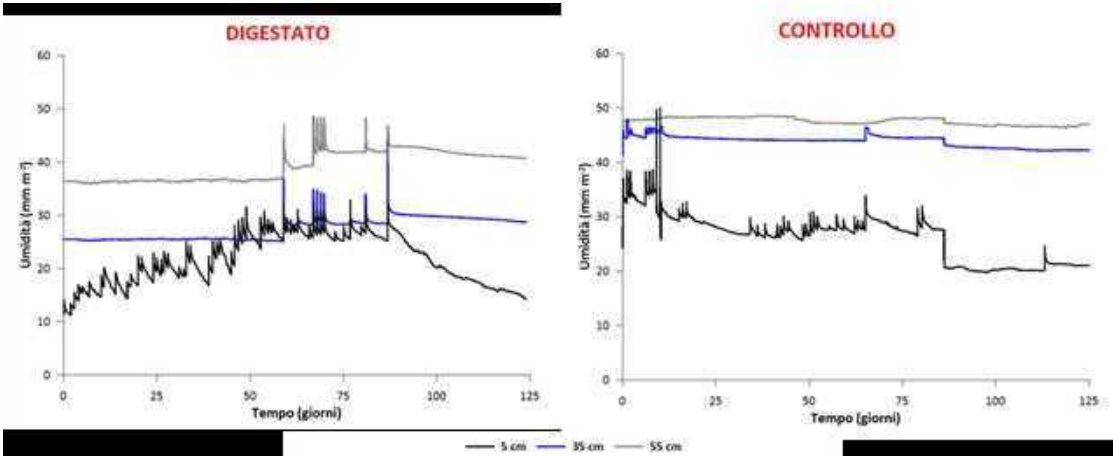
1. Proprietà idrauliche dei suoli

La prima fase della sperimentazione ha riguardato il monitoraggio delle proprietà idrauliche delle carote di suolo, sia con digestato che senza. Queste carote sono state sottoposte a piogge continue e consecutive, la cui intensità è stata di 44.1 mm in circa 3 ore, previste dalla CMCC RCP 8.5 2021-2050 (+14% delle precipitazioni monitorate negli ultimi anni) per la provincia di Ferrara. I principali risultati si riferiscono al contenuto volumetrico di acqua, noto come umidità del suolo (mm m^{-2}), e alla temperatura del suolo ($^{\circ}\text{C}$) misurata a tre diverse profondità dalla superficie (-5, -35 e -55 cm).

I grafici mostrano che l'umidità del suolo è risultata inferiore in superficie, nonostante le precipitazioni, poiché l'acqua tendeva a percolare lungo tutto il profilo del suolo (Fig. 8.2). A causa delle macro-fratture presenti nelle carote, l'acqua ha raggiunto facilmente la profondità di 55 cm in entrambi i trattamenti, con e senza digestato. Tuttavia, la sonda posizionata a 5 cm di profondità ha mostrato le maggiori variazioni dovute alle precipitazioni, con picchi corrispondenti agli eventi piovosi. Per la carota senza digestato, le precipitazioni non hanno influenzato

significativamente l'umidità a 55 cm di profondità, a differenza a 35 cm il contenuto di acqua è risultato influenzato dagli eventi piovosi. Per la colonna con il digestato, gli stessi eventi piovosi, in termini di frequenza e intensità, sono stati simulati dopo circa 60 giorni dall'aggiunta dell'ammendante. Durante tale periodo, la colonna è stata mantenuta umida e ciò giustifica la presenza dei picchi di umidità emersi durante i 50 giorni successivi all'aggiunta di digestato nei primi 5 cm di suolo. Inoltre, la fase di interrimento del digestato ha provocato una fratturazione eccessiva del suolo superficiale, entro i primi 5 cm, ciò ha consentito all'acqua piovana di raggiungere anche profondità maggiori. Infatti, le sonde a profondità superiori (-35 e -55 cm) hanno continuato a rilevare l'influenza delle precipitazioni a causa delle microfratture.

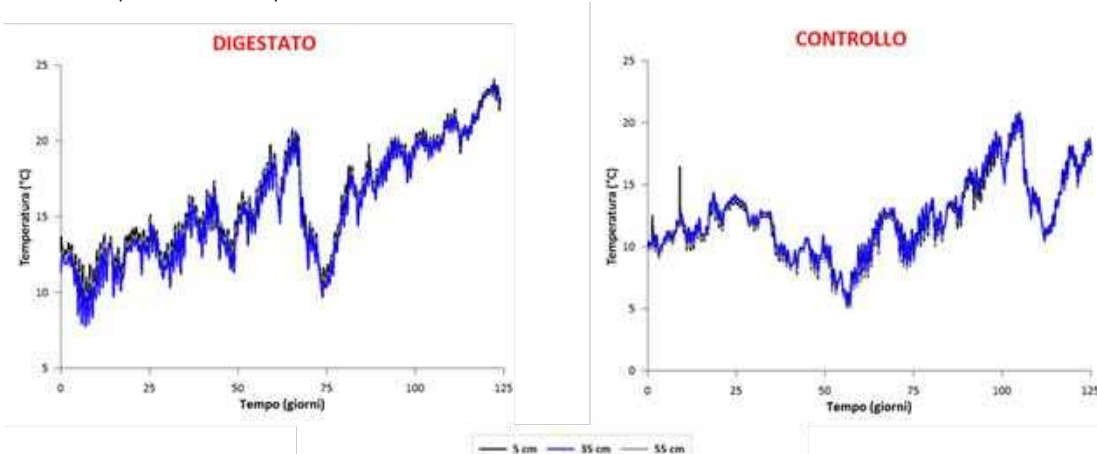
Figura 8.2. Monitoraggio del contenuto volumetrico di acqua (esprimibile come umidità; mm m^{-2}) durante eventi piovosi successivi di circa 44.1 mm, come previsto dal modello CMCC RCP 8.5 per il periodo 2021-2050 (+14% rispetto alle precipitazioni attuali nella provincia di Ferrara). Il monitoraggio è stato effettuato sia sulla colonna trattata con digestato (a sinistra) sia sulla colonna di controllo (a destra), entrambe dotate di sonda Drill&Drop per la misurazione a diverse profondità dalla superficie del suolo (da 5 a 55 cm).



Il trend temporale della temperatura (Fig. 9.2) non ha evidenziato differenze significative lungo il profilo della carota di suolo. Tuttavia, si è riscontrata una differenza tra la replica trattata con digestato e quella di controllo, legata alle tempistiche della sperimentazione. Infatti, come già anticipato in precedenza, le precipitazioni sono state simulate prima sulla colonna di controllo e in seguito su quella di digestato. Ciò è emerso anche dai risultati di monitoraggio della temperatura del suolo, l'incremento di questa è emerso dopo circa 75 giorni nella colonna con digestato, mentre nella colonna di controllo l'aumento della temperatura è stato rilevato dopo 50 giorni dall'inizio del monitoraggio.

Nonostante queste differenze temporali, umidità e temperatura sono risultate strettamente correlate. Si nota, infatti, che la riduzione dell'umidità del suolo, in particolare nella carota con digestato, ha coinciso con un incremento della temperatura, che raggiunge temperature al di sopra dei 20°C a tutte e tre le profondità monitorate.

Figura 9.2. Monitoraggio della temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante eventi piovosi successivi di circa 44.1 mm, come previsto dal modello CMCC RCP 8.5 per il periodo 2021-2050 (+14% rispetto alle precipitazioni attuali nella provincia di Ferrara). Il monitoraggio è stato effettuato sia sulla colonna trattata con digestato (a sinistra) sia sulla colonna di controllo (a destra), entrambe dotate di sonda Drill&Drop per la misurazione a diverse profondità dalla superficie del suolo (da 5 a 55 cm).



Dopo gli eventi piovosi, è stata effettuata una prova con il tracciante fluoresceina sulla colonna di controllo per analizzare le vie preferenziali di infiltrazione del suolo, prima che le acque raggiungessero i 60 cm di profondità in campo. La foto illustra come, durante la pioggia, le vie preferenziali dell'acqua sono le fratture di dimensioni maggiori create durante le fasi di campionamento e ricomposizione della colonna di suolo. Tuttavia, la sperimentazione ha rivelato che l'acqua piovana si infiltra lentamente lungo la colonna di suolo, principalmente a causa della bassa permeabilità del suolo, soprattutto nello strato compreso tra i -15 cm e i -35 cm dalla superficie, come evidenziato nella foto sottostante (Fig. 10.2).

Figure 10.2. Foto della colonna di suolo dedicata al controllo e alla caratterizzazione delle proprietà idrauliche del suolo in cui è stato aggiunto il tracciante fluoresceina per osservare le vie preferenziali dell'acqua piovana nel suolo sperimentale fino ai 60 cm.



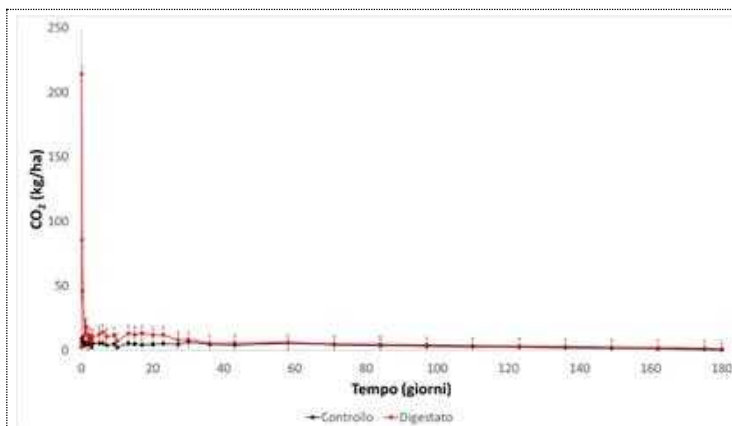
2. Attività microbica respiratoria di mineralizzazione del digestato

Le evidenze raccolte durante la sperimentazione hanno incluso le analisi dell'attività respiratoria derivante dalla mineralizzazione del digestato. Dopo l'aggiunta del digestato, i risultati relativi all'emissione di CO₂ ottenuti hanno mostrato un andamento simile a quello descritto in altri studi tratti dalla letteratura (Pezzolla et al., 2012; Czubaszek e Wysocka-Czubaszek, 2018; Severin et al., 2015). I grafici presentati in Figura 12 mostrano il confronto tra la media dei flussi di CO₂, espressi in kg ha⁻¹, nelle carote di suolo con digestato e nelle carote di controllo.

L'evoluzione temporale dei flussi di CO₂, dopo l'aggiunta del digestato, evidenzia un rilascio iniziale rapido, con picchi fino a 230 kg ha⁻¹ di CO₂ entro le prime 48 ore. Questo è seguito da un calo improvviso e successivo declino graduale fino al termine del periodo di monitoraggio di 180 giorni, quando le emissioni nei due trattamenti sono risultate del tutto equivalenti. L'aumento delle emissioni di CO₂ subito dopo l'aggiunta del digestato è dovuto alla decomposizione rapida del carbonio organico presente nel digestato (Tabella 1.2, dati CRPA). Il digestato, essendo una matrice organica facilmente degradabile, dopo l'aggiunta ha stimolato l'attività microbica del suolo. Inoltre, l'azione di interrimento del digestato nei primi 5 cm di suolo ha favorito una maggiore areazione e ha accelerato la degradazione aerobica della sostanza organica, contribuendo così ad un rilascio maggiore di CO₂ (De Nobili et al., 2001).

Secondo i dati del CRPA, il contenuto di carbonio organico nel digestato applicato in campo e successivamente utilizzato anche in laboratorio è pari a 0.53 g kg⁻¹, corrispondente al 40% dei solidi totali presenti nel digestato (Tabella 1.2), i quali sono pari a 1,395 kg ha⁻¹. Al termine dei sei mesi di sperimentazione, i risultati hanno mostrato che la mineralizzazione del carbonio organico è stata di circa 611 kg ha⁻¹, pari al 44% del carbonio organico totale distribuito in ogni colonna.

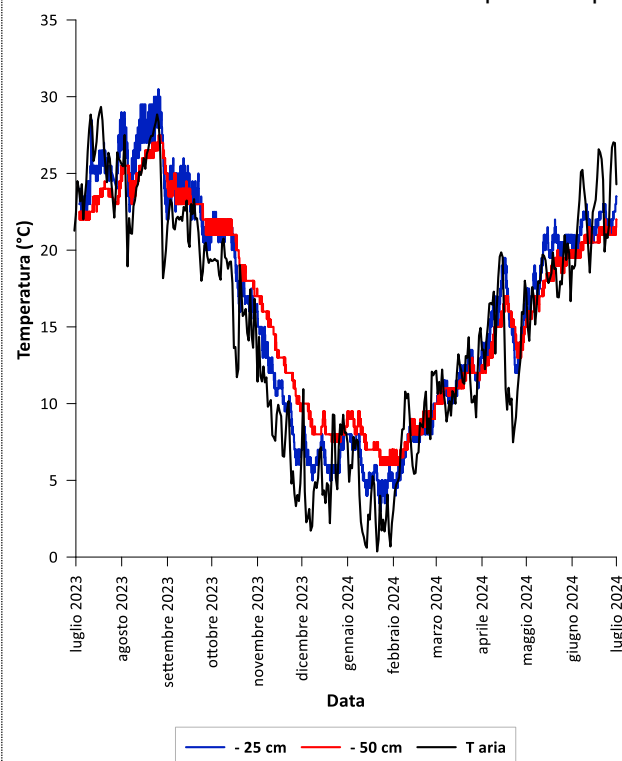
Figura 11.2. Andamento temporale dell'emissione di CO₂ (kg ha⁻¹) dalle carote di suolo in cui è stato aggiunto il digestato (in rosso) e da quelle di controllo (in nero) durante i 180 giorni di sperimentazione (figura in alto) e in particolare nelle prime 48 h dall'aggiunta (figura in basso).



3. Specie azotate

In seguito al monitoraggio dell'attività microbica, le carote di entrambi i trattamenti (digestato e controllo) sono state saturate con acqua mono-distillata (Fig. 6.2). Questa fase ha avuto l'obiettivo di identificare eventuali effetti, non ancora descritti, delle tempistiche di distribuzione del digestato sulla disponibilità di azoto per le colture e sul rischio di perdite negli ambienti acquatici. La sperimentazione è stata avviata confrontando le condizioni di temperatura tra campo e laboratorio. I dati raccolti in campo sono stati cruciali per ricreare le stesse condizioni di temperatura in laboratorio durante la distribuzione del digestato e la successiva saturazione idrica. I risultati ottenuti (Fig. 12.2) mostrano che le temperature a -25 e -50 cm dal piano di campagna erano superiori rispetto alla temperatura dell'aria monitorata dall'Agenzia regionale per la protezione ambientale dell'Emilia-Romagna (ARPAE) nella stessa area durante l'anno di lavoro. Inoltre, si è osservato che le temperature a profondità maggiore erano più elevate rispetto a quelle a -25 cm, in particolare durante il periodo autunnale, quando è stato aggiunto il digestato in campo.

Figura 12.2: Trend temporale della temperatura del suolo a due profondità dalla superficie del piano campagna (-25 e -50 cm) monitorata nel campo sperimentale di Cona della Fondazione di Fratelli Navarra e della temperatura dell'aria monitorata da ARPAE durante il periodo sperimentale (luglio 2023 – luglio 2024).

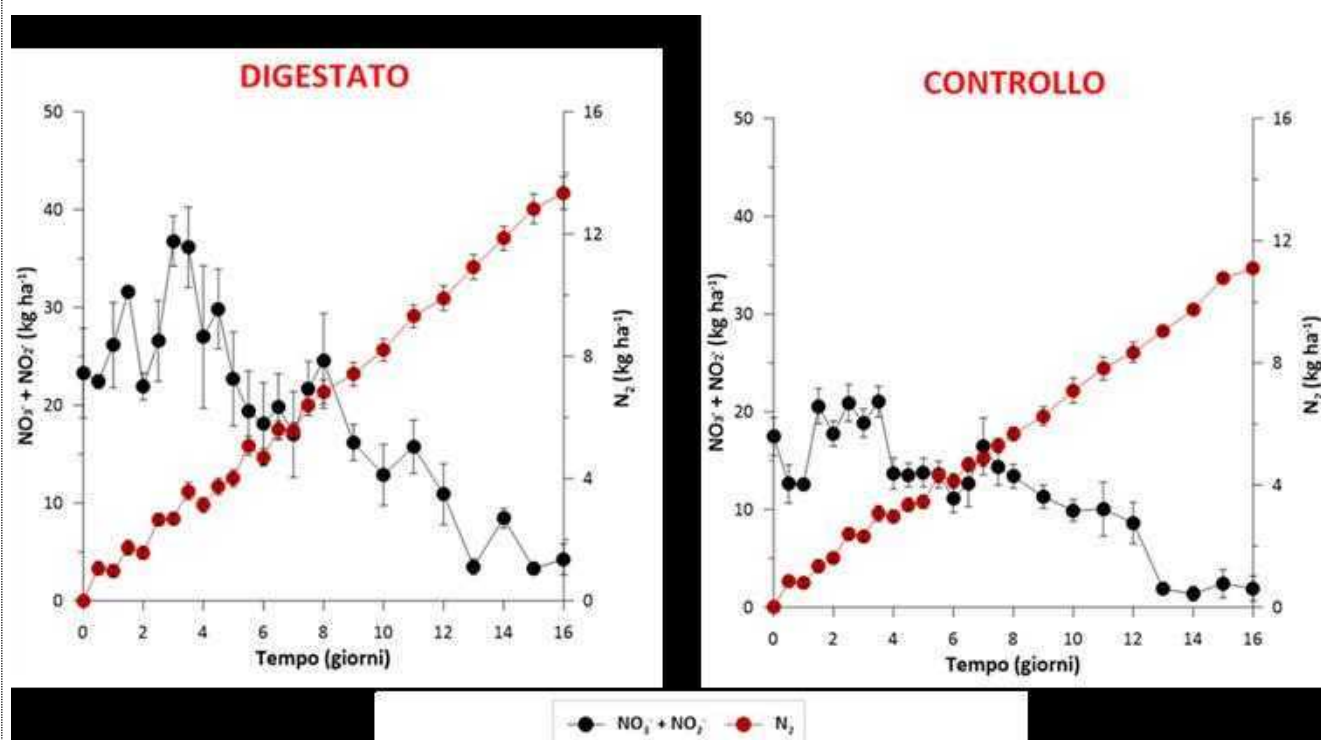


In termini di bilancio dell'azoto, considerando un contenuto di carbonio organico totale di 0.53 kg ttq^{-1} e un rapporto C/N di 4.92 (dati CRPA), nelle 45.45 t ha^{-1} di digestato aggiunte erano presenti 286 kg ha^{-1} , in parte in forma organica e in parte ammoniacale, come determinato secondo il metodo di Kjeldahl. Di questo, le analisi hanno mostrato che 115 kg ha^{-1} (40% del totale) erano azoto sotto forma ammoniacale e i restanti 171 kg ha^{-1} erano azoto in forma organica.

La perdita di azoto ammoniacale in atmosfera durante la distribuzione del digestato è stata stimata intorno al 10%, basandosi sulla relazione dell'equilibrio ammoniacale-ione ammonio e sul valore di pH misurato (8.1). Assumendo che l'azoto nella sostanza organica si sia mineralizzato proporzionalmente al carbonio, durante i sei mesi di sperimentazione, 124 kg ha⁻¹ dei 171 kg ha⁻¹ di azoto organico aggiunto sono stati trasformati in ammoniaca. Tale ammoniaca, in base a studi sulle cinetiche di nitrificazione dell'ammoniaca nei suoli argillosi della provincia di Ferrara si ossida tutto in nitrato (Castaldelli et al., 2018; Mastrocicco et al., 2019a, 2019b). Quanto si è visto per l'azoto contenuto nel digestato è più dilazionato nel tempo ma, se la somministrazione avviene in concomitanza delle lavorazioni autunnali, buona parte dell'azoto somministrato passa in forma di nitrati dopo alcuni mesi. Come è stato evidenziato nelle prove sperimentali, nella primavera successiva alla somministrazione, ovvero in sei mesi, dei 286 kg ha⁻¹ di azoto distribuito con il digestato, 239 kg ha⁻¹ sono stati ossidati in forma di ione nitrato.

I risultati ottenuti dalla prova di saturazione idrica, con o senza digestato, per i 16 giorni, hanno confermato quanto emerso da studi precedenti, ossia che la presenza di sostanza organica favorisce la rimozione dei nitrati presenti nel suolo superficiale della provincia di Ferrara (Castaldelli et al., 2019; Mastrocicco et al., 2019a, 2019b, 2019c).

Figure 13.2. Andamento temporale delle specie azotate (NO₃⁻ + NO₂⁻) e di azoto molecolare (N₂) nell'acqua surnatante delle carote di suolo trattate con digestato (a sinistra) e di controllo (a destra).



I campioni d'acqua prelevati dal surnatante dalle carote trattate con digestato e da quelle di controllo, in condizioni di saturazione idrica, hanno mostrato una diminuzione dei nitrati nel tempo (Fig. 13.2). Le carote trattate con digestato hanno presentato quantità di nitrato superiori rispetto a quelle di controllo a partire dall'inizio dell'incubazione. Il contenuto di azoto minerale ossidato (NO₃⁻ + NO₂⁻) presente nelle carote in cui è stato distribuito il digestato ha subito una riduzione del 29% nei 16 giorni di incubazione. A partire da circa 25 kg ha⁻¹ è gradualmente diminuito dal quarto giorno di incubazione fino a raggiungere i 2 kg ha⁻¹ al termine dei 16 giorni di sperimentazione, raggiungendo un contenuto finale prossimo a quello del suolo non trattato (controllo). In questo si è osservata una riduzione graduale di NO₃⁻ + NO₂⁻ (18 kg ha⁻¹ contenuto al tempo iniziale; fig.13.2) per i primi 12 giorni di incubazione, a cui è seguito si è osservato un calo netto fino a raggiungere una quantità di circa il 2 kg ha⁻¹, per una riduzione totale del 25%. Come si può osservare dalla figura 13.2, la riduzione del nitrato è correlata all'aumento dell'azoto sotto forma di gas disciolto (N₂), prodotto dalla denitrificazione. Tale processo nei suoli avviene in condizioni di basse concentrazioni di ossigeno a causa della saturazione idrica, alta disponibilità di nitrato e in presenza di una fonte di carbonio labile. Di fatto, nelle carote di entrambi i trattamenti (digestato e controllo) si è osservata una graduale produzione di N₂ dall'inizio dell'incubazione delle carote di suolo (26%), con una quantità finale di N₂ più alta nei campioni derivanti dalle carote con il digestato rispetto a quelle di controllo (rispettivamente, circa 14 e 11 kg ha⁻¹). La conseguenza della denitrificazione è la perdita netta di azoto minerale dal sistema suolo con rilascio di questo in atmosfera.

La quantità di nitrati complessivamente persa dal sistema è sostanzialmente inferiore rispetto a quella

complessivamente presente, sia nelle carote con aggiunta di digestato sia in quelle di controllo. Tale evidenza è probabilmente riconducibile al basso contenuto di sostanza organica biodegradabile disponibile, in quanto anche quella aggiunta tramite il digestato è stata soggetta in buona parte a mineralizzazione nei sei mesi successivi alla distribuzione. La disponibilità di sostanza organica biodegradabile è generalmente scarsa in questo tipo di suoli e può presentare inoltre una marcata variabilità oltre che spaziale anche temporale. Da essa dipende l'intensità della denitrificazione e della perdita di nitrati a seguito di saturazione idrica.

Le evidenze sperimentali raccolte confermano le rapide trasformazioni dell'azoto anche se somministrato in forma organica e il conseguente rischio di perdite di nitrati quando si verificano condizioni prolungate di saturazione idrica. La frazione di nitrati persa può essere più o meno importante a seconda di quanto tempo è intercorso dalla distribuzione alla saturazione, della durata della saturazione e della quantità di sostanza organica biodegradabile presente, che al pari dei nitrati è indispensabile per il processo batterico di denitrificazione. Tali fenomeni possono causare deficit di dotazione azotata ma allo stesso tempo possono ridurre le perdite di azoto dai terreni agricoli ai corsi d'acqua, in occasione di piogge intense. La variabilità spaziale e temporale di questi fattori è tale da non poter calcolare a priori la frazione esatta di azoto persa per denitrificazione in caso di un evento di saturazione idrica del suolo. Al pari non sono disponibili dati relativi alla frazione di azoto che può essere perso in atmosfera in forma di protossido di azoto (N₂O), un gas serra molto pericoloso. Tali aspetti richiedono ulteriori approfondimenti di ricerca.

DIFFUSIONE ERBE INFESTANTI

Materiali e metodi

In merito al monitoraggio delle erbe infestanti, in ogni azienda e su ogni parcella è stata condotta un'analisi di riconoscimento delle erbe infestanti presenti e la stima della percentuale (%) di copertura totale e specifica di ogni specie infestante. La determinazione è stata effettuata dallo stesso operatore per evitare variazioni soggettive delle valutazioni nello stesso giorno avendo cura di rilevare 5 aree di saggio delle dimensioni di 4 m² (2 x 2m) disposte all'interno di ogni parcella per un totale di 10 m².

Risultati

In merito al monitoraggio delle erbe infestanti, le informazioni riguardo le principali specie osservate (nome comune e nome scientifico) e il relativo codice di riconoscimento sono state nella Tabella 2.1.

Tabella 2.2. Codice, Nome comune e Nome scientifico delle erbe infestanti rilevate nelle aziende durante il periodo di sperimentazione.

cod. infestante	Nome comune	Nome botanico
Abu	Cencio molle	Abutilon theophrasti
Ama	Amaranto	Amaranthus retroflexus
Cen	Centonchio	Lysimachia arvensis
CenAz	Centonchio azzurro	Anagallis foemia
Che	Farinello	Chenopodium album
Con	Convolvo	Convolvus arvensis
Cyp	Zigolo	Cyperus rotundus
Equi	Equiseto	Equisetum
Euf	Euforbia	Euphorbia helioscopia
Fac	Facelia	Phacelia tanacetifolia
Gia	Giavone	Echinoclea crus-galli
Gre	Grespino	Sonchus aleraceus
Loi	Loietto	Lolium multiflorum
Mal	Malva	Malva sylvestris
Per	Persicaria	Poligonum persicaria
PoA	Fienarola	Poa annua
Senvu	Senecione comune	Senecio vulgaris
Sep	Seppola	Erigeron canadensis
Sor	sorghetta	Sorghum halepense
Steme	Centocchio	Stellaria media
Vioar	Viola dei campi	Viola arvensis

Monitoraggio erbe infestanti sulla coltura del mais

I dati relativi al monitoraggio delle erbe infestanti effettuato sulla coltura del mais al momento della raccolta per produzioni di biomassa a scopo energetico mostrano una significativa variabilità tra le lavorazioni effettuate sul sito di Cona, mentre nessuna differenza sulla copertura totale è stata riscontrata (Tab. 3.2). Tale risultato è dovuto principalmente al fatto che nel sito di Cona la gestione delle lavorazioni avviene dal 2017, pertanto un periodo sufficiente per generare una variazione nella dinamica della composizione delle erbe infestanti. Contrariamente, nelle aziende situate a Tresignana e Copparo, essendo gestioni di nuova costituzione, la composizione floristica e le caratteristiche delle specie infestanti risultano essere simili tra i trattamenti di gestione del suolo. Tali risultati trovano conferma anche in studi scientifici.

A Cona, si evidenzia come la gestione Convenzionale delle lavorazioni del suolo determina un valore di copertura ridotto rispetto agli altri trattamenti (6,7%), in particolare la gestione in Old-NT ha fatto registrare il massimo valore di copertura delle malerbe (38.3%, Tab. 3.2). L'azione di controllo delle malerbe dovuta all'aratura è ben nota nei principi agronomici e la sua efficacia è ulteriormente confermata anche per l'area in oggetto. Infatti, consente un interrimento dei semi delle infestanti "disattivando" la loro germinazione e riducendo la flora reale. Tuttavia, è da notare come il giavone, la setaria, l'amaranto e il chenopodio siano specie maggiormente presenti sulla gestione convenzionale. Tali infestanti sono notoriamente conosciute per la loro elevata competitività per le risorse limitate (es. nutrienti e acqua) e pertanto rappresentano un indicatore di criticità del sistema di gestione in quanto in un lungo periodo la produttività delle colture agrarie potrebbe essere fortemente compromessa dal continuo accentuarsi di queste specie infestanti, fortemente invasive e difficilmente controllabili anche con mezzi chimici. Dall'altra parte è da segnalare come nei sistemi di lavorazione conservativa sia avvenuta nel corso degli anni uno sviluppo di malerbe a ciclo perenne, come ad esempio il Convolvolo, la malva, la sorghetta, il loietto. Anche in questo caso si confermano i risultati riscontrati in ricerche precedenti dove una gestione conservativa delle lavorazioni del suolo porta negli agroecosistemi allo sviluppo di specie infestanti a ciclo perenne. Pertanto, la prova di Cona ha dimostrato e confermato che anche negli areali di coltivazione dell'Emilia-Romagna emergono le criticità dei diversi sistemi di gestione del suolo ai quali si rende necessario un approccio integrato per mitigarne gli impatti negativi.

Tabella 3.2. Copertura del terreno totale e per ogni singola specie infestante al momento della raccolta del mais in tutti i trattamenti di lavorazione del suolo nelle aziende di Cona, Copparo e Tresignana. La somma della copertura delle singole specie infestanti rappresenta la % sulla copertura effettiva fatta pari a 100. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Località	Lavorazione del suolo	Copertura Infestanti totale (%)	Abu	Ama	Che	Con	Gia	Loi	Mal	Set	Per	PoA	Sep	Sor
Cona	CT	6.7	5.0	21.7	18.3	5.0	30.0	7.5	0.0	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	MT	23.3	7.5	5.0	5.0	26.7	30.0	15.0	0.0	10.0	5.0	7.5	0.0	10.0
	New NT	21.7	10.0	10.0	7.5	23.3	28.3	11.7	5.0	15.0	5.0	15.0	7.5	5.0
	Old NT	38.3	0.0	5.0	0.0	23.3	26.7	10.0	11.7	5.0	10.0	0.0	10.0	12.5
Tresignana	CT	6.7	0.0	45.0	25.0	5.0	15.0	5.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MT	8.3	0.0	33.3	28.3	17.5	10.0	5.0	0.0	17.5	0.0	15.0	5.0	10.0
	New NT	6.7	5.0	36.7	43.3	0.0	0.0	17.5	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.0
Copparo	CT	8.3	0.0	46.7	30.0	5.0	25.0	0.0	0.0	17.5	0.0	5.0	0.0	0.0
	MT	8.3	0.0	51.7	31.7	5.0	10.0	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0
	New NT	5.0	0.0	42.5	32.5	0.0	15.0	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0

Monitoraggio erbe infestanti sulle cover crops

L'impiego delle colture di copertura consente di poter beneficiare di tutta una serie di servizi agro ecologici utili al ripristino e al mantenimento della fertilità degli agroecosistemi. In merito al controllo delle erbe infestanti, le colture di copertura svolgono un'azione di rinettamento in quanto occupano una nicchia ecologica in un arco temporale (coltura intercalare) dove le specie principali da reddito sono assenti e le infestanti possono crescere indisturbate. I risultati relativi al monitoraggio delle malerbe effettuato al momento della soppressione delle colture di copertura ha evidenziato che la copertura totale delle infestanti è significativamente maggiore nelle gestioni in non lavorazione su tutte le aziende (26.7% a Cona, 26.8% a Tresignana e 44.4% a Copparo, rispettivamente). Tale effetto è probabilmente legato ad una maggiore difficoltà di emergenza delle colture di copertura a seguito della semina. Infatti, le colture di copertura sono specie erbacee con semi piccoli, i quali se assoggettati a semina su sodo richiedono una buona preparazione del letto di semina per rendere ottimale la loro germinabilità. Inoltre, le piccole dimensioni dei semi li rendono facilmente assoggettati all'azione di insetti predatori e da uccelli. Pertanto, una minore germinabilità ha lasciato maggiore spazio per lo sviluppo delle malerbe. Tale effetto ovviamente si

riduce gradualmente nella minima lavorazione e nella gestione convenzionale (Tab. 4.2). Per evitare tale problematica, nei sistemi a sodo si potrebbe ipotizzare il ricorso a dosi di semina incrementate rispetto a quelle comunemente impiegate. In merito alle specie infestanti sono state rilevate specie tipiche del periodo fine inverno inizio primavera.

Tabella 4.2. Copertura del terreno totale e per ogni singola specie infestante al momento della soppressione delle colture di copertura in tutti i trattamenti di lavorazione del suolo nelle aziende di Cona, Copparo e Tresignana. La somma della copertura delle singole specie infestanti rappresenta la % sulla copertura effettiva fatta pari a 100. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Località	Lavorazione del suolo	Copertura Infestanti totale (%)	Sennu	Steme	Vioar	Sonar
Cona	CT	5.0	0.0	35.0	0.0	65.0
	MT	4.5	10.0	40.0	0.0	50.0
	New NT	13.3	40.0	25.0	10.0	25.0
	Old NT	26.7	45.0	20.0	5.0	30.0
Tresignana	CT	1.5	0.0	55.0	45.0	0.0
	MT	14.9	60.0	30.0	10.0	0.0
	New NT	26.8	80.0	15.0	5.0	0.0
Copparo	CT	1.3	50.0	50.0	0.0	0.0
	MT	1.3	60.0	40.0	0.0	0.0
	New NT	44.4	30.0	25.0	5.0	40.0

Monitoraggio erbe infestanti sulla coltura del sorgo

Alla raccolta del sorgo, il campionamento sulle caratteristiche della flora infestante ha confermato i dati di copertura totale osservati nel mais nella stagione precedente (Tab. 5.2). Infatti, sul sito di Cona la lavorazione convenzionale ha fatto registrare una copertura di suolo inferiore rispetto alla gestione conservativa con minima lavorazione e sodo. Tuttavia, è ben noto che l'effetto di una strategia integrata per il controllo delle malerbe mostra la propria efficacia nel lungo periodo, pertanto un solo anno di gestione non può essere sufficiente per riscontrare risultati significativi in tal senso. È comunque da evidenziare come la composizione della flora infesta sembra essere omogenea tra i vari trattamenti, ad eccezione del giovane (maggiore nei sistemi conservativi) e del convolvolo (ridotto nei sistemi conservativi rispetto l'anno precedente).

A Tresignana, la gestione convenzionale e la minima lavorazione hanno fatto registrare risultati simili di copertura del suolo, mentre a Copparo, i migliori risultati sono stati riscontrati nella minima lavorazione (Tab. 5.2).

Complessivamente, i dati a disposizione mostrano come tra le varie gestioni del suolo, il ricorso alla minima lavorazione sembra essere il compromesso migliore per garantire un'adeguata gestione delle erbe infestanti. Infatti, questa gestione conservativa consente di poter mitigare lo sviluppo delle erbe infestanti, soprattutto le specie perenni, al momento della semina della coltura principale e delle colture di copertura, favorendo un loro rapido attecchimento e garantendo una maggiore capacità competitiva.

Tabella 5.2. Copertura del terreno totale e per ogni singola specie infestante al momento della raccolta del sorgo in tutti i trattamenti di lavorazione del suolo nelle aziende di Cona, Copparo e Tresignana. La somma della copertura delle singole specie infestanti rappresenta la % sulla copertura effettiva fatta pari a 100. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

Località	Lavorazione del suolo	Copertura Infestanti totale (%)	Abu	Ama	Cen	CenAz	Che	Con	Cyp	Equi	Euf	Fac	Gia	Gre	Loi	Mal	Per	PoA	Sep	Sor
Cona	CT	5.0	20.0	0.0	0.0	10.0	5.0	22.5	0.0	0.0	10.0	5.0	16.7	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	MT	40.0	6.5	3.0	5.0	4.0	3.0	20.0	0.0	0.0	2.0	0.0	63.3	0.0	3.0	0.0	0.0	2.0	6.5	6.0
	New NT	55.0	5.0	0.0	5.0	5.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	56.7	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Old NT	68.3	5.0	2.0	2.0	0.0	3.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	68.3	2.0	0.0	0.0	2.0	0.0	2.0	0.0
Tresignana	CT	13.3	10.0	16.7	0.0	0.0	28.3	13.3	0.0	15.0	0.0	0.0	11.7	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0
	MT	10.0	17.5	12.5	0.0	0.0	15.0	16.7	0.0	8.3	0.0	0.0	21.7	5.0	0.0	0.0	5.0	0.0	5.0	0.0
	New NT	21.7	0.0	15.0	0.0	0.0	15.0	15.0	0.0	30.0	0.0	0.0	15.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Copparo	CT	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	21.7	25.0	75.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0
	MT	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	35.0	16.7	0.0	0.0	0.0	16.7	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0
	New NT	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	18.3	10.0	0.0	0.0	0.0	53.3	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0

Azione 3 – Caratterizzazione dei suoli

L'azione prevedeva una caratterizzazione dei suoli sia in termini di carbonio organico, azoto e fosforo ma anche dal punto di vista microbiologico. Un aspetto rilevante è stata la profilazione della struttura della comunità microbica del suolo tramite l'analisi degli acidi grassi dei fosfolipidi (EL-FAME). Questa metodologia consente di caratterizzare la composizione, l'abbondanza e la diversità delle popolazioni microbiche, fornendo dati cruciali sulla biomassa microbica attiva. I EL-FAME, in quanto componenti delle membrane cellulari, fungono da indicatori sensibili della vitalità microbica e permettono di monitorare le risposte della comunità microbica a variazioni ambientali.

In aggiunta, è stato misurato il carbonio associato alla biomassa microbica (MBC), un indicatore chiave della salute del suolo. Un MBC elevato riflette una significativa attività biologica, essenziale per i processi di decomposizione della materia organica e per il ciclo dei nutrienti, contribuendo così alla fertilità del suolo. Le valutazioni dell'MBC consentono di analizzare gli effetti di pratiche agronomiche come l'applicazione di digestato e l'uso di cover crop sulla comunità microbica.

Parallelamente, è stata condotta un'analisi quantitativa degli acidi umici e fulvici, composti organici essenziali per la fertilità del suolo. Questi elementi non solo migliorano la struttura del suolo, ma favoriscono anche la sua resilienza, contribuendo alla sostenibilità agricola nel lungo termine.

Materiali e Metodi

Il campionamento del suolo per le analisi del terreno è stato effettuato ad inizio (2 febbraio 2023) e fine progetto (9 maggio 2024) su tutte le tesi messe a confronto e in tutte e tre le località alle profondità di 0-20 cm e 20-40 cm. Le analisi di carbonio organico, azoto Kjendahl e azoto nitrico sono state effettuate presso i laboratori del CRPA, mentre le analisi di acidi fulvici, umici e della caratterizzazione microbica del terreno sono stati fatti presso i laboratori dell'Università di Ferrara.

Per la determinazione degli acidi grassi dei fosfolipidi i campioni di suolo (2g) sono stati sottoposti a un processo di transesterificazione mediante l'impiego di una soluzione di 0.2M di KOH in metanolo (MeOH), che ha consentito l'estrazione degli esteri metilici degli acidi grassi (Ester Linked Fatty Acid Methyl Ester, EL-FAME). Dopo la procedura di estrazione, ogni estratto è stato disciolto in 200 µl di diclorometano e quantificato mediante GC-MS. Gli acidi grassi metilati sono stati identificati sulla base del loro spettro di massa e utilizzando BAME 24 (47080 U) e 37 FAME Mix (47885-U, Sigma-Aldrich) come standard chimici. I dati sono stati espressi come nonadecanoato metil estere, utilizzato come standard interno (C19:0). Le analisi sono state condotte con tre repliche analitiche di ciascun campione. I gruppi microbici sono stati assegnati agli acidi grassi legati agli esteri secondo Fierer et al. (2003), Frostegård et al. (1993 a,b), Joergensen (2022), Lewe et al. (2021). Il rapporto Funghi/Batteri (rapporto F/B) e il rapporto Gram positivi/Gram negativi (rapporto G+/G-) sono stati utilizzati come indici dello shift della comunità microbica del suolo.

Per la determinazione delle sostanze umiche, 10 g di suolo vengono trattati con 100 ml di HCl 0.1 M, agitati per 1 ora e centrifugati a 3000 rpm per 10 minuti. Il surnatante ottenuto rappresenta la prima frazione di acido fulvico (FA1). Il residuo solido viene lavato più volte con H₂O distillata (agitazione 30 min, centrifugazione), quindi trattato con 100 ml di NaOH 0.1 M a pH 12 e agitato per una notte. Il surnatante, contenente la seconda frazione di acidi fulvici e la frazione di acidi umici (FA2+HA), viene separato dall'umina (HUM) che verrà essiccata a 40-50°C. Il surnatante viene acidificato a pH 1 con HCl 6M per far precipitare e depositare la frazione degli acidi umici (HA) in modo che nella soluzione residua sia presente la seconda frazione di acidi fulvici (FA2). Questa frazione verrà successivamente essiccata a 30°C.

Risultati e discussioni

Caratterizzazione dei suoli (sostanza organica, azoto totale, nitrico, conducibilità e fosforo)

In località Cona il contenuto di sostanza organica è risultato maggiore nello strato superficiale di suolo (in media 2,6%) rispetto a quello più profondo (in media 2,3%). In entrambi gli strati non ci sono state differenze significative fra le due annate ad eccezione della tesi Old NT dove è stato riscontrato un leggero calo in entrambi gli strati analizzati. Confrontando le tesi di lavorazione del terreno messe a confronto nei due strati (figura 1.3) si può notare come tendenzialmente il contenuto di sostanza organica sia inferiore nella tesi Old NT in entrambi gli strati (-6%). Questo fenomeno può essere giustificato dal fatto che le parcelle sono condotte in regime di sodivo da oltre 7 anni senza però adottare misure volte alla tutela del suolo come l'utilizzo di cover crop o l'alternanza di colture primaverili con colture autunno-vernine a cui si aggiunge la totale assenza di concimazioni organiche (figura 2.3). Probabilmente la coltivazione di colture primaverili nei 4 anni che hanno preceduto la sperimentazione hanno esposto il terreno a fenomeni di erosione che sono stati accentuati nelle tesi dove i residui colturali non sono stati interrati.

Figura 1.3. Località Cona, contenuto di sostanza organica del suolo (SOM – Soil Organic Matter) nei due strati di suolo (0-20 e 20-40 cm) e nelle tesi messe a confronto. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

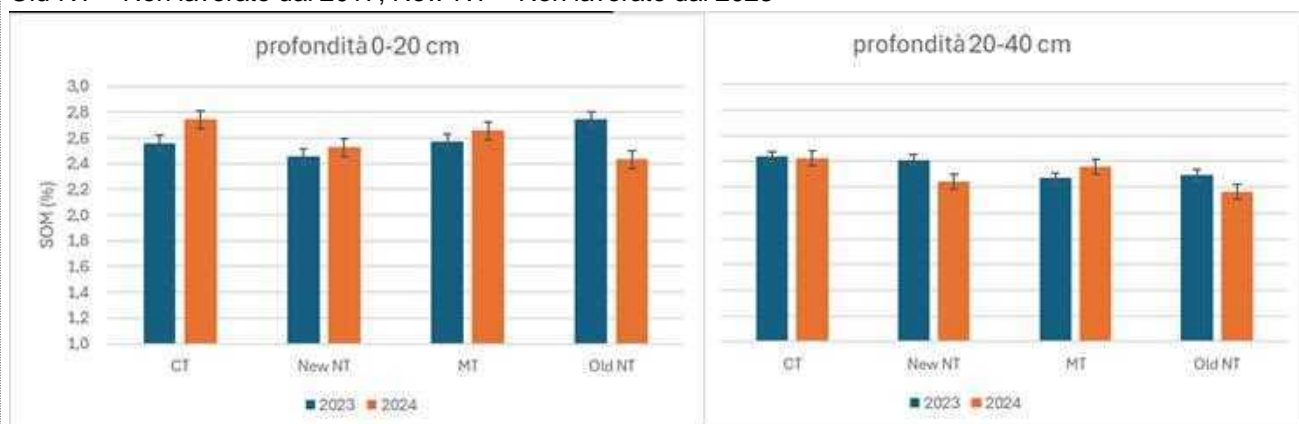


Figura 2.3. rotazioni effettuate nel campo sperimentale di Cona dal 2016 (inizio della sperimentazione) al 2024 su tutte le tesi messe a confronto.



In media il contenuto di nitrati è stato maggiore nel 2024 (15,9 mg kg⁻¹) rispetto al 2023 (9,29 mg kg⁻¹) e tendenzialmente non s'è differenziato fra lo strato superficiale (in media 13,81 mg kg⁻¹) e quello più profondo (11,37 mg kg⁻¹). Confrontando le varie tesi (figura 3.3) nello strato superficiale emerge come la disponibilità di azoto nitrico nel 2024 sia decisamente superiore nella tesi CT e MT rispetto a Old NT e New NT. Questa maggiore disponibilità è sicura da attribuire alla mineralizzazione sia dei residui culturali interrati che dell'azoto organico distribuito nell'autunno precedente.

Figura 3.3. Località Cona, contenuto di azoto nitrico del suolo (mg kg⁻¹) nei due strati di suolo (0-20 e 20-40 cm) e nelle tesi messe a confronto. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023

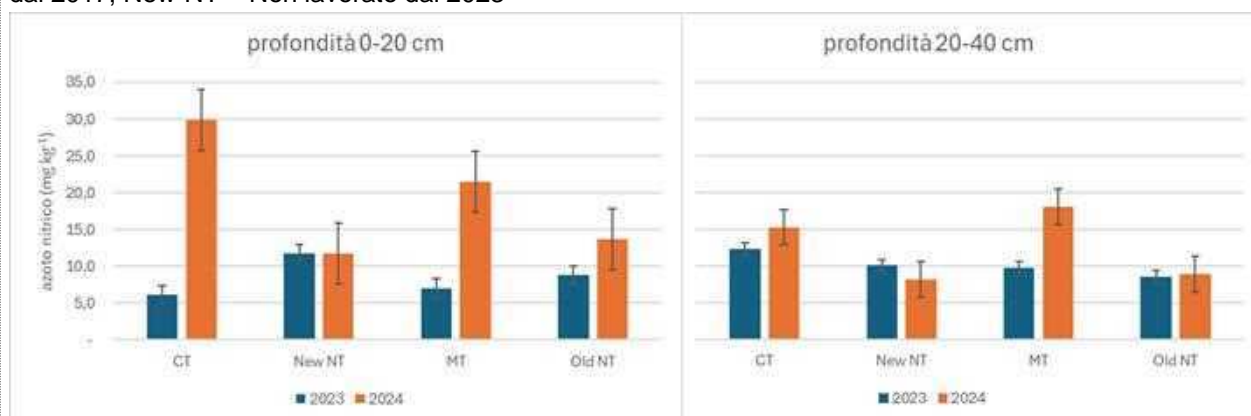


Tabella 1.3. Azoto totale, fosforo assimilabile e conducibilità nello strato di suolo 0-20 cm delle tesi messe a confronto in località Cona. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

0-20 cm	2023			2024			
	Tesi	N tot [mg/kg]	P ₂ O ₅ [mg/kg]	Conducibilità '[mS/cm]	N tot [mg/kg]	P ₂ O ₅ [mg/kg]	Conducibilità '[mS/cm]
CT		1.693,00	23,98	0,55	1.955,33	16,20	0,24
New NT		1.667,00	16,54	0,50	1.664,00	17,48	0,24
MT		1.386,67	29,83	0,46	1.786,00	14,60	0,24
Old NT		1.773,67	28,25	0,58	1.610,67	17,00	0,22
media		1.630,08	24,65	0,52	1.754,00	16,32	0,24

Nello strato più superficiale (tabella 1.3) il contenuto di azoto totale è risultato in media superiore nel 2024 (1.754 mg/kg) rispetto al 2023 (1.630 mg/kg) e, come detto prima, probabilmente la maggiore disponibilità è data sia dall'interramento dei residui colturali che dall'apporto del digestato. Il contenuto di fosforo assimilabile (P₂O₅) è stato in media di 24,65 mg/kg con il valore più basso fatto registrare nella tesi New NT e quello più alto nella tesi Old NT. Nel 2024 la disponibilità di fosforo è diminuita con un valore medio di 16,32 mg/kg. In questo caso le tesi New NT e Old NT hanno fatto registrare valori superiori alle tesi CT e MT.

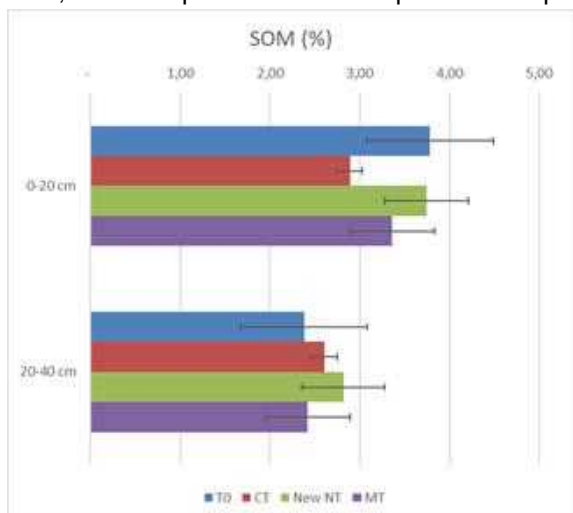
Tabella 2.3. Azoto totale, fosforo assimilabile e conducibilità nello strato di suolo 20-40 cm delle tesi messe a confronto in località Cona. CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; Old-NT = Non lavorato dal 2017; New-NT = Non lavorato dal 2023.

20-40 cm	2023			2024			
	Tesi	N tot [mg/kg]	P ₂ O ₅ [mg/kg]	Conducibilità '[mS/cm]	N tot [mg/kg]	P ₂ O ₅ [mg/kg]	Conducibilità '[mS/cm]
CT		1.654,33	24,49	0,57	1.751,67	14,11	0,24
New NT		1.744,00	25,30	0,54	1.552,67	11,56	0,25
MT		1.151,00	29,16	0,46	1.612,00	19,02	0,26
Old NT		1.566,00	17,71	0,48	1.558,33	12,19	0,22
media		1.528,83	24,16	0,51	1.618,67	14,22	0,24

Anche nello strato più profondo (tabella 2.3) il contenuto di azoto totale è risultato maggiore nel 2024 (1.618 mg/kg) rispetto al 2023 (1.528 mg/kg). La tesi CT hanno mostrato i valori più alti in entrambi gli anni, mentre la tesi Old NT praticamente non ha fatto registrare nessun tipo di variazione. Il contenuto di fosforo assimilabile ha mostrato valori molto simili allo strato superficiale sia per il 2023 che per il 2024.

Per le località Tresignana e Copparo il primo campionamento (T0) è stato considerato come una tesi essendo i due campi stati convertiti a minima lavorazione e a sodo nel 2023, all'inizio del progetto.

Figura 4.3. Contenuto di sostanza organica (SOM – Soil Organic Matter) in località Tresignana nei due strati di suolo (0-20 e 20-40 cm). CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023; T0 = campionamento suolo prima della sperimentazione.



A Tresignana il contenuto di sostanza organica (figura 4.3) è stato in media del 3% con differenze significative fra lo strato superficiale (3,45%) e quello più profondo (2,56%). Non ci sono state invece differenze fra le tesi messe a confronto.

Tabella 3.3. Contenuto di azoto totale (N tot), azoto nitrico (N nitrico) e fosforo assimilabile (P₂O₅) nei terreni di Tresignana. T0 = campionamento prima della sperimentazione; CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023.

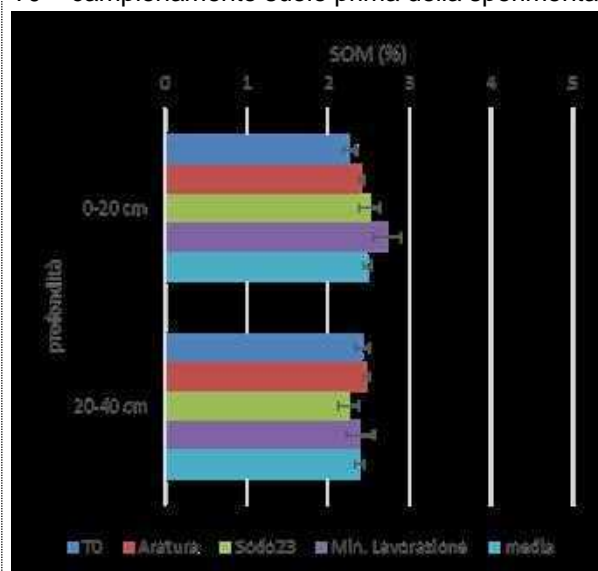
Tesi	strato 0-20 cm			strato 20-40 cm		
	N tot [mg/kg]	N nitrico (mg/kg)	P ₂ O ₅ [mg/kg]	N tot [mg/kg]	N nitrico (mg/kg)	P ₂ O ₅ [mg/kg]
T0	2.282,00	72,18	201,00	1.427,00	126,50	137,67
CT	1.863,33	36,43	142,00	1.829,67	26,39	177,20
New NT	2.474,33	50,23	215,00	1.793,33	36,60	141,33
MT	2.175,00	57,54	252,00	1.665,00	50,31	162,00
media	2.198,67	54,10	202,50	1.678,75	59,95	154,55

A Tresignana il contenuto di azoto totale (tabella 3.3) è risultato maggiore nello strato più superficiale (2.198 mg/kg) rispetto a quello più profondo (1.678 mg/kg). Nello strato 0-20 cm il contenuto di azoto non sembra aver subito variazioni significative dopo un anno di prove ad eccezione della tesi CT dove sembra diminuire. Nello strato più profondo viceversa sembra che il contenuto aumenti nel secondo anno di prova ma in maniera non significativa.

Nello strato 0-20 cm il contenuto di azoto nitrico sembra diminuire fra il primo e il secondo anno in maniera significativa solo nella tesi CT. Anche nello strato più profondo il contenuto di azoto nitrico diminuisce significativamente nel secondo anno, in maniera più marcata nelle tesi CT e New NT.

Il terreno di Tresignana presenta un contenuto di fosforo assimilabile (P₂O₅) alto, sia nello strato 0-20 cm che in media è stato di 202,50 mg/kg che nello strato 20-40 cm che in media è stato di 154,55 mg/kg senza differenze significative fra le tesi messe a confronto.

Figura 5.3. Contenuto di sostanza organica (SOM – Soil Organic Matter) in località Copparo nei due strati di suolo (0-20 e 20-40 cm). CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023; T0 = campionamento suolo prima della sperimentazione.



A Copparo il contenuto di sostanza organica (figura 5.3) è risultato in media del 2,43% senza nessuna differenza né fra gli strati analizzati né fra le tesi messe a confronto. Il contenuto di azoto totale (tabella 4.3) è stato in media di 1.446 mg/kg con differenze significative fra i due strati dove quello superficiale ha mostrato un contenuto superiore del 10%. Il contenuto di azoto nitrico è stato in media di 121,49 mg/kg senza differenze significative fra le profondità e le tesi. Il contenuto di fosforo assimilabile è buono ed è stato in media di 42,58 mg/kg senza differenze significative né fra le profondità né fra le tesi.

Tabella 4.3. Contenuto di azoto totale (N tot), azoto nitrico (N nitrico) e fosforo assimilabile (P₂O₅) nei terreni di Copparo. T0 = campionamento prima della sperimentazione; CT = Lavorazione convenzionale; MT = Minima lavorazione; New-NT = Non lavorato dal 2023.

Tesi	strato 0-20 cm			strato 20-40 cm		
	N tot [mg/kg]	N nitrico (mg/kg)	P ₂ O ₅ [mg/kg]	N tot [mg/kg]	N nitrico (mg/kg)	P ₂ O ₅ [mg/kg]
T0	1.416,67	41,78	50,08	1.270,33	68,86	48,88
CT	1.634,67	185,28	34,66	1.407,33	137,17	40,73
New NT	1.438,00	69,63	29,98	1.292,67	60,67	28,83
MT	1.589,67	234,17	45,55	1.524,33	174,40	61,92
media	1.519,75	132,72	40,07	1.373,67	110,27	45,09

Caratterizzazione microbiologica del suolo

Nella Tabella 5.3 vengono riportati gli acidi grassi caratteristici associati ai principali gruppi microbici, identificati attraverso l'analisi EL-FAME (Ester Linked Fatty Acid Methyl Ester Analysis). In particolare, per ciascun campione, sono stati identificati complessivamente 33 acidi grassi con struttura carboniosa variabile tra C-10 e C-22. Tuttavia, per l'analisi sono stati considerati solo gli acidi grassi nell'intervallo C-14 e C-20, poiché rappresentano i marcatori più specifici per la caratterizzazione delle comunità microbiche.

In figura 6.3 sono mostrati i EL-FAME totali rilevati nei diversi campioni di suolo nei due anni di sperimentazione.

Il campione C (24), con un valore di 224.87 nmol/g, indica un ambiente particolarmente favorevole alla crescita microbica, suggerendo una ricca disponibilità di nutrienti e condizioni ecologiche ottimali. In contrasto, il valore minimo di 80.93 nmol/g in A (24) suggerisce la presenza di fattori che limitano lo sviluppo complessivo della biomassa microbica.

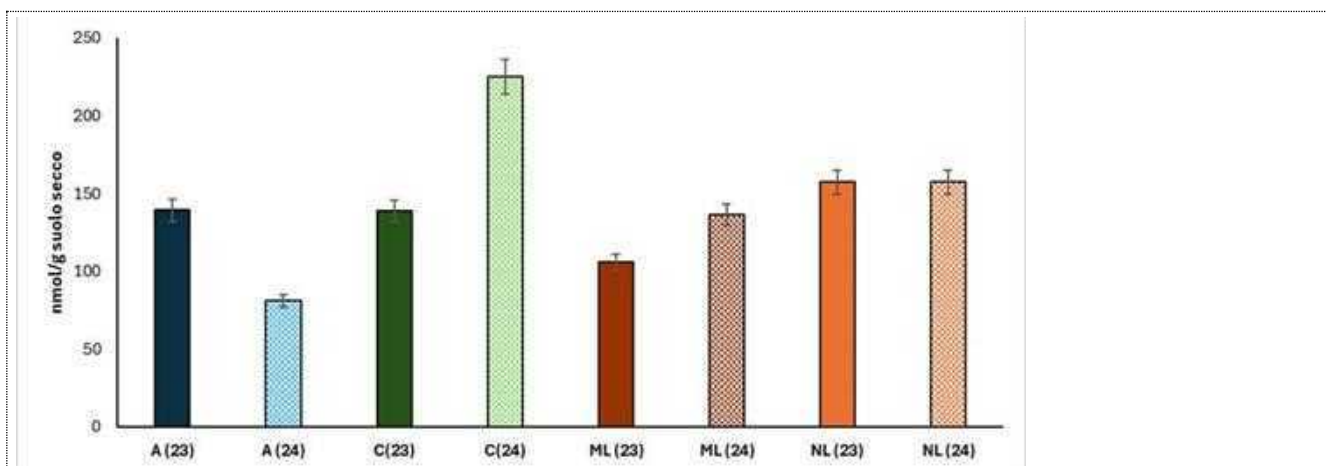
I campioni ML mostrano un incremento della biomassa nell'arco della sperimentazione, passando da 105.89 nmol/g in ML (23) a 136.52 nmol/g in ML (24), indicando un miglioramento delle condizioni microbiche nel tempo. Questo suggerisce che, nel corso del periodo di studio, le condizioni del suolo abbiano favorito la crescita microbica.

I campioni NL, con valori costanti di 15.16 nmol/g, evidenziano una stabilità nella comunità microbica, suggerendo un ambiente equilibrato e ben mantenuto.

Tab.5.3. Elenco degli acidi grassi specifici associati ai principali gruppi microbici. Gli acidi grassi elencati rappresentano i biomarcatori distintivi per ciascun gruppo, consentendo l'identificazione e la caratterizzazione delle diverse comunità microbiche attraverso l'analisi EL-FAME

G+	a15:0
	a17:0
G-	16:1w7c
	Cy 17:0
	Cy 19:0
	2-OH 14:0
	3-OH 14:0
	16:1 w7c
BATTERI GENERALI	14:00
	15:00
	16:00
	18:00
FUNGHI	18:1w9c
	18:3w6,9,12
ATTINOMICETI	10Me 17:0
PROTOZOI	20:4w6
	20:00

Figura 6.3. Rappresentazione degli EL-FAME: (A) EL-FAME totali. A: Aratura; ML: Minima Lavorazione; NL: Non Lavorazione; C: Conversione



Il profilo della composizione della comunità microbica del suolo differisce sensibilmente tra i diversi sistemi di gestione ed in funzione dell'applicazione di digestato e di cover crops.

Nella figura 7.3 sono riportate le concentrazioni degli acidi grassi fosfolipidici (EL-FAME) associati ai principali gruppi microbici (batteri Gram-positivi, Gram-negativi, batteri generali, funghi, attinomiceti e protozoi), espressi in nmol/g di suolo secco.

- **Batteri Gram-Positivi (G+)**

I marcatori G+, come a15:0 e a17:0, mostrano concentrazioni elevate, in particolare 17.74 nmol/g per a15:0 e 2.73 nmol/g per a17:0 nei campioni A (23).

- **Batteri Gram-Negativi (G-)**

I marcatori 16:1 ω 7c, Cy 17:0 e Cy 19:0 indicano una diversità microbica notevole, con 13,16 nmol/g per 16:1 ω 7c nei campioni A (23) e un picco di 6.98 nmol/g per Cy 19:0 nei campioni C (23).

- **Funghi**

Nei campioni "ML (24)" e "NL (23)", gli acidi grassi come 18:1 ω 9c e 18:3 ω 6,9,12 mostrano biomasse elevate, rispettivamente 9.77 nmol/g e 19.96 nmol/g.

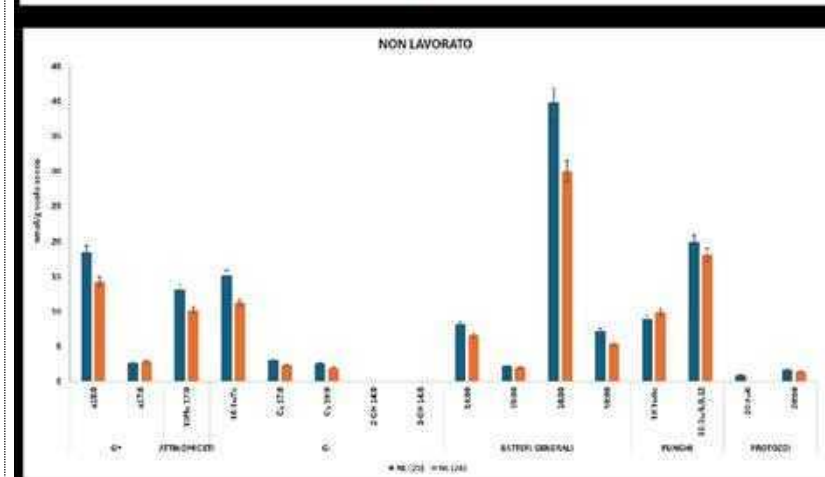
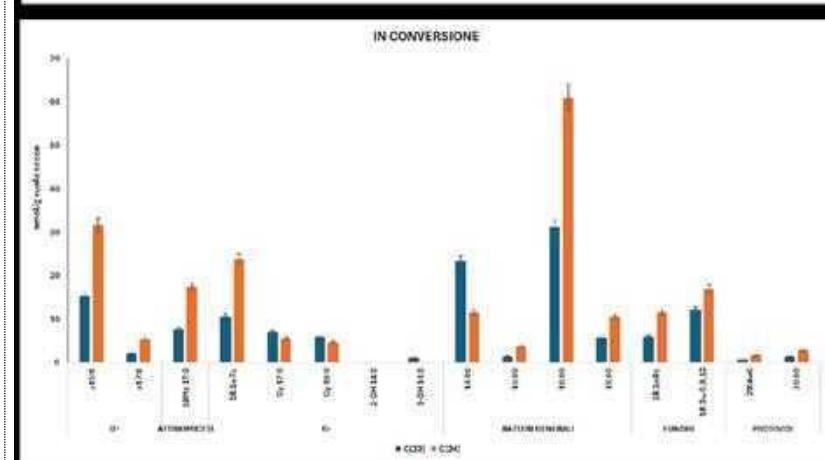
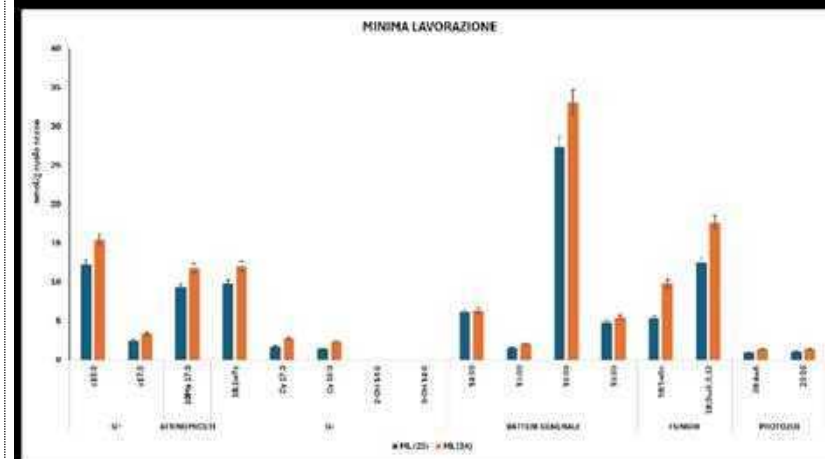
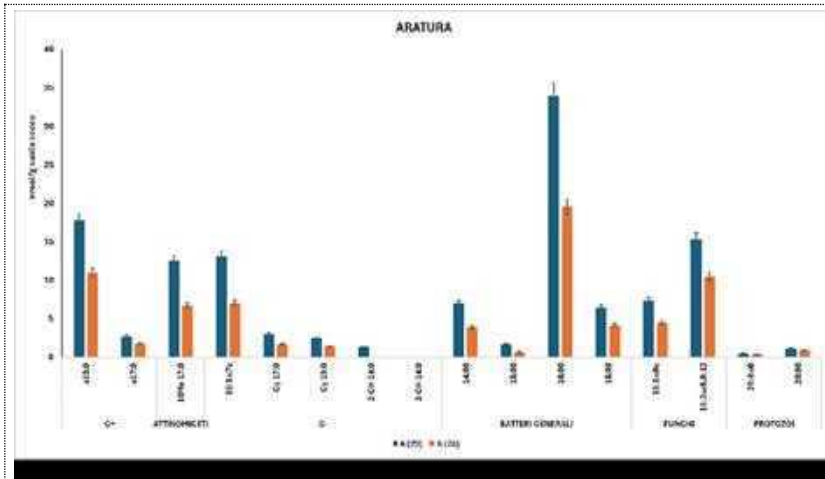
- **Attinobatteri e Protozoi**

Gli attinobatteri, identificabili tramite l'acido 10Me 17:0, mostrano una presenza costante, con valori che variano da 6.74 nmol/g a 12.55 nmol/g. I protozoi, sebbene in quantità minori, con valori di 0.52 nmol/g per 20:4 ω 6, sono cruciali per l'equilibrio ecologico del suolo.

Fig. 7.3 Popolazione microbica basata sui profili EL-FAME nelle aree sottoposte alle 4 diverse gestioni del suolo.

G+= gram positivi; G-= gram negativi; Batteri; Funghi, Attinomiceti e Protozoa. I gruppi microbici sono assegnati agli acidi grassi legati agli esteri come riportato in de Dato et al. (2017), Joergensen (2022), Lewe et al. (2021).

A: Aratura; ML: Minima Lavorazione; NL: Non Lavorazione; C: Conversione



Gli indici F/B (funghi/batteri) e G+/G- (Gram-positivi/Gram-negativi) sono stati quantificati per caratterizzare la composizione microbica del suolo e le sue dinamiche ecologiche.

Tab.6.3 Indici F/B e G+/G-

	A (23)	A (24)	C(23)	C(24)	ML (23)	ML (24)	NL (23)	NL (24)
F/B	0.18	0.23	0.15	0.15	0.21	0.26	0.23	0.29
G+/G-	1.65	1.91	1.02	1.61	1.87	1.78	1.66	1.77

In tabella 6.3 sono riportati i valori degli indici F/B e G+/G-

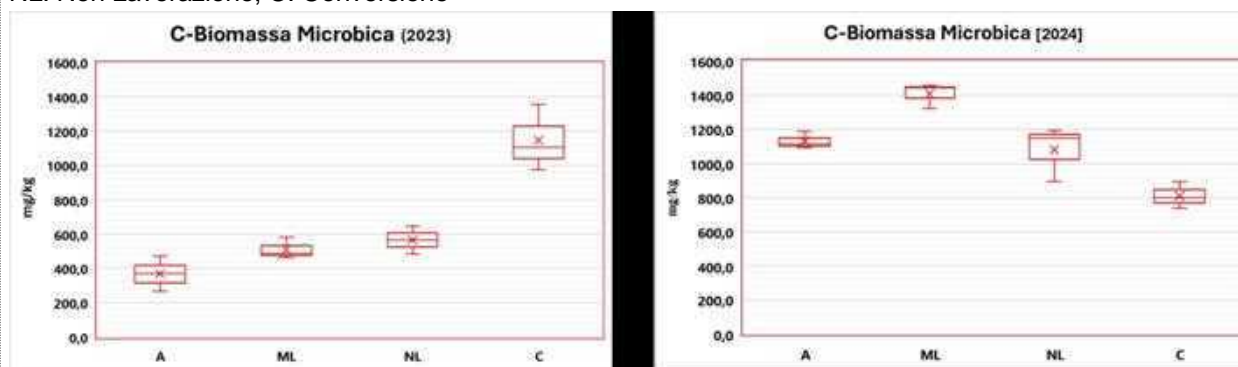
L'indice F/B esprime il rapporto tra la biomassa fungina e quella batterica. Un valore elevato di F/B è indicativo di un predominio fungino, correlato a suoli con elevata stabilità della materia organica e a processi di decomposizione più efficaci. In contrapposizione, un valore ridotto suggerisce una predominanza batterica, frequentemente associata a condizioni di degradazione o stress ecologico.

Valori dell'indice F/B mostrano un incremento nel tempo, con il campione ML (24) che raggiunge il valore massimo di 0.26. Anche se i valori di F/B sono relativamente contenuti, ciò indica una predominanza della biomassa batterica, il che può riflettere un ambiente attivo e reattivo, favorevole alla decomposizione della materia organica. Questa dinamica batterica, pur in un contesto di prevalenza, suggerisce che il suolo mantiene una buona capacità di rispondere alle pratiche di gestione, potenzialmente supportando un ciclo nutritivo efficiente.

L'indice G+/G- confronta la biomassa dei batteri Gram-positivi con quella dei Gram-negativi. Un rapporto G+/G- elevato indica un ambiente ecologicamente stabile e fertile, poiché i Gram-positivi mostrano maggiore resilienza in condizioni avverse. Un molto basso può segnalare disbiosi microbica e possibili perturbazioni dell'equilibrio ecologico del suolo.

Nel 2023, i valori dell'indice G+/G- mostrano una buona variabilità. Il campione ML (23) presenta il valore più alto (1.87), suggerendo un ambiente favorevole alla proliferazione di batteri Gram-positivi. Al contrario, il campione C (23) mostra un valore relativamente basso (1,02), indicando una predominanza di batteri Gram-negativi. Nel 2024, si osserva un aumento generale dei valori G+/G- rispetto all'anno precedente. In particolare, il campione A (24) raggiunge il valore massimo di 1.91, indicando condizioni particolarmente favorevoli per i batteri Gram-positivi. Anche il campione C (24) mostra un incremento rispetto all'anno precedente (1.61), suggerendo un miglioramento della composizione microbica, mentre gli altri campioni (ML e NL) si attestano su valori stabili e elevati (1.78 e 1.77).

Fig. 8.3 Contenuto della biomassa microbica nei 2 anni di sperimentazione. A: Aratura; ML: Minima Lavorazione; NL: Non Lavorazione; C: Conversione



In figura 8.3 sono mostrati i dati relativi a MBC per il 2023 e per il 2024.

L'MBC nel 2023 variava significativamente tra i trattamenti: i valori più elevati sono stati osservati nel sistema in conversione (C), mentre nel sistema con aratura (A) sono stati rilevati i valori più bassi (360 ppm)

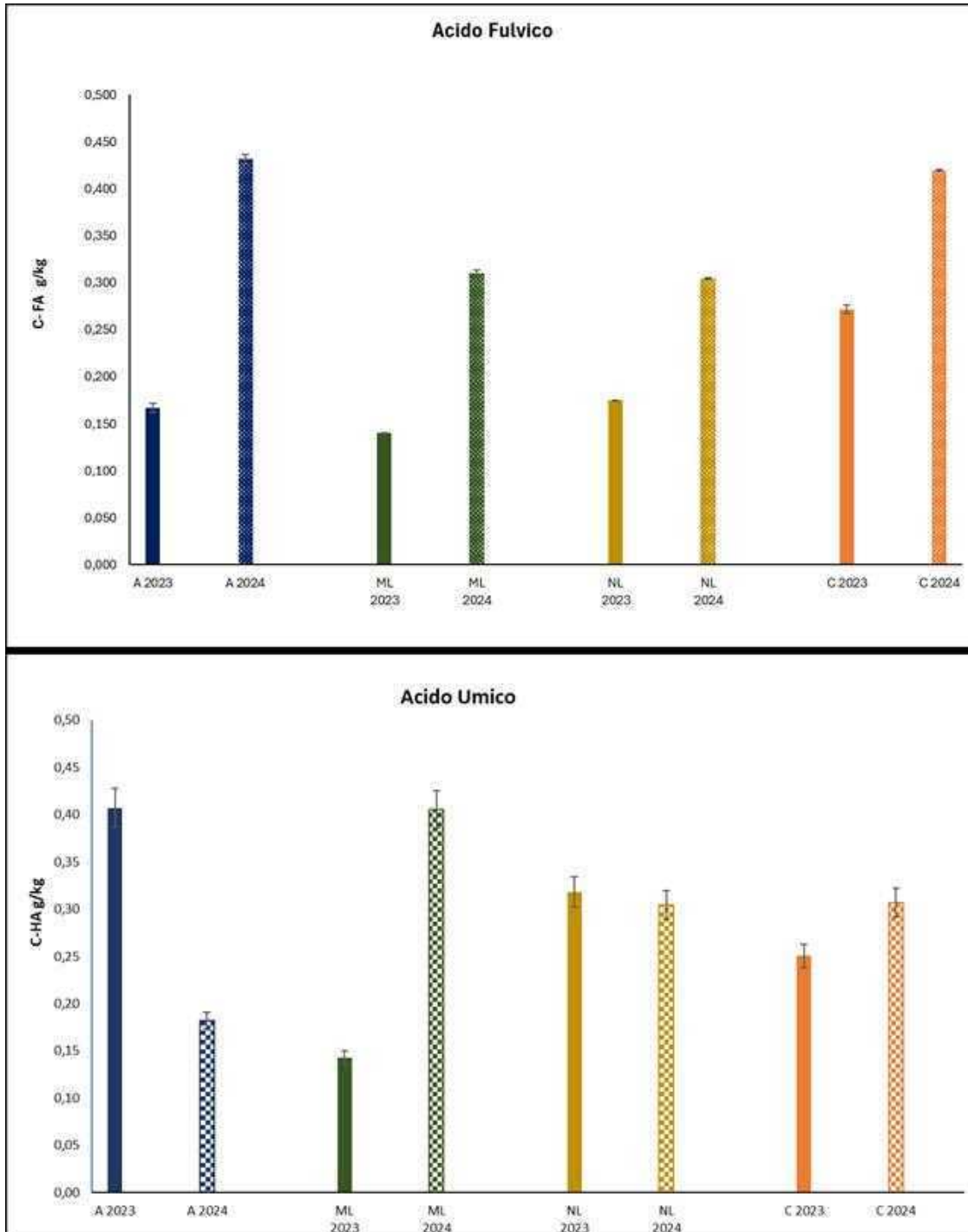
Questo indica che tale trattamento potrebbe ridurre la biomassa microbica, forse a causa del disturbo fisico del suolo che altera l'habitat microbico e la struttura del terreno. La riduzione della lavorazione del suolo può favorire una maggiore presenza di microrganismi, mantenendo una struttura del suolo più stabile e meno disturbata.

Il C-biomassa microbica è significativamente più alto nel trattamento di conversione, con un valore che supera i 1.140 ppm. Questo potrebbe indicare che la conversione ad un tipo di gestione più sostenibile ha un effetto molto positivo sulla comunità microbica del terreno.

Per il secondo anno di studio, ad eccezione dell'area in conversione (C), si verifica una generale tendenza all'aumento del C-biomassa microbica con i valori più elevati riscontrati nelle aree gestite in ML. Ciò ad indicare che il minore disturbo del suolo associato alla presenza di fonti nutritive disponibili creano un ambiente ottimale per

la proliferazione della biomassa microbica.

Figura 9.3. Contenuto di acidi fulvici e unici nei 2 anni di sperimentazione. A: Aratura; ML: Minima Lavorazione; NL: Non Lavorazione; C: Conversione



Il contenuto delle singole frazioni di HS risulta diversificato in funzione ai diversi sistemi di gestione, ed all'applicazione di digestato e cover crops.

Nel 2023, in A, i valori degli acidi fulvici si attestavano a 0.167 g/kg, mentre quelli degli acidi umici erano a 0.41 g/kg. Nel 2024, si osserva un significativo incremento degli acidi fulvici, che raggiungono 0.43 g/kg, accompagnato da una riduzione degli acidi umici a 0.1818 g/kg. Nel sistema di gestione ML, i valori di acidi fulvici passano da 0.14 g/kg a 0.31 g/kg, mentre gli acidi umici aumentano da 0.142 g/kg a 0.40 g/kg, indicando un miglioramento nell'efficacia della gestione, probabilmente facilitato dall'uso di digestato. Nel sistema di gestione NL, gli acidi fulvici mostrano un incremento da 0.17 g/kg a 0.30 g/kg con gli acidi umici mantenuti stabili a 0.30 g/kg. Infine, nel sistema di gestione C, gli acidi fulvici aumentano da 0.27 g/kg a 0.42 g/kg e gli acidi umici passano da 0.25 g/kg a 0.31

g/kg, evidenziando un miglioramento delle condizioni del suolo in funzione della transizione da un sistema di gestione convenzionale ad uno conservativo. In sintesi, il 2024 mostra un generale miglioramento negli acidi fulvici e una stabilità (ad eccezione di A) negli acidi umici, con un'attenzione particolare necessaria per mantenere la qualità del suolo.

I risultati hanno dimostrato che le pratiche di agricoltura conservativa possono modificare significativamente le proprietà del suolo. In particolare, la riduzione della perturbazione del suolo e l'applicazione di digestato hanno portato a miglioramenti significativi negli indicatori di qualità del suolo. Queste pratiche hanno favorito lo sviluppo di comunità microbiche più diversificate e incrementato l'attività biologica del suolo, rispetto alle pratiche agricole convenzionali. Questo indica un maggiore dinamismo biologico e una migliore capacità del suolo di sostenere la produttività agricola.

Azione 4 - Valutazione sostenibilità ambientale ed economica

Valutazione della sostenibilità ambientale

Materiali e Metodi

Il Life Cycle Assessment (Valutazione del Ciclo di Vita) è un metodo oggettivo di valutazione e quantificazione dei carichi energetici ed ambientali e degli impatti potenziali associati ad un prodotto/processo/attività lungo l'intero ciclo di vita, dall'acquisizione delle materie prime al fine vita ("dalla Culla alla Tomba").

A livello internazionale la metodologia LCA è regolamentata dalle norme ISO della serie 14040 in base alle quali uno studio di valutazione del ciclo di vita prevede: la definizione dell'obiettivo e del campo di applicazione dell'analisi (ISO 14041), la compilazione di un inventario degli input e degli output di un determinato sistema (ISO 14041), la valutazione del potenziale impatto ambientale correlato a tali input ed output (ISO 14042) e infine l'interpretazione dei risultati (ISO 14043).

Di norma uno studio LCA si compone quindi di 4 fasi:

1. Definizione dello scopo e del campo di applicazione

Durante la prima fase dell'analisi del ciclo di vita del prodotto, in funzione dell'obiettivo dello studio, vengono definiti:

- i confini del sistema (spaziali e temporali),
- l'unità funzionale rispetto alla quale riportare i risultati,
- le categorie di impatto ambientale considerate

2. Analisi dell'inventario del ciclo di vita

Fase dello studio dedicata all'analisi del ciclo di vita del processo o attività; lo scopo principale è quello di identificare i flussi dell'energia e dei materiali che permettono il funzionamento del sistema in esame tramite tutti i processi di trasformazione e trasporto. Redigere un Inventario di ciclo vita significa pertanto costruire il modello analogico del sistema reale che si intende studiare.

3. Valutazione degli impatti ambientali

Gli input e gli output del sistema produttivo individuati nella fase precedente vengono convertiti in potenziali impatti ambientali applicando ai dati di inventario i relativi fattori di caratterizzazione. Si ottiene in questo modo un profilo dei potenziali impatti ambientali, costituito dai risultati delle diverse categorie d'impatto considerate.

4. Interpretazione dei risultati

La fase di interpretazione dei risultati permette di derivare conclusioni e raccomandazioni robuste, sulle quali, ad esempio, basare una strategia comunicativa e/o un processo di miglioramento di processo.

I principali elementi dell'interpretazione dei risultati sono:

- identificazione degli hot-spot (vengono individuati i materiali/processi che contribuiscono maggiormente agli impatti complessivi),
- valutazioni sulla completezza e robustezza del modello (come analisi di sensibilità e incertezza),
- definizione delle conclusioni dello studio, anche alla luce delle limitazioni presenti.

Attualmente non sono presenti un elevato numero di studi in letteratura scientifica in ambito di analisi di impatto ambientale tramite metodologia LCA in agricoltura. Questo è dovuto fortemente ad alcuni limiti e sfide associate alla metodologia e al settore agricolo:

- Eterogeneità e variabilità dei dati, in quanto le tecniche agricole e le caratteristiche dei sistemi agricoli (composti in gran parte da componenti biotiche) variano notevolmente a seconda della localizzazione

geografica, del tipo di coltura, delle condizioni ambientali.

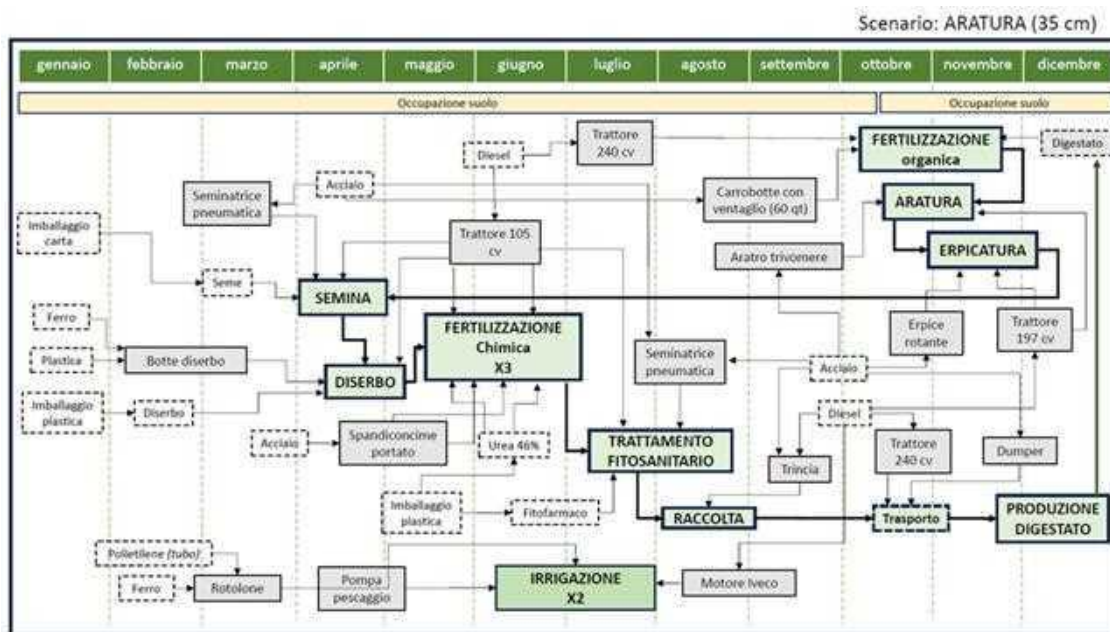
- Complessità delle interazioni, dal momento che l'agricoltura coinvolge molteplici interazioni tra suolo, acqua, aria e organismi viventi e questo rende difficoltoso identificare e quantificare gli impatti specifici di una singola pratica o input
- Temporalità, poiché gli impatti ambientali, specialmente in agricoltura con l'utilizzo di fertilizzanti e pesticidi, possono variare nel tempo e avere rilevanza diversa anche nel medio-lungo termine.

È stato inizialmente individuato e analizzato il contesto di analisi e i confini del sistema, attraverso la schematizzazione delle varie fasi, come nell'esempio in Figura 1: il focus dell'analisi è rappresentato da un terreno agricolo di circa 3 ettari sito in provincia di Ferrara, in cui sono stati confrontati tre diversi scenari in base alle tecniche di coltivazione del terreno:

- SCENARIO 1: tecnica convenzionale, che prevede una lavorazione profonda del terreno (oltre 30-40 cm) solitamente attraverso un processo di aratura;
- SCENARIO 2: la minima lavorazione, per cui il terreno viene lavorato solo superficialmente (fino a 30 cm) con specifiche attrezzature;
- SCENARIO 3: la semina su sodo in cui appunto il terreno non viene lavorato e la semina viene effettuata direttamente sul suolo con i residui della coltura precedente.

NOTA: Lo scenario 3 presenta due set di risultati in quanto erano presenti due diverse tesi per il suddetto scenario: una relativa alla gestione del campo secondo la tecnica di non lavorazione a partire dall'anno 2017 e una seconda tesi in cui il campo è stato gestito con la semina su sodo più recentemente, a partire dal 2023. Le analisi di valutazione di impatto ambientale per le due tesi sono state effettuate separatamente ma nella fase finale di interpretazione e miglioramento le due tesi sono state accorpate e discusse come unico scenario dal momento che i valori risultanti dall'analisi si possono ritenere corrispondenti.

Figura 1.4. Schema dei processi (scenario convenzionale)



Definizione dei confini spaziali e temporali: i processi agricoli analizzati comprendono 18 mesi di coltivazione, che hanno incluso la produzione di insilato di mais per la produzione di biomassa, la gestione del campo nel periodo invernale con colture di copertura e la semina del sorgo per la produzione di biomassa. I confini del sistema di analisi sono definiti gate-to-gate. La valutazione di impatto ambientale è stata effettuata in base all'unità funzionale stabilita, ossia 1 ettaro di terreno.

L'analisi si è svolta grazie al massivo reperimento dei dati, avvenuto tramite la somministrazione di questionari agli operatori e tecnici dell'azienda agricola, e a numerosi momenti di contatto in presenza o via telefonica, e visite in loco, per integrare le informazioni ed arrivare ad una mappatura completa del contesto di produzione e della filiera di approvvigionamento delle materie prime, così come la ricaduta degli output. Per agevolare la compilazione del modulo di raccolta dati da parte degli operatori agricoli, vista la mole consistente di attrezzature e processi, la raccolta dati è stata suddivisa in base alla fase di gestione del campo oggetto di analisi e allo scenario.

- Fase di coltivazione del silomais
- Fase di raccolta del silomais
- Fase di gestione cover crop + semina del silosorgo

Per i dettagli relativi ai questionari di raccolta dati si rimanda alle tabelle contenute nell'allegato 1.

Al termine della fase di inventario dei dati primari (definiti primari perché si riferiscono specificatamente al processo preso in analisi) si è resa necessaria un'importante implementazione di dati secondari, reperiti in minima parte dalla letteratura scientifica presente e in maggior parte dai dati disponibili nelle banche dati nazionali e internazionali e nei database disponibili.

Ai fini della corretta definizione dei fattori di emissioni (in particolari riferiti ai processi di fertilizzazione e di combustione del carburante, associato a quasi la totalità delle fasi del processo agricolo) sono stati esaminate: la guida ufficiale a livello internazionale per la valutazione dei fattori di emissioni dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), i documenti ufficiali regionali per la gestione dei fertilizzanti e articoli scientifici di valutazione delle emissioni azotate in agricoltura, strettamente specifici per l'area geografica e le caratteristiche territoriali del sito in analisi. Relativamente alle emissioni azotate (in particolare protossido di azoto e ammoniaca) è emersa una grande variabilità nell'attribuzione dei fattori di emissione in base alla fonte consultata, il che ha comportato la necessità di ulteriori approfondimenti (per i dettagli degli approfondimenti si riporta alle Figure 2, Figura 3 e Figura 4 contenute nell'Allegato 1).

In conclusione, si è stabilito di utilizzare le indicazioni della guida ufficiale IPCC per le emissioni relative alle fertilizzazioni chimiche (urea), mentre per le emissioni dovute alla distribuzione del fertilizzante organico (digestato) si è fatto riferimento alle indicazioni del Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA), partner dello studio in oggetto. L'obiettivo di ottenere un inventario dati integro e pertinente ha altresì comportato un importante approfondimento sulle macchine agricole, attrezzature e mezzi tecnici utilizzati, attraverso analisi delle schede tecniche reperite sul web e il costante confronto con operatori e partner del progetto.

VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI - LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT (LCIA)

La fase di valutazione degli impatti ha lo scopo di valutare e quantificare l'entità della modificazione a livello ambientale e il rischio per l'ecosistema e per la salute umana sulla base dei dati ricavati dall'analisi di inventario. Viene valutata la salute pubblica, ambientale e l'esaurimento delle risorse a seguito dei rilasci nell'ambiente che l'attività in studio comporta e viene stimato il danno ambientale che questo comporta. Il metodo di valutazione ambientale sfruttato nelle analisi LCA è quello di esprimere il potenziale di rischio delle sostanze come categorie di impatto o di danno finale, a seconda dell'attività in studio, in funzione di precisi indicatori detti "indicatori di categoria o di caratterizzazione" riconosciuti a livello internazionale.

I fattori di caratterizzazione giocano un ruolo chiave nella determinazione degli impatti, in quanto combinano e convertono tutti i dati di input presi in considerazione dell'analisi di inventario, in fattori di impatto. Le categorie di impatto sono riportate nei software di analisi come rappresentate nella tabella sottostante. Per lo studio oggetto di questa tesi è stato utilizzato il software OpenLCA® (GreenDelta, Berlino, Germania), un software open source per effettuare analisi LCA.

Tabella 1.4. Categorie d'impatto

Impact category	UNIT
Agricultural land occupation	m ² *a
Climate Change	kg CO ₂ eq
Fossil depletion	kg oil eq
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Freshwater eutrophication	kg P eq
Human toxicity	kg 1,4-DB eq
Ionising radiation	kg U235 eq
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Marine eutrophication	kg N eq
Metal depletion	kg Fe eq
Natural land transformation	m ²
Ozone depletion	kg CFC-11 eq
Particulate matter formation	kg PM ₁₀ eq
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC
Terrestrial acidification	kg SO ₂ eq
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq
Urban land occupation	m ² *a
Water depletion	m ³

Grazie all'utilizzo del software OpenLCA è stato possibile accedere e utilizzare i database:

- Agrifootprint®, v. 6.3, database LCI completo sui prodotti agricoli: mangimi, alimenti e biomasse. La presente e più recente versione del database copre un'ampia gamma di categorie di impatto, tra cui quelle relative all'acqua, all'uso del suolo, ai cambiamenti di uso del suolo, ai fertilizzanti e ai pesticidi
- Agribalyse® v. 3.0.1, sviluppato nel 2013 da ADEME (l'Agenzia per la Transizione Ecologica francese) è un programma innovativo di raccolta che fornisce dati di riferimento sugli impatti ambientali dei prodotti agricoli e alimentari
- Ecoinvent® v.3.7, riconosciuto a livello internazionale e sviluppato dal Swiss Centre for Life Cycle Inventories nel 2003, un'organizzazione nata dalla collaborazione di diversi istituti partner, con lo scopo di revisionare, aggiornare e armonizzare le svariate banche dati al fine di creare un unico database.

Risultati e discussione

L'analisi di valutazione di impatto ambientale nel contesto del presente studio ha consistito in una analisi LCA dei tre scenari descritti precedentemente, allo scopo di individuare gli hot-spot ambientali dei processi agricoli effettuati durante i 18 mesi di gestione del terreno; in seguito, sono stati messi a confronto i risultati della analisi LCA dei tre scenari con l'intenzione di individuare lo scenario di gestione del terreno in base alle differenti tecniche di lavorazione del suolo più sostenibile dal punto di vista ambientale.

Di seguito in Tabella 2.4, Tabella 3.4 e Tabella 4.4 e Tabella 5.4 sono riportati i risultati di impatto ambientale per la gestione di un ettaro di terreno in diciotto mesi secondo rispettivamente lo scenario uno, due e tre.

Tabella 2.4. Risultati di impatto ambientale scenario 1 (CONVENZIONALE)

Impact category	Impact result	UNIT	±	σ
Agricultural land occupation	583,87	m2*a	±	1,96
Climate Change	4027,21	kg CO2 eq	±	117,60
Fossil depletion	1035,71	kg oil eq	±	31,12
Freshwater ecotoxicity	88,73	kg 1,4-DB eq	±	3,53
Freshwater eutrophication	0,56	kg P eq	±	0,06
<i>Human toxicity</i>	<i>777,35</i>	<i>kg 1,4-DB eq</i>	<i>±</i>	<i>505,40</i>
Ionising radiation	231,67	kg U235 eq	±	136,60
Marine ecotoxicity	81,22	kg 1,4-DB eq	±	3,55
Marine eutrophication	2,81	kg N eq	±	0,16
Metal depletion	253,42	kg Fe eq	±	8,28
Natural land transformation	-1,64	m2	±	0,09
Ozone depletion	0,00	kg CFC-11 eq	±	0,00
Particulate matter formation	11,82	kg PM10 eq	±	1,60
Photochemical oxidant formation	32,80	kg NMVOC	±	4,03
Terrestrial acidification	25,21	kg SO2 eq	±	2,27
Terrestrial ecotoxicity	0,89	kg 1,4-DB eq	±	0,03
Urban land occupation	54,64	m2*a	±	1,81
Water depletion	736,06	m3	±	152,20

Tabella 3.4. Risultati di impatto ambientale scenario 1 (MINIMA LAVORAZIONE)

Impact category	Impact result	UNIT	±	σ
Agricultural land occupation	582,64	m2*a	±	1,85
Climate Change	3715,41	kg CO2 eq	±	117,40
Fossil depletion	1016,70	kg oil eq	±	31,02
Freshwater ecotoxicity	85,12	kg 1,4-DB eq	±	4,49
Freshwater eutrophication	0,54	kg P eq	±	0,05
<i>Human toxicity</i>	<i>745,56</i>	<i>kg 1,4-DB eq</i>	<i>±</i>	<i>620,09</i>
Ionising radiation	217,80	kg U235 eq	±	108,03
Marine ecotoxicity	77,84	kg 1,4-DB eq	±	4,62

Marine eutrophication	2,66	kg N eq	±	0,16
Metal depletion	232,01	kg Fe eq	±	8,46
Natural land transformation	-1,65	m2	±	0,09
Ozone depletion	0,00	kg CFC-11 eq	±	0,00
Particulate matter formation	10,58	kg PM10 eq	±	1,64
Photochemical oxidant formation	28,83	kg NMVOC	±	3,94
Terrestrial acidification	22,98	kg SO2 eq	±	2,22
Terrestrial ecotoxicity	0,88	kg 1,4-DB eq	±	0,03
Urban land occupation	54,01	m2*a	±	1,68
Water depletion	666,90	m3	±	146,70

Tabella 4.4. Risultati di impatto ambientale scenario 1 (SEMINA SU SODO 2017)

Impact category	Impact result	UNIT	±	σ
Agricultural land occupation	350,88	m2*a	±	1,70
Climate Change	2682,68	kg CO2 eq	±	81,60
Fossil depletion	683,62	kg oil eq	±	18,62
Freshwater ecotoxicity	53,14	kg 1,4-DB eq	±	1,49
Freshwater eutrophication	0,38	kg P eq	±	0,03
<i>Human toxicity</i>	534,01	<i>kg 1,4-DB eq</i>	±	115,20
Ionising radiation	141,88	kg U235 eq	±	68,30
Marine ecotoxicity	48,81	kg 1,4-DB eq	±	1,46
Marine eutrophication	2,20	kg N eq	±	0,13
Metal depletion	145,21	kg Fe eq	±	4,88
Natural land transformation	-0,75	m2	±	0,05
Ozone depletion	0,00	kg CFC-11 eq	±	0,00
Particulate matter formation	8,05	kg PM10 eq	±	1,20
Photochemical oxidant formation	22,05	kg NMVOC	±	3,11
Terrestrial acidification	17,66	kg SO2 eq	±	1,74
Terrestrial ecotoxicity	0,82	kg 1,4-DB eq	±	0,02
Urban land occupation	38,46	m2*a	±	1,05
Water depletion	460,45	m3	±	93,35

Tabella 5.4. Risultati di impatto ambientale scenario 1 (SEMINA SU SODO 2023)

Impact category	Impact result	UNIT	±	σ
Agricultural land occupation	350,88	m2*a	±	1,56
Climate Change	2688,11	kg CO2 eq	±	80,91
Fossil depletion	683,10	kg oil eq	±	18,81
Freshwater ecotoxicity	53,13	kg 1,4-DB eq	±	1,74
Freshwater eutrophication	0,38	kg P eq	±	0,03
<i>Human toxicity</i>	533,91	<i>kg 1,4-DB eq</i>	±	192,80
Ionising radiation	141,83	kg U235 eq	±	66,21
Marine ecotoxicity	48,81	kg 1,4-DB eq	±	1,75
Marine eutrophication	2,20	kg N eq	±	0,13
Metal depletion	145,27	kg Fe eq	±	4,54
Natural land transformation	-0,75	m2	±	0,05
Ozone depletion	0,00	kg CFC-11 eq	±	0,00
Particulate matter formation	8,08	kg PM10 eq	±	1,31

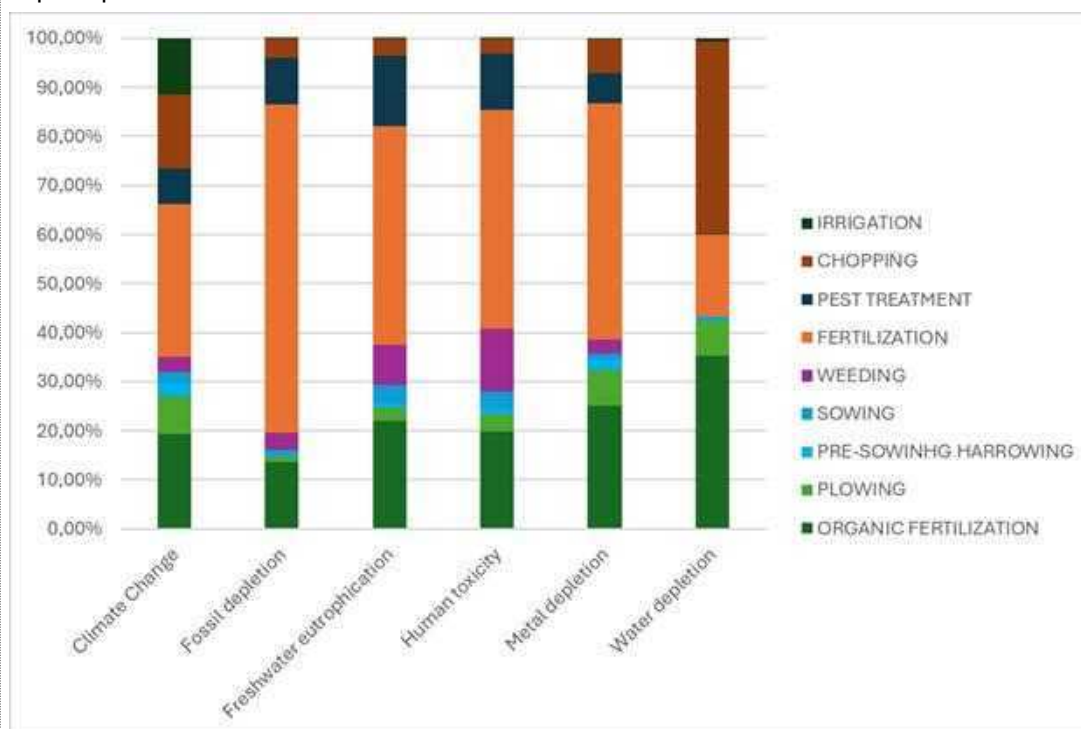
Photochemical oxidant formation	22,14	kg NMVOC	±	3,14
Terrestrial acidification	17,71	kg SO2 eq	±	1,76
Terrestrial ecotoxicity	0,82	kg 1,4-DB eq	±	0,02
Urban land occupation	38,44	m2*a	±	1,10
Water depletion	460,20	m3	±	89,84

L'interpretazione e analisi risultati si è focalizzata su una serie limitata di categorie di impatto (identificate dalle righe delle tabelle evidenziate) rispetto alla totalità; in particolare si è posto il focus sulle categorie di impatto ritenute maggiormente rilevanti per il contesto oggetto di analisi:

- Climate change
- Fossil depletion
- Freshwater eutrophication
- Human toxicity
- Water depletion

Per la categoria di impatto Human toxicity non sono stati effettuati ulteriori approfondimenti in merito all'analisi oggetto dello studio in quanto, come si può notare dalle precedenti tabelle dei risultati, la deviazione standard associata al valore calcolato per la categoria di impatto relativa alla salute umana risulta essere estremamente elevata, ad indicare l'incertezza del valore elaborato dal software. Questo è dovuto dalla difficoltà di valutare gli effetti dei prodotti chimici utilizzati in agricoltura (quali pesticidi o diserbi), sia a lungo termine (per il quale sarebbe necessario valutare anche il residuo nei prodotti e il conseguente consumo) che a breve termine, a causa della variabilità e dell'eterogeneità di variabili da cui è dipendente questa categoria di impatto.

Figura 2.4. Grafico scenario convenzionale: contributo dei principali hot-spots di processo per le categorie di impatto più rilevanti



Nel grafico sopra sono rappresentati i contributi di impatto ambientale relativi allo scenario convenzionale, espressi in percentuale e normalizzati a 100, delle varie operazioni e processi per la gestione agricola del campo oggetto di studio: è evidente come sia preponderante il contributo sull'impatto ambientale, per tutte le categorie di impatto, dei processi di fertilizzazione chimica e organica. Di rilevanza anche il contributo delle fasi di raccolta e irrigazione, in modo pressoché omogeneo per tutte e tre le categorie di impatto. La distribuzione del contributo di impatto

ambientale delle varie fasi che compongono l'intero processo agricolo risulta equivalente per tutti gli scenari analizzati.

L'approfondimento dei sopracitati hot-spots ambientali identificati nel processo analizzato (analogamente per tutti e tre gli scenari) ha messo in evidenza come la sorgente principale degli impatti ambientali dovuti alle fertilizzazioni, all'irrigazione e alla fase di raccolta del prodotto agricoli siano rispettivamente l'energia necessaria alla loro produzione e il carburante di origine fossile (gasolio agricolo) occorrente per il funzionamento delle macchine e attrezzature.

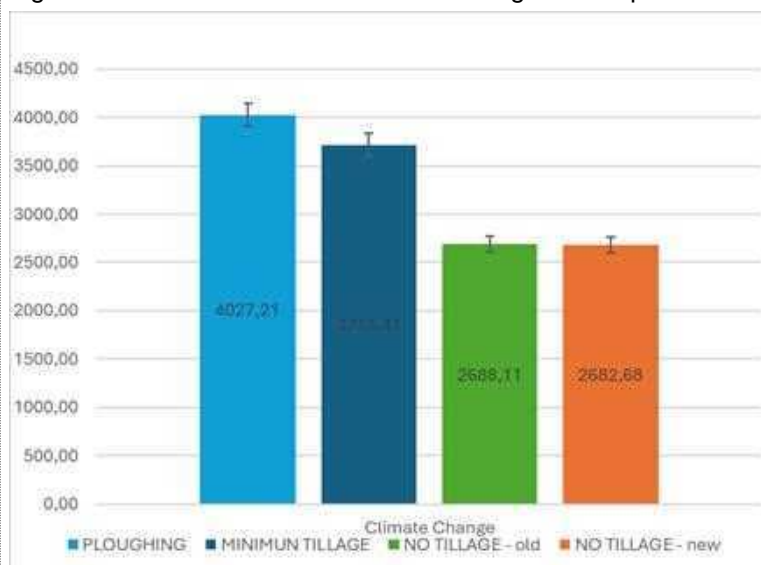
Come si può notare anche dalla tabella sottostante (Tabella 6.4), in cui sono stati messi a confronto gli impatti relativi ai principali processi hot-spot dei diversi scenari, per la categoria d'impatto relativa al cambiamento climatico, il processo che contribuisce maggiormente in tutti gli scenari (corrispondente circa a metà del risultato di impatto) è attribuito alle fasi di fertilizzazione del terreno, in modo specifico al funzionamento degli impianti di produzione dei fertilizzanti chimici (urea) e organici (digestato).

Tabella 6.4. Confronto tra scenari: processi hot-spots categoria di impatto climate change

	CONVENTIONAL		MINIMUM TILLAGE		NO TILLAGE (2017)		NO TILLAGE (2023)	
	% Contr.	kg CO2 Contr	% Contr	kg CO2 Contr	% Contr	kg CO2 Contr	% Contr	kg CO2 Contr
ALL HOTSPOTS PROCESSES FOR CLIMATE CHANGE	100%	4027,21	100%	3715,41	100%	2688,11	100%	2682,68
DIESEL COMBUSTION	34,57%	1392,21	28,54%	1060,38	33,95%	912,61	34,04%	913,18
ORGANIC AND INORGANIC FERTILIZATION	52,50%	2114,28	59,02%	2192,83	48,79%	1311,53	48,62%	1304,32
<i>Urea**</i>	21,68%	873,10	23,50%	873,12	20,85%	560,47	20,89%	560,41
<i>Digestate*</i>	23,86%	960,89	27,98%	1039,57	20,48%	550,53	20,26%	543,51
<i>Transport and distribution of products</i>	6,96%	280,29	7,54%	280,14	7,46%	200,53	7,47%	200,40
HERBICIDE	1,87%	75,31	2,03%	75,42	3,65%	98,12	3,65%	97,92
PEST TREATMENT	4,82%	194,11	5,22%	193,94	7,22%	194,08	7,24%	194,23
TRANSPORT	6,03%	242,84	6,16%	228,87	5,52%	148,38	5,60%	150,23
AGRICULTURAL MACHINERY	0,37%	14,90	0,30%	11,15	0,42%	11,29	0,42%	11,27
OTHER HOTSPOT	6,80%	273,85	6,27%	232,96	7,91%	212,63	7,90%	211,93

L'impronta carbonica della gestione del terreno secondo la modalità convenzionale corrisponde a 4027,21 kg CO₂ eq, l'impronta carbonica relativa alla tecnica della minima lavorazione, che quindi evita l'utilizzo di determinate attrezzature e di alcune fasi di lavorazione, si attesta a 3715,41 kg CO₂ eq. Infine, l'impronta carbonica dello scenario di gestione del suolo di non lavorazione del terreno, si attesta circa in media a 2685,00 kg CO₂ eq.

Figura 3.4. Grafico scenari a confronto categoria di impatto climate change



Come si può notare dal grafico in Figura 3.4 in cui è rappresentato il confronto tra gli scenari, è evidente come l'impatto ambientale sul cambiamento climatico generato da tecniche di gestione del suolo che prevedono maggior numero di lavorazioni del terreno e più consistenti è maggiore rispetto alla gestione del terreno con tecniche di lavorazione del suolo contenute. La gestione del terreno attraverso la minima lavorazione comporta una limitata diminuzione (-7,8%) delle emissioni di gas climalteranti, mentre la tecnica della semina su sodo applicata nel contesto di produzione agricola considerato permette una diminuzione dell'impatto sul cambiamento climatico più rilevante (circa -33%). Questa tendenza di diminuzione dell'impatto rispetto alla tecnica convenzionale, nei risultati del confronto tra i vari scenari per tutte le categorie di impatto è il medesimo (grafici in Figura 4.4 e Figura 5.4).

È doveroso specificare che nella valutazione di impatto ambientale effettuata, a causa delle limitazioni intrinseche operative del software e del contesto di analisi, non vengono considerati gli aspetti inerenti alla struttura e composizione di natura biologica del suolo. Questo implica che non vengono considerati gli impatti (negativi e positivi) dei vari processi sulla salute del suolo in termini di biodiversità microbiologica e contenuto di sostanza organica, aspetti fondamentali per la sostenibilità ambientale del comparto agricolo e delle produzioni agroalimentari.

Figura 4.4. Grafico confronto tra scenari: risultati categorie di impatto relative al consumo di risorse (fossili e idriche) e alla tossicità umana

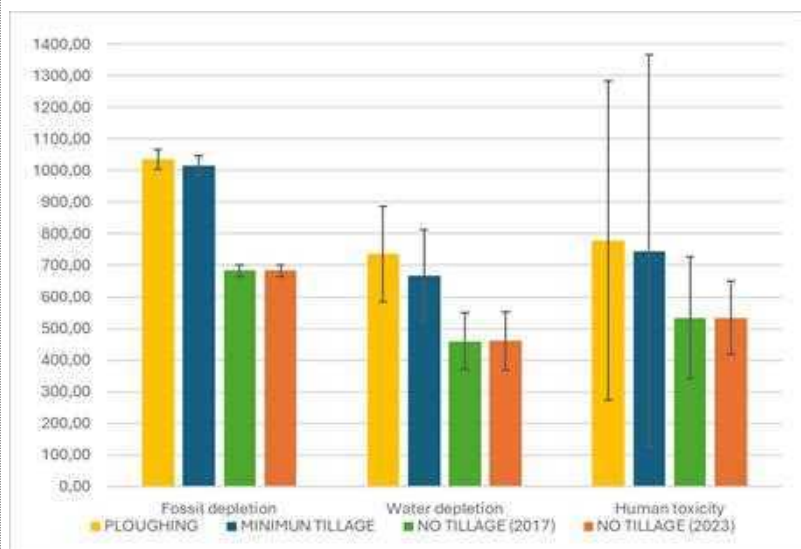
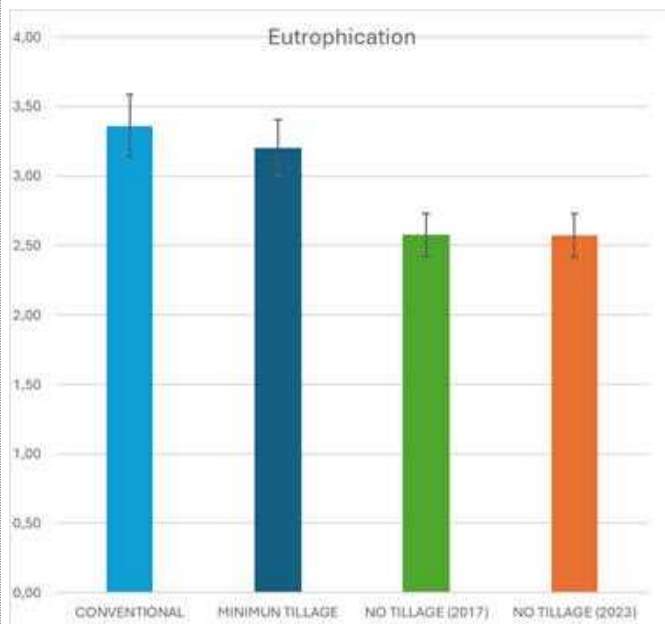


Figura 5.4. Grafico confronto tra scenari categorie di impatto relative all'eutrofizzazione



Il grafico in Figura 3.4 mostra il confronto tra gli scenari per la categoria di impatto relativa al cambiamento climatico. Il grafico in Figura 4.4 invece rappresenta il confronto tra i diversi scenari di gestione del terreno rispettivamente per le categorie di impatto relative al consumo di risorse fossili, idriche e alla salute umana. È stato effettuato un approfondimento del contributo dei vari processi sulla categoria di impatto relativa al consumo di acqua, in quanto risorsa indispensabile in quantità considerevoli per le produzioni agricole: è emerso che la fase del processo studiato che consuma il maggior quantitativo di acqua risulta essere la produzione di energia elettrica a monte della fornitura di input utili al settore agricolo come i fertilizzanti, le macchine e attrezzature per le lavorazioni del terreno. Il consumo di risorse fossili invece è maggiormente attribuibile all'utilizzo di carburante per il funzionamento delle macchine agricole e per i trasporti.

In Figura 5.4 il grafico rappresenta il confronto tra gli scenari rispetto l'impatto sull'eutrofizzazione: i valori risultati mostrati in Tabella 7.4 si attestano ad un massimo di 3,36 (kg P eq + kg N eq)/UF per lo scenario convenzionale e un minimo di 2,57 (kg P eq + kg N eq)/UF per lo scenario di non lavorazione del suolo.

Tabella 7.4. risultati e deviazione standard categoria di impatto eutrofizzazione

Scenario	Eutrophication	σ	Unit
CONVENTIONAL	3,36	$\pm 0,22$	kg P eq + kg N eq
MINIMUN TILLAGE	3,20	$\pm 0,21$	kg P eq + kg N eq
NO TILLAGE (2017)	2,58	$\pm 0,15$	kg P eq + kg N eq
NO TILLAGE (2023)	2,57	$\pm 0,16$	kg P eq + kg N eq

La variazione nei risultati di impatto sull'eutrofizzazione non è coerente con la variazione della quantità di input (fertilizzanti) relativa ai diversi scenari: per la gestione convenzionale e la minima lavorazione, infatti, è stata distribuita la stessa identica quantità, mentre per lo scenario di non lavorazione è stato diminuito notevolmente l'apporto di concimi azotati.

È stato quindi indagato il contributo dei vari processi sull'eutrofizzazione ed è stato evidenziato come le fertilizzazioni rappresentino la principale causa dell'impatto ambientale negativo (>60%) ma che la singola fase di distribuzione dei fertilizzanti, tuttavia, partecipa limitatamente all'impatto rispetto ai processi di produzione degli stessi e alle altre fasi operative che richiedono input energetici.

Lo studio di valutazione di impatto ambientale tramite la metodologia LCA ha permesso di confermare che le tecniche di lavorazione del terreno 'minima lavorazione' e 'non lavorazione' risultano avere un impatto sul cambiamento climatico, sull'eutrofizzazione e sul consumo di risorse inferiore rispetto alla tecnica convenzionale; l'analisi ambientale effettuata ha permesso inoltre di individuare i processi coinvolti nella gestione agricola maggiormente impattanti (hotspots) sull'ambiente e sull'uomo, ossia:

- Produzione/distribuzione fertilizzanti
- Combustione diesel
- Distribuzione pesticidi e diserbanti (impatto sulla salute umana)

Valutazione della sostenibilità economica

Metodologia di calcolo analisi economica

La metodologia adottata per l'analisi economica ha previsto il calcolo del costo di esercizio delle operazioni agricole. Il costo di esercizio delle macchine agricole risulta formato da due componenti: le voci di spesa fisse indipendenti dall'utilizzo e le voci di spesa variabili legate all'impiego. Nella componente fissa sono comprese la reintegrazione del capitale investito, gli interessi (costo d'uso del capitale), le spese inerenti le assicurazioni, il ricovero. La componente variabile comprende: riparazioni, manutenzioni, consumo di materiali, manodopera addetta alla conduzione e al servizio della macchina. I materiali di consumo includono i carburanti e i lubrificanti, le spese per sementi, concimi e agrofarmaci.

Reintegrazione.

La reintegrazione rappresenta la quota annuale da accantonare per poter recuperare il capitale investito nella macchina. Per il calcolo della quota di reintegrazione è stata utilizzata la seguente formula:

$$\text{Quota di reintegrazione} = (A-R)/n$$

Dove A=valore a nuovo; R= valore di recupero; N= durata in anni della macchina

Il valore a nuovo è stato stimato in base ai prezzi di mercato. Per il valore di recupero si è considerato un deprezzamento annuale del 20% per le macchine semoventi (35% per la falciatrinciacaricatrice), e del 10% per le operatrici. La durata (vita utile) delle macchine è stata stimata direttamente dagli utilizzatori.

Interessi

Rappresentano gli interessi del costo del capitale investito e sono stati calcolati sul valore medio investito

$$\text{Interessi} = [(A+R)/2] * r$$

Dove: A=valore a nuovo; R= valore di recupero; R=saggio di interesse. (è stato applicato un saggio del 4,5%).

Manutenzioni e riparazioni

Per le manutenzioni è stata considerata 1 ora di manutenzione ogni 20 ore di utilizzo trattori e operatrici, 1 ora ogni 10 per le macchine per la lavorazione del terreno. Per i costi delle riparazioni si è stimata per tutta la vita delle macchine una percentuale del 80% sul valore a nuovo e del 100% per le macchine lavorazione terreno. Per la quantificazione del costo orario di manutenzione, limitato alla manodopera è stato applicato il costo orario di 19,5 €/ora. Tale tariffa è stata applicata anche per le operazioni di campo dei conducenti delle macchine semoventi in base ai tempi di lavoro medi.

Spese per materiali di consumo.

Carburanti e lubrificanti

Il consumo dei carburanti è stato attribuito direttamente dai tecnici di campo. Una stima è stata fatta solo per alcune operazioni in cui non è stato possibile assegnare i dati direttamente come nel caso dei consumi della falciatrinciacaricatrice e della motopompa per l'irrigazione dove si utilizzata la formula:

- Consumo = CS (g/kWh) * P (kW) * CM (%)
- CS = consumo specifico dei motori a gasolio (0,3 kg/kWh)
- P= potenza del motore (kW)
- CM = carico motore, indice in percentuale dell'utilizzo della potenza durante l'operazione

Per i lubrificanti è stata utilizzata una formula specifica in base alla potenza motrice

$$\text{(kg/h} = \text{kW} * 0,0004956 + 0,01822)$$

Si è considerato un costo del gasolio agevolato di 1,15 €/litro e un costo del lubrificante di 7,00 €/kg.

Altri materiali di consumo

Rientrano in queste spese i costi ad esempio delle sementi, dei concimi e degli agrofarmaci utilizzati. I valori delle quantità sono stati forniti direttamente dai tecnici che seguivano le proeve, mentre per i relativi prezzi sono stati presi come riferimento i prezzi di mercato.

Spese varie

Per le spese varie (ricovero, eventuali assicurazioni, altro) è stata applicata un'aliquota dello 1% sul valore a nuovo delle macchine.

Note

In queste prove la semina su sodo è stata effettuata con la stessa seminatrice utilizzata sia per la tesi di aratura che per la tesi di minima lavorazione. Normalmente le seminatrici per la semina su sodo, per le loro caratteristiche, rispetto alle seminatrici abituali hanno un costo superiore, che in questo caso non è stato computato.

Per il trasporto del trinciato è stato calcolato nella misura di 6 km andata e 6 km ritorno effettuato con un trattore che trainava un rimorchio dumper da 15 t di portata per un numero di 4 viaggi/ha.

Risultati

Tabella 8.4. risultati ottenuti nelle tre prove messe a confronto.

TESI	€/ha	t/ha	€/t
aratura	1.868,24	84,22	22,18
minima lavorazione	1.678,98	68,81	24,40
semina su sodo	1.456,96	61,91	23,53

In generale, i dati per €/ha suggeriscono che la semina su sodo è la pratica meno costosa, seguita dalla minima lavorazione e infine dall'aratura, il che riflette anche le differenze nei requisiti di input e di lavoro associati a ciascuna pratica.

Se si considerano le rese, tuttavia, i dati indicano che i costi della minima lavorazione e la semina su sodo sono leggermente superiori rispetto all'aratura.

Va considerato che i costi possono variare in base a diversi fattori, come il tipo di terreno, la regione geografica, le condizioni meteorologiche, la diversità dei macchinari agricoli e non ultima l'abilità degli operatori.

Bibliografia

- Castaldelli, G., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., Fano, E. A., & Mastrocicco, M. (2019). Reactive nitrogen losses via denitrification assessed in saturated agricultural soils. *Geoderma*, 337, 91-98. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.018>
- Castaldelli, G., Colombani, N., Tamburini, E., Vincenzi, F., & Mastrocicco, M. (2018). Soil type and microclimatic conditions as drivers of urea transformation kinetics in maize plots. *Catena*, 166, 200-208. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.009>
- Czubaszek, R., & Wysocka-Czubaszek, A. (2018). Emissions of carbon dioxide and methane from fields fertilized with digestate from an agricultural biogas plant. *International Agrophysics*, 32(1). 10.1515/intag-2016-0087
- De Nobili, M., Contin, M., Mondini, C., & Brookes, P. C. (2001). Soil microbial biomass is triggered into activity by trace amounts of substrate. *Soil Biology and Biochemistry*, 33(9), 1163-1170. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00020-7](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00020-7)
- Golterman, H. L., Clymo, R. S., & Ohnstad, M. A. M. (1978). *Methods for physical & chemical analysis of fresh waters*. IBP Handbook No. 8—Blackwell Scientific Publications.
- Mastrocicco, M., Soana, E., Colombani, N., Vincenzi, F., Castaldi, S., & Castaldelli, G. (2019a). Effect of ebullition and groundwater temperature on estimated dinitrogen excess in contrasting agricultural environments. *Science of The Total Environment*, 693, 133638. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133638>
- Mastrocicco, M., Colombani, N., Soana, E., Vincenzi, F., & Castaldelli, G. (2019b). Intense rainfalls trigger nitrite leaching in agricultural soils depleted in organic matter. *Science of The Total Environment*, 665, 80-90. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.306>
- Mastrocicco, M., Colombani, N., & Castaldelli, G. (2019c). Direct measurement of dissolved dinitrogen to refine reactive modelling of denitrification in agricultural soils. *Science of the total environment*, 647, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.428>
- Parkinson, K. J. (1981). An improved method for measuring soil respiration in the field. *Journal of applied ecology*, 221-228. <https://doi.org/10.2307/2402491>

- Pezzolla, D., Bol, R., Gigliotti, G., Sawamoto, T., López, A. L., Cardenas, L., & Chadwick, D. (2012). Greenhouse gas (GHG) emissions from soils amended with digestate derived from anaerobic treatment of food waste. *Rapid communications in mass spectrometry*, 26(20), 2422-2430. <https://doi.org/10.1002/rcm.6362>
- Severin, M., Fuss, R., Well, R., Garlipp, F., & Van den Weghe, H. (2016). Soil, slurry and application effects on greenhouse gas emissions. <https://doi.org/10.17221/21/2015-PSE>
- ISO 14040 (2006) Environmental management -- Life cycle assessment - Principles and framework International
- Avadí, A. Screening LCA of French organic amendments and fertilisers. *Int J Life Cycle Assess* 25, 698–718 (2020).
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. 2003
- Castaldelli, G.; Vincenzi, F.; Fano, E.A.; Soana, E. In Search for the Missing Nitrogen: Closing the Budget to Assess the Role of Denitrification in Agricultural Watersheds. *Appl. Sci.* 2020, 10, 2136.
- Gumiero, B.; Candoni, F.; Boz, B.; Da Borso, F.; Colombani, N. Nitrogen Budget of Short Rotation Forests Amended with Digestate in Highly Permeable Soils. *Appl. Sci.* 2019, 9, 4326.
- Birkved, M.; Hauschild, M.Z. PestLCI—A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA, *Ecological Modelling*, Volume 198, Issues 3–4, 2006, Pages 433-451, ISSN 0304-3800.

Data 23/09/2024.

Per Fondazione per l'agricoltura Fratelli Navarra
Via Conca, 73/B - 44123 Ferrara (FE)
CF e P.IVA 00079060380
Firma del legale rappresentante

.....
Firma autografa () Firma digitale (**)*

(*) In caso di firma autografa allegare copia del documento di identità in corso di validità

(**) Ai sensi dell'art. 24 del D.Lgs. 82/2005