



## **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 DEL 16/05/2022**

**FOCUS AREA 4 B**

## **RELAZIONE TECNICA**

**DOMANDA DI SOSTEGNO 5518249**

**DOMANDA DI PAGAMENTO 5857371**

Titolo Piano Ottimizzazione della gestione agronomica del noce in ambiente regionale attraverso la digitalizzazione della tecnica frutticola

Ragione sociale  
del proponente  
(soggetto  
mandatario)  
Partner del GO

SOCIETA' AGRICOLA AGRONOCE S.R.L

CER

UNIBO

CNR

AZ. AGRICOLA MARIO GUIDI

AZ.AGRICOLA FERTILIA SRL

DINAMICA

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi) 15  
Data inizio attività  
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse) 05/08/2024  
Relazione relativa al periodo di attività dal al  
Data rilascio relazione  
Autore della relazione SOCIETA'AGRICOLA AGRONOCE SRL  
telefono email pmarchini@areteagrifood.com>  
pec agronoce@legalmail.it

## Sommario

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

# 1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO

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

Il progetto **OTTIM.A.NOCE** nasce in risposta ai cambiamenti climatici e alla crescente siccità che ha colpito le aree romagnole e il ferrarese, dove la coltivazione intensiva del noce sta sostituendo altre colture, come il pesco, grazie alla sua maggiore redditività. Sebbene la superficie dedicata alla coltura del noce sia in rapido aumento, non esistono ancora tecniche consolidate per una gestione sostenibile.

Il noce presenta caratteristiche specifiche, come la lenta entrata in produzione e la necessità di irrigazione costante, che richiedono strategie attente per gestire in modo efficiente le risorse idriche, specialmente di fronte alla riduzione delle riserve d'acqua. Inoltre, l'uso di ammendanti organici è visto come una soluzione promettente per migliorare la fertilità del suolo, aumentare la capacità di sequestro del carbonio e mitigare gli effetti dei cambiamenti climatici, come la siccità e l'erosione.

Un'altra sfida è rappresentata dalla gestione fitosanitaria, in particolare dal mal secco, una malattia trasmessa dal polline che può compromettere significativamente la produzione.

Partendo da questo contesto, il progetto **OTTIM.A.NOCE** si è posto come obiettivo principale l'ottimizzazione delle strategie di gestione del noceto per ridurre l'impatto ambientale, aumentare la sostenibilità delle coltivazioni e migliorarne l'adattamento ai cambiamenti climatici. Il progetto si è focalizzato sull'uso efficiente della risorsa idrica e sulla riduzione dell'uso di fertilizzanti chimici, attraverso l'applicazione di ammendanti organici. Durante il corso delle attività, è stato misurato il sequestro del carbonio da parte delle colture e valutata l'emissione di gas serra, al fine di comprendere il contributo del noceto nella mitigazione degli effetti climatici.

Due azioni specifiche hanno inoltre esplorato tecniche innovative: il test di un bioreattore per ridurre il carico di nitrati e fosfati dalle acque di drenaggio, e lo sviluppo di tecniche di sterilizzazione del polline per ridurre l'incidenza del mal secco. Queste azioni, integrate con un approccio globale alla gestione agricola sostenibile, mirano a migliorare la qualità ambientale e a promuovere pratiche agricole più resilienti.

## 1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE	AGRONOCE	Coordinamento Progetto	Gennaio 2023	Aprile 2023	Aprile 2024	Luglio 2024
AZIONE 1 GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA	CER	Prove sperimentali e rilievi	Marzo 2023	Maggio 2023	Marzo 2024	Giugno 2024
AZIONE 2 GESTIONE DELLA NUTRIZIONE	UNIBO-DISTAL	Prove sperimentali e rilievi	Marzo 2023	Maggio 2023	Marzo 2024	Luglio 2024
AZIONE 3 VALUTAZIONE DEL BILANCIO DI CARBONIO E DELLE EMISSIONI DI PROTOSSIDO D'AZOTO DA PARTE DEL NOCETO	CNR -IBE	Prove sperimentali e Rilievi	Marzo 2023	Maggio 2023	Marzo 2024	Giugno 2024
AZIONE 4 SPERIMENTAZIONE DI UN BIOREATTORE PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE DI DRENAGGIO	CER	Prove sperimentali e Rilievi	Aprile 2023	Maggio 2023	Marzo 2024	Giugno 2024
AZIONE 5 GESTIONE DELL'IMPOLLINAZIONE	UNIBO - DISTAL	Prove sperimentali e Rilievi	Aprile 2023	Maggio 2023	Ottobre 2023	Ottobre 2023
AZIONE DIVULGAZIONE	AGRONOCE	Divulgazione	Marzo 2023	Aprile 2023	Aprile 2024	Luglio 2024

## 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

Compilare una scheda per ciascuna azione

### 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione	<b>AZIONE ESERCIZIO DELLA COOPERAZIONE</b>
Unità aziendale responsabile	AGRONOCE
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p><i>L'azione Esercizio della Cooperazione ha avuto come obiettivo principale il monitoraggio e il coordinamento dell'attuazione del Piano di Innovazione del Gruppo Operativo (GO), attraverso una serie di attività di natura tecnico-scientifica, amministrativa e divulgativa. Il focus principale è stato quello di garantire il corretto avanzamento del progetto, il raggiungimento degli obiettivi prefissati e la gestione efficiente delle risorse coinvolte.</i></p> <p><i>L'implementazione del Piano di Innovazione è stata articolata in due macro-fasi principali:</i></p> <ol style="list-style-type: none"><li><i>1. Avviamento Amministrativo: fase iniziale di attivazione formale e organizzativa del progetto.</i></li><li><i>2. Organizzazione e Controllo dello Stato di Avanzamento: monitoraggio continuo delle attività, gestione operativa e supervisione del progresso rispetto agli obiettivi stabiliti.</i></li></ol> <p><i>Per garantire un coordinamento efficiente e una suddivisione chiara delle responsabilità, è stato istituito un Comitato Esecutivo (CE), composto dal responsabile del Piano e dal responsabile scientifico oltre che dai responsabili dei partner effettivi. Il Comitato Esecutivo (CE) è stato incaricato della pianificazione e del coordinamento delle attività, con il compito di garantire l'adeguato avanzamento del progetto. Il CE si è riunito periodicamente, secondo necessità e in funzione degli obiettivi da raggiungere. In particolare, gli incontri sono stati finalizzati a:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li><i>• Definire i ruoli di ciascun partner e i compiti specifici.</i></li><li><i>• Stabilire i tempi delle attività e assicurare che le scadenze fossero rispettate.</i></li><li><i>• Gestire e risolvere eventuali criticità emergenti durante le fasi operative.</i></li><li><i>• Valutare i progressi raggiunti e monitorare le attività in corso, garantendo che fossero in linea con gli obiettivi del Piano di Innovazione.</i></li></ul> <p><i>Le riunioni del CE sono state regolari e focalizzate sulle problematiche emerse durante l'implementazione delle attività tecniche e operative, promuovendo il dialogo continuo tra i partner. Questo ha permesso di mantenere alto il livello di cooperazione e allineamento tra i vari attori coinvolti.</i></p> <p><i>Il monitoraggio continuo ha costituito un elemento chiave per garantire il corretto avanzamento del Piano di Innovazione.</i></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><i>Il monitoraggio e la gestione coordinata delle attività hanno svolto un ruolo cruciale nel raggiungimento degli obiettivi del Piano di Innovazione. Grazie a un efficiente coordinamento tra i partner, è stata garantita una chiara assegnazione delle responsabilità, favorendo una gestione fluida delle operazioni. Il rispetto delle scadenze è stato assicurato, con tutte le fasi operative completate nei tempi previsti, permettendo un avanzamento regolare del progetto. Quando sono emerse criticità, il Comitato Esecutivo è intervenuto tempestivamente, risolvendo i problemi senza compromettere l'esito complessivo. Il monitoraggio costante ha fornito una visione chiara e aggiornata sull'implementazione del Piano, permettendo di mantenere il progetto in linea con le aspettative iniziali e di raggiungere gli obiettivi prefissati.</i></p> <p><i>Il Comitato Esecutivo ha svolto un ruolo fondamentale, facilitando la comunicazione tra i partner e supportando il processo decisionale in maniera efficace. Inoltre, le attività condotte hanno creato solide basi per la diffusione e il trasferimento dei risultati ottenuti, favorendo l'innovazione sia in ambito agricolo che scientifico.</i></p>

## 1.1 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.

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Dirigente	Coordinatore	75	16	1.200,00
	Quadro	Ricercatore	43	16	688,00
	Quadro	Ricercatore	43	16	€ 688,00
	RTDb	Responsabile U.O. - Coordinamento progetto	31	10	€ 310,00
	Professore Associato	Responsabile U.O. - Coordinamento progetto	48	10	€ 480,00
	RTDb	Responsabile U.O. - Coordinamento progetto	31	10	€ 310,00
	Dipendente	Ricercatore	33	45	€ 1.485,00
	Dipendente	Ricercatore	33	30	€ 990,00
Totale:					€ 6.151,00

## 1.2 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

### CONSULENZE - PERSONE FISICHE

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

Totale:

### CONSULENZE - SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
ARTEMIS SRL		15.120,00	Consulenza tecnica	8.100,00

Totale: 8.100,00

Azione

## AZIONE 1 - Gestione della risorsa idrica

Unità aziendale responsabile

CER

Descrizione delle attività *descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione*

*L'obiettivo principale di questa azione è stato quello di valutare la gestione ottimale dell'irrigazione del noceto durante la fase di allevamento della cultivar Chandler innestata su Junglas regia, per favorire uno sviluppo equilibrato delle piante e degli apparati radicali, assicurando una rapida entrata in piena produzione.*

*La sperimentazione, condotta presso l'Azienda Agronocce di Bondeno (FE), ha confrontato due diversi sistemi irrigui: a goccia e a microjet. Sono stati utilizzati sensori resistivi/capacitivi per monitorare l'umidità del suolo, mantenendo i livelli idrici tra la capacità di campo e una soglia di stress idrico, integrando la gestione con il bilancio idrico.*

*Le misurazioni di risposta fisiologica delle piante sono state eseguite durante la stagione vegetativa con strumentazione avanzata (LI-COR 6400 per misure di fotosintesi, conduttanza stomatica e traspirazione; camera di Scholander per misure di potenziale idrico). Misure allometriche continue su fusti, germogli e frutti hanno fornito indicazioni sullo sviluppo vegetativo, mentre la resa e qualità del prodotto sono state valutate a fine stagione.*

*Sono stati integrati due sistemi di gestione dell'irrigazione, combinando sensori nel terreno con il bilancio irriguo (stima dell'evapotraspirato potenziale ETP e degli apporti idrici da precipitazioni e falda). Il supporto del CNR-IBE ha permesso di calibrare i coefficienti colturali (Kc) attraverso misurazioni di evapotraspirazione effettiva (ETe), utilizzando una torre eddy-covariance e dati meteo per ottenere ETo.*

*In parallelo alla sperimentazione in campo, è stata avviata l'attività di telerilevamento da satellite per monitorare eventuali stress idrici nei noceti. Le immagini satellitari Sentinel-2 sono state scaricate ed elaborate per analizzare indici vegetativi (NDVI, Red Edge, NIR) correlabili ai coefficienti colturali Kc e alla clorofilla.*

*Presso le aziende Agronocce e Guidi, sono stati utilizzati droni multispettrali e sensori IR per raccogliere dati sulla vegetazione, includendo il Leaf Area Index (LAI), Canopy Cover e stima della biomassa. Le immagini satellitari sono state correlate con misure a terra per calibrare indici specifici per il noce, associando le immagini alle fasi fenologiche della coltura.*

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

*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*

*Il raggiungimento degli obiettivi previsti nella sperimentazione sull'irrigazione ottimale del noceto presso l'Azienda Agronocce di Bondeno è stato in gran parte soddisfacente, e non si sono manifestate specifiche problematiche sotto il profilo tecnico-scientifico.*

*Il noce da frutto richiede una gestione irrigua ottimale per garantire rese elevate, qualità del prodotto e uno sviluppo equilibrato delle piante, soprattutto nella fase di allevamento. L'uso di strumenti avanzati come il sistema di supporto decisionale Irriframe, sensori tensiometrici e il telerilevamento satellitare ha permesso di monitorare in tempo reale lo stato idrico del suolo e le esigenze delle piante, migliorando l'efficienza delle irrigazioni e riducendo gli sprechi d'acqua.*

*La sperimentazione ha dimostrato che l'integrazione di Irriframe con i sensori tensiometrici ha portato a una gestione idrica ottimale, mantenendo livelli adeguati di umidità del suolo e favorendo una crescita sana delle piante. Inoltre, il telerilevamento ha permesso di monitorare lo stress idrico e la nutrizione, con una correlazione tra il contenuto di nutrienti nelle foglie e i dati radiometrici satellitari.*

*In sintesi, l'integrazione di queste tecnologie avanzate ha dimostrato di essere un approccio sostenibile ed efficace per migliorare la produttività, la qualità del raccolto e l'uso efficiente delle risorse idriche e nutrizionali, offrendo un modello agronomico moderno e ottimizzato per la gestione del noce.*

## 1.1 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.

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O.T.I. Specializzato Super	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	RTDb	Gestione prove sperimentali - elaborazione dati	31	20	620,00
	Professore Associato	Gestione prove sperimentali	48	20	960,00
	RTDb	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	240	7.440,00
	Tecnico	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	40	1.240,00
	Borsa di ricerca	Esecuzione Rilievi sperimentali	11,26	564	6.350,64
	Dirigente	Coordinatore	75	48	3.600,00
	Impiegato	Tecnico	27	25	675,00
	Quadro	Ricercatore	43	80	3.440,00
	Impiegato	Tecnico	27	160	4.320,00
	Impiegato	Tecnico	27	60	1.620,00
	Quadro	Ricercatore	43	136	5.848,00
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	75	1.462,50
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	75	1.462,50
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	75	1.462,50
	Imprenditore agricolo	Prove sperimentali	19,5	100	1.950,00
				Totale:	50.251,14

Azione

**AZIONE 2 - Gestione della nutrizione**

Unità aziendale  
responsabile

UNIBO-DISTAL

Descrizione delle attività *descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione*

*L'obiettivo di questa azione è stato quello di valutare il fabbisogno di nutrienti del noceto durante la fase di allevamento, quantificando le asportazioni reali di macro e micronutrienti nei vari organi della pianta (foglie, germogli, rami, frutti e legno di potatura). Parallelamente, è stato impostato un piano di fertilizzazione per confrontare gli effetti della fertilizzazione minerale con quella organica.*

*L'attività si è svolta presso il noceto di Agronoce, con un impianto di irrigazione localizzata. Il suolo è stato gestito con inerbimento spontaneo nell'interfila e diserbo meccanico sulla fila mediante erpice a dischi, permettendo anche l'interramento delle matrici organiche applicate.*

*I trattamenti sperimentali sono stati condotti secondo uno schema a blocchi randomizzati con 5 repliche, includendo i seguenti trattamenti:*

- *Concimazione minerale (secondo i Disciplinari di Produzione Integrata - DPI)*
- *Ammendante compostato misto*
- *Ammendante compost con fanghi*
- *Biochar*

*Nel corso della sperimentazione sono stati monitorati:*

*Sviluppo vegetativo delle piante: Misurato con rilievi periodici su lunghezza del germoglio, diametro del tronco e volume della chioma.*

*Stato nutrizionale: Attraverso analisi di tessuti vegetali (foglie e frutti) per valutare le concentrazioni di N, P, K e altri nutrienti.*

*Attività fisiologica: Come descritto nell'Azione 1, con misurazioni di fotosintesi, conduttanza stomatica e traspirazione.*

*Inoltre, è stata monitorata la disponibilità di azoto minerale e l'attività microbica del suolo, oltre alla concentrazione di carbonio organico per valutare l'effetto delle strategie di fertilizzazione.*

*I rilievi sono stati finalizzati alla costruzione delle curve di assorbimento dei principali nutrienti (N, P, K) che saranno inserite nel sistema di supporto decisionale DSS FERTIRRINET del CER, utilizzato per gestire la fertirrigazione, come previsto nei Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Emilia-Romagna.*

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

*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*

*L'azione 2 è stata portata a termine come previsto dal piano d'innovazione con uno svolgimento pressoché regolare e non si rilevano pertanto scostamenti significativi rispetto a quanto programmato.*

## 1.1 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.*

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	75	1.462,50
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	75	1.462,50
	O.T.I. Specializzato Super	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	75	1.462,50
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	75	1.462,50



Quadro	Ricercatore	43	48	2.064,00
Quadro	Ricercatore	43	53,75	2.311,25
Impiegato	Tecnico	27	88	2.376,00
Operaio agricolo	Prove in campo	19,5	65	1.267,50
Operaio agricolo	Prove in campo	19,5	65	1.267,50
Operaio agricolo	Prove in campo	19,5	68,5	1.335,75
RTDb	Responsabile U.O - Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	160	4.960,00
Professore Associato	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	48	110	5.280,00
RTDb	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	60	1.860,00
Tecnico	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	190	5.890,00
Borsa di ricerca	Esecuzione Rilievi sperimentali	11,26	753	8.478,78

**Totale: 42.940,78**

Azione

### **AZIONE 3 - Valutazione del bilancio di carbonio e delle emissioni di protossido d'azoto da parte del noceto**

Unità  
aziendale  
responsabile

CNR -IBE

Descrizione delle attività

*Questa azione si è concentrata sulla misurazione dei gas serra (CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O) emessi ed assorbiti dall'agroecosistema noceto. Al fine di valutare il potenziale impatto sul clima di una gestione oculata del noceto.*

*Lo scambio di carbonio tra atmosfera e superficie è stato misurato tramite metodo eddy-covariance*

*Questa metodologia viene utilizzata per stimare lo scambio netto di carbonio (NEE) fra l'ecosistema e l'atmosfera.*

*La torre eddy-covariance è stata installata nel frutteto ad un'altezza di 7.5 metri sopra la chioma degli alberi di noce, ed è stata equipaggiata con la seguente strumentazione:*

- *Un anemometro ultrasonico tridimensionale per la misurazione della velocità del vento.*
- *Un analizzatore di gas a infrarossi per monitorare gli scambi di CO<sub>2</sub> e vapore acqueo.*
- *Un radiometro netto per misurare l'energia netta disponibile e valutare il bilancio energetico e radiativo del sistema.*

*La torre è stata operativa per l'intero anno solare, fornendo un set di dati continuo sugli scambi di gas tra il suolo, la vegetazione e l'atmosfera.*

*Oltre agli scambi di CO<sub>2</sub>, sono stati monitorati anche:*

- *Flussi di calore dal suolo, misurati tramite piastre di flusso installate a 5 cm di profondità.*
- *Umidità del suolo, rilevata con sonde TDR a diverse profondità.*
- *Temperatura del suolo, misurata con termocoppie posizionate a vari livelli nel terreno.*

*I dati ottenuti sono stati elaborati tramite il software EddyPro-7.0.9 (LiCor, USA) che permette di effettuare il quality check, la correzione dei dati e il calcolo dei flussi applicando la metodologia eddy covariance.*

*Al fine di valutare l'impatto sull'emissione di gas serra dei diversi metodi di concimazione testati da DISTAL-UNIBO, il CNR-IBE ne ha misurato le emissioni di N<sub>2</sub>O dal suolo.*

*Le emissioni effettive di N<sub>2</sub>O sono state misurate in tempo reale tramite una cameretta di incubazione (smart chamber 8200 - 01S con GPS integrato) posizionata sul suolo di coltivazione, e collegata ad un analizzatore portatile di gas ad infrarosso IRGA, Li7820, LiCor Inc., USA.*

*I campionamenti sono stati effettuati durante il corso dell'anno ad intervalli prestabiliti, prima e dopo la concimazione, nelle stesse parcelle in cui sono stati sperimentati i diversi ammendanti organici.*

*Per ogni parcella sono stati effettuate 5 repliche di misure di flusso di N<sub>2</sub>O e di misura di temperatura e umidità del suolo.*

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

*L'attività è stata programmata per consentire misurazioni regolari e idonee alle finalità specifiche dell'azione in modo da ridurre al minimo possibili interferenze in grado di compromettere la qualità dei dati e delle rilevazioni effettuate.*

*Durante la campagna di misura, la forte alluvione che ha colpito la Regione Emilia-Romagna in maggio 2023 ha avuto ripercussioni anche nell'area interessata dalla sperimentazione. Infatti, a causa di venti forti la Torre Eddy-Covariance montata ad un'altezza di 7 metri, ha avuto un cedimento; questo evento ha momentaneamente causato l'interruzione della trasmissione dei dati di assorbimento ed emissione di carbonio dall'agro-ecosistema. Non appena le condizioni meteo lo hanno permesso, la torre è stata ripristinata in tutte le sue funzionalità e la trasmissione dei dati è ripresa. Nonostante questo evento estremo, le attività sono state regolarmente completate consentendo un pieno raggiungimento degli obiettivi prefissati. I dati mancanti sono stati colmati tramite metodologia gap filling, che ha permesso una ricostruzione completa e attendibile dei flussi di carbonio. Non si rilevano pertanto scostamenti rispetto a quanto inizialmente previsto.*

## 1.1 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.*

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	20	390,00
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	20	390,00
	O.T.I. Specializzato Super	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	20	390,00
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	20	390,00
	Dirigente	Coordinatore	75	30	2.250,00
	Quadro	Ricercatore	43	50	2.150,00
	Impiegato	Tecnico	27	28	756,00
	Ricercatore	Dipendente	33	120	3.960,00
	Ricercatore	Dipendente	33	110	3.630,00
	Ricercatore	Dipendente	33	100	3.300,00
				<b>Totale:</b>	<b>17.606,00</b>

Azione

**AZIONE 4 - sperimentazione di un bioreattore per il trattamento delle acque di drenaggio**

Unità aziendale responsabile

CER

Descrizione delle attività *descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione*

*L'obiettivo di questa azione è stato quello di ridurre progressivamente le concentrazioni di nitrato in falda attraverso l'intercettazione dei flussi di percolazione di acqua e nitrati disciolti, utilizzando un sistema di drenaggio già esistente nel noceto dell'azienda Agronoco di Bondeno. Il cuore dell'intervento è stato l'installazione di un bioreattore, progettato per abbattere i nitrati mediante un processo naturale di denitrificazione, in cui i nitrati vengono convertiti in azoto molecolare (N<sub>2</sub>), riducendo così la contaminazione delle acque sotterranee. La prima fase ha riguardato il dimensionamento del bioreattore, considerando le condizioni idro-pedologiche locali, le precipitazioni e la falda ipodermica, attraverso simulazioni agro-idrologiche. Il bioreattore è stato posizionato in testata al campo, dove confluiscono le acque provenienti dai dreni tubolari interrati, già presenti a 80-90 cm di profondità e posti a una distanza di 7 metri l'uno dall'altro sotto le interfila.*

*Struttura del Bioreattore:*

- *Scavo: Una buca di dimensioni 1 metro di larghezza per 12.9 metri di lunghezza e una profondità di 1.15 metri è stata scavata per intercettare l'acqua drenata.*
- *Impermeabilizzazione: Lo scavo è stato rivestito con un telo impermeabile per evitare infiltrazioni laterali e per garantire che l'acqua drenata passasse completamente attraverso il substrato del bioreattore.*
- *Substrato Carbonioso: Il bioreattore è stato riempito con cippato di legno, un materiale ad elevato rapporto C/N, che ha facilitato la denitrificazione. Il cippato è stato coperto con geotessile e successivamente ricoperto di terreno, garantendo un'integrazione estetica e funzionale con l'ambiente circostante.*

*Il bioreattore è stato dotato di pozzetti di ingresso e uscita per regolare il flusso d'acqua e il gradiente idraulico, essenziali per il controllo del tempo di residenza delle acque all'interno del bioreattore.*

*Il sistema di drenaggio è stato collegato a piezometri, installati per monitorare periodicamente i parametri chimico-microbiologici delle acque all'interno del bioreattore e per verificare la conducibilità del materiale di riempimento. Questo ha permesso di evitare ostruzioni dovute all'accumulo di particelle nei pori del substrato.*

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

*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*

*L'azione 4 prevedeva l'installazione di un bioreattore per il trattamento delle acque di drenaggio al fine di abbattere la concentrazione di nitrati mediante un trattamento naturale. La realizzazione dell'azione ha consentito il raggiungimento degli obiettivi preposti arrivando alla messa a punto e al dimensionamento corretto di un bioreattore in grado di ridurre in falda i nitrati e fosfati, in funzione dei tempi di transito delle acque di drenaggio nel sistema. Le attività condotte hanno dimostrato l'efficacia del bioreattore a cippato nel ridurre le concentrazioni di nitrati in condizioni sia normali che critiche. I test hanno evidenziato che la conoscenza della conducibilità idraulica (K) è fondamentale per garantire una gestione efficiente del bioreattore, permettendo di ottimizzare il flusso dell'acqua e prevenire sovraccarichi durante eventi piovosi intensi.*

*Il bioreattore ha ridotto i nitrati del 26,1% in condizioni normali e fino al 56% in situazioni dinamiche critiche, con una riduzione massima dell'84% in condizioni statiche. Questa tecnologia è utile per trattare le acque provenienti da canali di bonifica o drenaggi agricoli, contribuendo a ridurre l'inquinamento da nitrati, particolarmente rilevante nelle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN).*

*Il bioreattore si distingue per la sua versatilità operativa e sostenibilità ambientale, grazie all'uso di materiali naturali come il cippato di legno. Si suggerisce di condurre ulteriori ricerche per esplorare nuove applicazioni e materiali alternativi.*

## 1.1 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.*

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O. T. D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O.T.I. Specializzato Super	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	O.T.D. Specializzato	Prove Sperimentali e rilievi	19,5	100	1.950,00
	Dirigente	Coordinatore	75	48	3.600,00
	Quadro	Ricercatore	43	86	3.698,00
	Impiegato	Tecnico	27	119	3.213,00
	Impiegato	Tecnico	27	50	1.350,00
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	128	2.496,00
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	130,25	2.539,88
	Operaio Agricolo	Prove in campo	19,5	125	2.437,50
				<b>Totale:</b>	<b>27.134,38</b>

Azione **AZIONE 5 - gestione dell'impollinazione**

Unità aziendale responsabile UNIBO - DISTAL

Descrizione delle attività *descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione*

*L'obiettivo principale dell'azione è stato migliorare l'efficienza dell'impollinazione del noce attraverso il recupero, la sterilizzazione e la distribuzione controllata del polline, con lo scopo di:*

1. *Ridurre l'incidenza del **mal secco** causato da *Xanthomonas campestris pv. juglandis*, trasmesso attraverso il polline.*
2. *Ottimizzare l'allegagione, superando problemi legati alla **proterandria** (anticipo della fioritura maschile rispetto a quella femminile).*
3. *Accelerare l'entrata in produzione delle piante giovani attraverso impollinazione artificiale, anche in assenza di impollinatori naturali attivi.*

*Le attività hanno seguito queste fasi:*

1. **Raccolta del polline:** *È stata eseguita presso noceti adulti dell'azienda Fertilia e Guidi, partner del progetto, al momento della deiscenza degli amenti, utilizzando tecniche già consolidate in altre colture, come l'actinidia.*
2. **Sterilizzazione del polline:** *Sono state sperimentate due tecniche di sterilizzazione:*
  - **Trattamento con ozono:** *Concentrato a 643 mg·m<sup>3</sup> per 1 ora, noto per la sua efficacia nella sterilizzazione del polline in altre colture, senza compromettere la vitalità del polline.*
  - **Trattamento con etanolo:** *Il polline è stato mescolato con etanolo in rapporto 10:1 (polline) e lasciato a contatto per una notte in un contenitore chiuso e al buio, seguito da essiccazione.*
3. **Conservazione e vitalità del polline:** *Dopo la sterilizzazione, il polline è stato frigoconservato a bassa temperatura. Sono stati condotti test di vitalità post-trattamento e post-conservazione. Il polline è stato idratato in un ambiente saturo di umidità e fatto germinare in vitro, valutando la lunghezza del budello pollinico rispetto al diametro del granulo di polline per confermarne la vitalità.*
4. **Distribuzione del polline:** *Il polline è stato distribuito con pompa a spalla, previa miscelazione con acqua, su piante del noceto in produzione. Lo schema sperimentale includeva tre trattamenti:*
  - **Controllo** (non trattato).
  - **Impollinazione con polline sterilizzato con ozono.**
  - **Impollinazione con polline sterilizzato con etanolo.**
5. **Valutazione dell'efficacia:** *Sono stati monitorati diversi parametri per valutare l'efficacia dei trattamenti:*
  - Conteggio dei **frutti cascolati**.
  - Presenza del batterio *X. campestris* sui frutti cascolati.

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

*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*

*L'azione 5 era sostanzialmente volta alla corretta gestione della fase di impollinazione. Grazie alle prove sperimentali condotte è stato possibile testare tecniche avanzate finalizzate al miglioramento dell'efficienza di tale fase e contempo ridurre l'incidenza del mal secco, ottimizzare l'allegagione e accelerare l'entrata in produzione delle piante più giovani. Lo svolgimento delle attività programmate ha consentito il regolare raggiungimento degli obiettivi preposti nonostante le avverse condizioni metereologiche della primavera 2023.*

## 1.1 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.*

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	RTDb	Responsabile U.O - Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	130	4.030,00
	Professore Associato	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	48	60	2.880,00
	Tecnico	Rilievi sperimentali - elaborazione dati	31	120	3.720,00
	Imprenditore Agricolo		19,5	100	1.950,00
				<b>Totale:</b>	<b>12.580,00</b>

Azione **AZIONE DIVULGAZIONE**

Unità aziendale responsabile **AGRONOCE**

Descrizione delle attività *descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione*

*L'attività di divulgazione del progetto OTTIM.A.NOCE ha seguito un approccio strategico, con l'obiettivo di diffondere i risultati e le innovazioni emerse durante le varie fasi della ricerca, raggiungendo un ampio pubblico di stakeholder. L'azione si è svolta parallelamente allo sviluppo delle altre attività del progetto e ha impiegato diversi strumenti e canali per il trasferimento delle conoscenze, coinvolgendo sia il settore accademico che gli operatori agricoli e gli stakeholder del settore.*

*Nel dettaglio le attività realizzate sono state:*

- Eventi divulgativi presso fiere/congressi specialistici:** *Un evento divulgativo è stato organizzato il 4/05/2023 all'interno di un'importante fiera di settore, il Macfrut. Questo evento ha offerto una piattaforma ideale per presentare il progetto a un ampio pubblico, composto da esperti del settore, agricoltori e tecnici. Grazie alla visibilità garantita dall'organizzazione della fiera, il progetto ha potuto raggiungere un target di uditori molto ampio, altrimenti difficilmente accessibile dai singoli partner. Durante l'evento sono stati condivisi i progressi relativi alle strategie di gestione sostenibile del noceto, con particolare attenzione all'ottimizzazione della risorsa idrica e alla gestione nutrizionale. Inoltre, i dati sperimentali ottenuti nell'ambito dell'Azione 3: Valutazione del bilancio di carbonio e delle emissioni di protossido d'azoto da parte del noceto, sono stati presentati sotto forma di poster in due convegni scientifici: 1) XXVI CONVEGNO NAZIONALE DI AGROMETEOROLOGIA, 05 luglio 2024, L'AQUILA; 2) ICOS Science Conference, 10-12 settembre 2024, Versailles (FR).*

- Workshop tematico presso l'azienda Agronocce:** *Un workshop tematico è*

stato organizzato presso l'azienda agricola Agronoce, sede della sperimentazione in campo. Durante questo evento, gli stakeholder hanno potuto osservare direttamente le innovazioni tecniche applicate al noceto, con dimostrazioni pratiche sull'uso di ammendanti organici e sistemi di irrigazione efficienti. L'incontro ha facilitato il confronto tra ricercatori, agricoltori e tecnici, generando un feedback immediato e diretto sulle pratiche messe in atto. Il workshop ha permesso di dimostrare sul campo l'efficacia delle tecniche sperimentate, rafforzando il trasferimento delle conoscenze ai partecipanti.

3. **Convegno finale:** Al termine del progetto, è stato organizzato un convegno conclusivo in cui sono stati presentati i risultati finali delle sperimentazioni condotte. L'incontro ha riunito partner, esperti, stakeholder e rappresentanti del mondo accademico, offrendo una panoramica completa delle tecniche di gestione sostenibile del noceto sviluppate durante il progetto. Durante il convegno, sono stati illustrati i benefici delle strategie di irrigazione ottimizzata, la riduzione degli input di fertilizzanti e il sequestro del carbonio, oltre agli strumenti per il monitoraggio degli stress idrici e la riduzione delle emissioni di gas serra.

#### **Altri strumenti di divulgazione**

1. **Creazione di una pagina web dedicata al progetto:** È stata creata una pagina web ufficiale del progetto OTTIM.A.NOCE (<https://agronoce.it/RICERCA/>) che ha fornito aggiornamenti regolari sui progressi, pubblicato materiali informativi e offerto uno spazio per la condivisione di report tecnici e scientifici. La piattaforma ha rappresentato un punto di riferimento per la diffusione delle informazioni relative al progetto, accessibile a tutti gli interessati, sia stakeholder del settore agricolo che membri della comunità scientifica.
2. **Pubblicazioni scientifiche e rete PEI-AGRI:** In collaborazione con gli organismi scientifici, è stato preparato un articolo scientifico che descrive nel dettaglio i risultati delle sperimentazioni, contribuendo alla diffusione delle conoscenze in ambito accademico. Inoltre, sono stati elaborati report tecnici e schede informative che sono stati pubblicati e resi disponibili sui portali online della rete PEI-AGRI, rafforzando la visibilità del progetto e garantendo la massima accessibilità ai dati e ai risultati ottenuti.

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

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

L'attività di divulgazione del progetto OTTIM.A.NOCE è stata essenziale per garantire una diffusione efficace delle innovazioni sviluppate durante il progetto. Grazie a una combinazione di eventi pubblici, workshop pratici, una presenza online e pubblicazioni scientifiche, il progetto è riuscito a raggiungere un ampio pubblico e a trasferire con successo il know-how acquisito. Questo approccio integrato ha facilitato il dialogo tra i diversi attori coinvolti e ha contribuito a promuovere pratiche agronomiche più sostenibili per la gestione del noceto, con un impatto positivo sul settore agricolo e scientifico.

## **1.2 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.

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo totale
	Dirigente	Coordinatore	75	16	1.200,00
	Quadro	Ricercatore	43	16	688,00
	Impiegato	Tecnico	27	32	864,00
	RTDb	Redazione attività divulgativa	31	10	310,00
	Professore Associato	Redazione attività divulgativa	48	10	480,00
	RTDb	Redazione attività divulgativa	31	10	310,00
	Tecnico	Redazione attività divulgativa	31	10	310,00
	Dipendente	Ricercatore	33	20	660,00
	Dipendente	Ricercatore	33	40	1.320,00
	Dipendente	Ricercatore	33	20	660,00

Imprenditore agricolo Divulgazione	36,41	16	582,56
Imprenditore agricolo Divulgazione	36,41	16	582,56
<b>Totale:</b>			<b>7.967,12</b>

### 1.3 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

#### CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
<b>Totale:</b>			

#### CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Referente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
ARTEMIS SRL		15.120,00	Consulenza tecnica	7.020,00
<b>Totale:</b>				<b>7.020,00</b>

### 1.4 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

“Miglioramento della sostenibilità nelle aziende frutticole attraverso il controllo delle avversità con metodi a basso impatto.” – Domanda di Sostegno n. 5693243

Periodo di Svolgimento

- n. 5693243 edizione 1 dal 09/01/2024 al 06/02/2024

Durata: 29 ore partecipanti 20

Spesa: **14.360,80 €**  
 Contributo Unitario: **718,04 €**

Importo contributo richiesto: **14.360,80 €**  
 Costo Pro Capite: **718,04 €**

Considerando la peculiarità della genesi della spesa per le attività di formazione che deriva da costi standard per numero di allievi e stante la difficoltà a negare ad allievi che si sono iscritti ai corsi la partecipazione, pur risultando la spesa a consuntivo superiore del 10% di quella ammessa si chiede di non applicare la riduzione prevista all' art. 23 dell' avviso tenendo anche presente che il contributo richiedibile è fissato a quello massimo ammesso.

## 2 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

### **Criticità tecnico-scientifiche**

*Durante la campagna di misura, la forte alluvione che ha colpito la Regione Emilia-Romagna in maggio 2023 ha avuto ripercussioni anche nell'area interessata dalla sperimentazione. Nonostante forti venti abbiano causato il cedimento della Torre Eddy-Covariance, non appena le condizioni meteo lo hanno permesso, la torre è stata ripristinata nelle sue funzioni e la trasmissione dei dati è ripresa; questo evento non ha comunque precluso il raggiungimento di tutti gli obiettivi previsti nell'ambito dell'azione 3, grazie all'azione di ricostruzione completa dei dati persi attuata dai ricercatori IBE-CNR (metodologia gap filling).*

### **Criticità gestionali**

(ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)

Durante lo svolgimento del progetto OTTIM.A.NOCE, sono emerse alcune criticità gestionali che hanno richiesto interventi correttivi per garantire il raggiungimento degli obiettivi prefissati. Queste criticità si possono sintetizzare in alcune aree principali:

#### **1. Coordinamento tra i partner**

Una delle principali sfide gestionali è stata legata al coordinamento tra i diversi partner coinvolti nel progetto. La natura interdisciplinare del progetto, che ha richiesto la collaborazione tra enti di ricerca e aziende agricole e organismi privati, ha rappresentato una complessità nell'organizzazione delle attività e nel mantenimento di un flusso comunicativo costante ed efficace. Tale criticità è stata prontamente gestita e governata mediante il coordinamento del progetto e gli strumenti di governance attuati a partire dalla costituzione del comitato esecutivo. Nonostante la numerosità e l'eterogeneità del partenariato l'interesse suscita dal progetto e la motivazione alla base hanno facilitato il ruolo di coordinamento nel superare le criticità riscontrate.

#### **2. Condizioni climatiche avverse**

Il progetto si è svolto in un contesto caratterizzato da eventi climatici estremi, come lunghi periodi di siccità, fenomeni di natura alluvionale come quelli verificatesi nella primavera 2023, che hanno in parte complicato le attività di sperimentazione sul campo, in particolare per quanto riguarda la gestione della risorsa idrica. Le condizioni atmosferiche non ottimali hanno reso difficile mantenere i parametri irrigui e le condizioni del suolo sotto controllo, in particolare nelle fasi di monitoraggio. Questo ha richiesto una revisione continua dei piani di irrigazione e delle tecniche di monitoraggio per adeguarsi alla variabilità climatica.

#### **3. Tempistiche di sperimentazione**

Le tempistiche relative alle diverse fasi del progetto hanno subito alcune fluttuazioni. La lenta crescita della pianta del noce e il lungo periodo richiesto per l'entrata in piena produzione hanno complicato l'ottenimento di risultati tempestivi, specialmente per alcune delle attività di misurazione dei benefici legati alla gestione idrica e nutrizionale. Questa criticità è stata parzialmente mitigata con un'estensione delle attività di monitoraggio in modo da raccogliere dati più completi nelle fasi successive.

### **Criticità finanziarie**

Il Progetto OTTIM.A.NOCE ha visto la partecipazione di un partenariato costituito da realtà solide e affidabili in grado di mantenere gli impegni assunti in fase di progettazione. L'accurata programmazione iniziale e l'attività di risk management condotta dal coordinamento esecutivo hanno garantito la regolare prosecuzione delle attività senza incorrere in eventuali criticità finanziarie.

## 3 - ALTRE INFORMAZIONI

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



## 4 - 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*

Non si rilevano considerazioni utili da inviare all'amministrazione.

## 5 - RELAZIONE TECNICA

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

Il progetto OTTIM.A.NOCE si è posto come obiettivo principale l'ottimizzazione delle strategie di gestione del noceto, sia nella fase di allevamento che nella piena produzione, con l'intento di ridurre l'impatto ambientale, migliorare la sostenibilità della coltura e incrementare la sua capacità di adattarsi ai cambiamenti climatici. L'attenzione è stata focalizzata sulla gestione ottimale delle risorse idriche, la riduzione dell'uso di fertilizzanti chimici, il sequestro del carbonio e la riduzione delle emissioni di gas serra. Altri aspetti chiave del progetto hanno riguardato il trattamento delle acque di drenaggio per ridurre il carico di nitrati e fosfati e lo sviluppo di tecniche innovative per ridurre l'incidenza del mal secco causato da *Xanthomonas campestris* pv. *juglandis*.

Il progetto è stato articolato in diverse azioni mirate, ognuna delle quali ha conseguito risultati significativi.

1. Gestione ottimale della risorsa idrica: Il primo obiettivo è stato quello di definire la quantità ottimale di acqua irrigua necessaria per la crescita equilibrata del noceto, evitando contemporaneamente il dilavamento dei nutrienti nel suolo e la perdita di risorse idriche. Sono stati testati due sistemi di irrigazione, a goccia e a microjet, e monitorati costantemente i livelli di umidità del suolo. Questa attività ha permesso di identificare la migliore tecnica irrigua per massimizzare la produzione, preservando l'ambiente e riducendo gli sprechi d'acqua.
2. Riduzione degli input di fertilizzanti: La sperimentazione ha confrontato diversi ammendanti organici per migliorare la fertilità del suolo e aumentare l'attività microbica, riducendo al contempo l'uso di fertilizzanti chimici. Grazie a un piano di fertilizzazione calibrato sulle necessità della coltura, è stato possibile mantenere un alto livello di nutrienti senza provocare lisciviazione di nitrati nelle falde acquifere, garantendo un miglioramento della qualità del suolo.
3. Sequestro del carbonio e riduzione delle emissioni di gas serra: uno degli obiettivi più ambiziosi del progetto era quello di valutare la capacità del noceto di funzionare come sink di carbonio e di ridurre le emissioni di  $N_2O$ . Misurazioni dirette degli scambi di  $CO_2$  tra il noceto e l'atmosfera sono state effettuate utilizzando la metodologia l'eddy-covariance. Al contempo sono state confrontate le emissioni di  $N_2O$ , principale gas serra emesso dalle coltivazioni, dovute all'uso di ammendanti organici (compost) rispetto alle emissioni derivanti da fertilizzazione minerale. I risultati hanno dimostrato che l'agro-ecosistema noceto in esame, seppur giovane, ha sequestrato in un anno circa 2 t/ha di C e che, una gestione oculata dei nutrienti, può determinare una diminuzione delle emissioni di  $N_2O$ , contribuendo così a mitigare il cambiamento climatico.
4. Riduzione del carico di nitrati e fosfati dalle acque di drenaggio: Un bioreattore sperimentale è stato installato nel noceto per trattare le acque di drenaggio, con l'obiettivo di ridurre l'immissione di nitrati e fosfati nelle falde acquifere. Il sistema ha dimostrato una buona capacità di filtrazione, riducendo sensibilmente la concentrazione di questi elementi inquinanti, contribuendo così alla protezione delle risorse idriche.
5. Riduzione dell'incidenza del mal secco: È stata sviluppata una tecnica innovativa di sterilizzazione del polline per prevenire la diffusione del mal secco, malattia che colpisce gravemente le coltivazioni di noce. Il polline, prelevato e sterilizzato, è stato utilizzato con successo per ridurre l'incidenza della malattia, migliorando la qualità del raccolto e riducendo la necessità di interventi chimici.

Durante la sperimentazione, sono emerse alcune criticità tecnico-scientifiche legate principalmente alle condizioni climatiche che hanno influenzato la disponibilità idrica e il comportamento del suolo, nonché il cedimento della torre eddy-covariance. In alcuni casi, si è riscontrata una maggiore difficoltà nell'implementazione dei bioreattori, specialmente in contesti con elevata variabilità del contenuto di nutrienti nelle acque di drenaggio. Tuttavia, grazie all'adattamento tempestivo delle strategie operative, è stato possibile superare queste difficoltà senza compromettere i risultati attesi.

Nonostante questi ostacoli, il progetto ha raggiunto gli obiettivi prefissati, con piccoli scostamenti gestiti attraverso un costante adattamento delle tecniche sperimentali.

Il progetto OTTIM.A.NOCE ha dimostrato la possibilità di ottimizzare la gestione dei noceti in maniera sostenibile, riducendo l'impatto ambientale e migliorando l'efficienza delle risorse idriche e nutritive. Gli interventi sperimentali hanno portato a una riduzione significativa delle emissioni di gas serra e a un aumento del sequestro di carbonio, contribuendo così alla mitigazione del cambiamento climatico.

L'introduzione del bioreattore e delle tecniche di sterilizzazione del polline rappresentano innovazioni che possono essere trasferite ad altri contesti agricoli, promuovendo una gestione più efficiente e sostenibile delle colture. In conclusione, i risultati ottenuti hanno gettato le basi per un approccio agricolo avanzato e rispettoso dell'ambiente, con un potenziale impatto positivo sia dal punto di vista produttivo che ambientale.

Data 02/10/2024

Firma del legale rapp.te

.....

Firma autografa (\*) Firma digitale (\*\*)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> (\*) In caso di firma autografa allegare copia di un documento di identità in corso di validità  
(\*\*) Ai sensi dell'art. 24 del D.Lgs. 82/2005

## PROGETTO OTTIMANOCE

### Azione 1 - Gestione della risorsa idrica

(Partner coinvolti CER, DISTAL-UNIBO, CNR-IBE, az. Agronoce, az. Guidi)

#### 1.1 Ottimizzazione dell'irrigazione del noceto in fase di allevamento

##### - Gestione dell'irrigazione

Le attività svolte all'interno della sotto azione sono state finalizzate alla definizione del modello di irrigazione più corretto per la gestione irrigua del noceto in fase di allevamento, in maniera tale da favorire un corretto sviluppo delle piante, degli apparati radicali ed una più veloce entrata in produzione.

La sperimentazione è stata condotta su una parte di noceto appartenente alla *Società Agricola Agro Noce*, sita a Bondeno in provincia di Ferrara. Il noceto preso in considerazione è composto da cultivar Chandler innestata su *Junglas regia*. L'impianto è stato realizzato nell'inverno 2020-21, con un sesto di 5 m sulla fila e 7 m tra le file per un totale di 286 piante/ha. Le caratteristiche della prova e dell'areale preso in considerazione sono riportate all'interno della figura 1 che segue.



Figura 1 Vista area sperimentale e trattamenti irrigui

L'obiettivo è stato quello di definire l'ottimale gestione dell'irrigazione, a seconda del metodo irriguo utilizzato e delle caratteristiche di vigore delle piante, valutando gli apparati radicali, la distribuzione del volume di suolo bagnato e gli effetti sullo sviluppo vegeto-produttivo degli alberi in fase di allevamento.

In collaborazione con il gruppo di lavoro DISTAL-UNIBO, sono stati impiegati i sistemi irrigui:

- **a goccia:** con 4 gocciolatori da 2 l/ora per pianta ed una pluviometria risultante di 2.3 mm/ora (considerando di bagnare 1/10 della superficie);
- **a spruzzo:** con un microspinkler da 70 l/ora per pianta, ed una pluviometria risultante di 3.33 mm/ora (considerando di bagnare 3/5 della superficie).

Le irrigazioni sono state gestite seguendo il bilancio idrico attraverso l'utilizzo del DSS IRRIFRAME, impostando parametri provvisori relativi ai coefficienti colturali, alla profondità dell'apparato radicale (50 cm

di terreno, considerando la zona maggiormente colonizzata), alla risposta alla falda ipodermica, alla lunghezza del ciclo colturale e al cambio delle fenofasi in funzione della sommatoria gradi giorno (partendo da un valore di zero termico specifico per il noce di 5°C), alle soglie di intervento irriguo in funzione dell'impianto irriguo adottato. I parametri adottati nel modello di irrigazione sono riassunti all'interno della tabella 1. Ai coefficienti culturali viene inoltre applicato un coefficiente di riduzione dei consumi del 30% in funzione dell'età del frutteto (3° foglia).

Tabella 1 Parametri presenti all'interno del modello di irrigazione IRRIFRAME per il noce da frutto

Soglia superiore %	Soglia intervento %	Descrizione fenofase	Ordine	Consiglio irriguo	Somma Termica (gradi)	Kc *
55,0	85,0	riposo vegetativo	1	False	0	0,45
55,0	85,0	germogliamento	2	False	90	0,50
35,0	60,0	fioritura maschile	3	True	163	0,60
35,0	60,0	fioritura femminile	4	True	127	0,70
35,0	60,0	indurimento del nocciolo: fase piena (> 50%)	5	True	900	1,00
35,0	60,0	deiescenza del mallo	6	True	1360	1,00
40,0	65,0	inizio raccolta	7	True	400	0,65

\*ai Kc viene applicato un coefficiente di riduzione del 30%

Il bilancio idrico di IRRIFRAME è stato confrontato e integrato con misure tensiometriche dirette, impiegando 9 sensori su una griglia a tre distanze e tre profondità dall'erogatore, per la definizione dello stato idrico del suolo nello strato interessato dalle radici (fig. 2). I sensori utilizzati rilevano una misura del potenziale del suolo ( $\psi$  [-MPa]) attraverso la conduttività elettrica, misurata tramite due elettrodi inseriti all'interno di una matrice porosa in gesso (blocchetti Bouyoucos). Le griglie di sensori sono state posizionate in 4 punti dell'area sperimentale, 2 per trattamento irriguo, per un totale di 36 strumenti di misura.

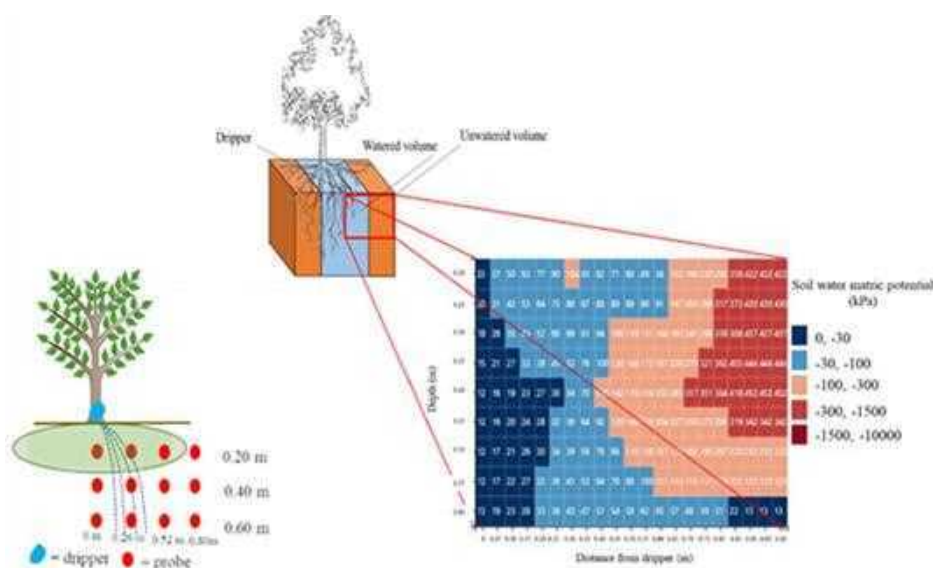


Figura 2 schema di posizionamento dei tensiometri e algoritmo di calcolo

Attraverso la gestione del bilancio idrico nel modello *Irriframe* è stato mantenuto il contenuto idrico del suolo alle condizioni ottimali di tensione dell'acqua, tra la capacità idrica di campo e una soglia di stress idrico corrispondente all'avvio dell'irrigazione. Le soglie di avvio e arresto delle irrigazioni stabilite nel sistema *Irriframe* sono definite considerando i diversi volumi di suolo bagnato dai sistemi irrigui analizzati. Nel caso dell'irrigazione a spruzzo, come quella effettuata con microsprinkler, le soglie sono più ampie, mentre per l'irrigazione localizzata tramite microirrigazione a goccia, le soglie sono più ravvicinate. Di conseguenza, a parità di fabbisogno irriguo, i turni di irrigazione risultano differenti tra i due metodi: l'irrigazione a goccia richiede interventi più frequenti ma con volumi ridotti, mentre l'irrigazione a spruzzo prevede interventi meno frequenti, ma con volumi d'acqua maggiori.

Nelle fig. 3 e 4 sono riportati gli andamenti dell'umidità del terreno stimata dal modello *Irriframe* in conseguenza di piogge e irrigazioni rispettivamente per il sistema a goccia e microsprinkler.

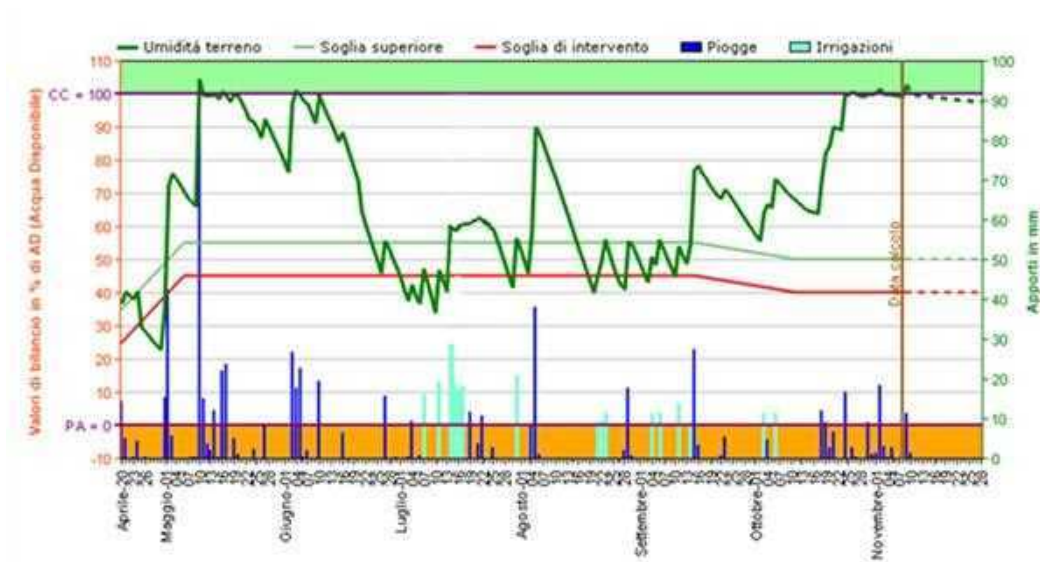


Figura 3 umidità del terreno in funzione delle precipitazioni e delle irrigazioni a goccia nel 2023

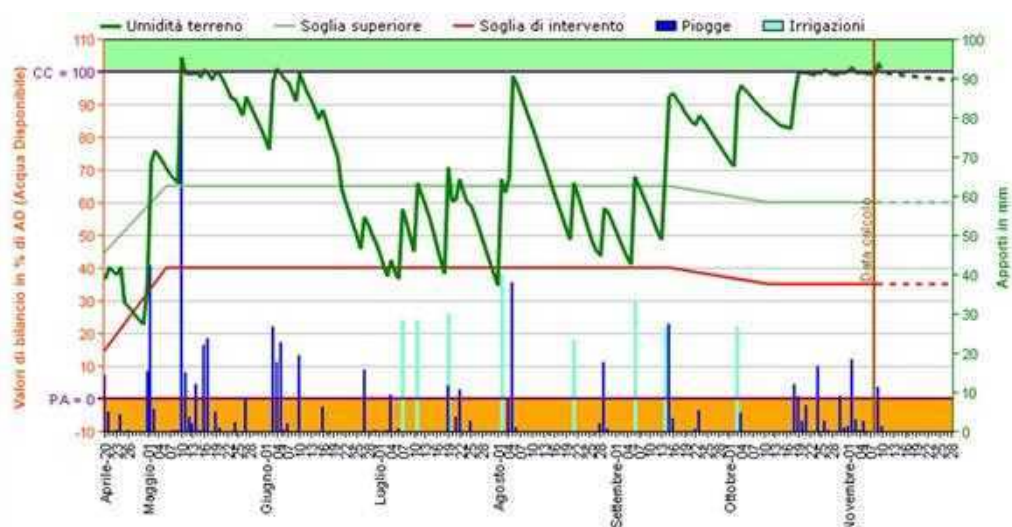


Figura 4 – umidità del terreno in funzione delle precipitazioni e delle irrigazioni a spruzzo nel 2023

Analogamente, il sistema tensiometrico di Unibo, prevede 2 griglie composte da 9 sensori disposti a diverse profondità perpendicolarmente al filare, che raccolgono i dati di umidità ogni quindici minuti. Questi dati vengono poi elaborati mediante tecniche statistiche e di intelligenza artificiale, generando una informazione spaziale che rappresenta la dinamica dell'acqua nel suolo. Tale dinamica varia in funzione dell'impianto di irrigazione, della quantità acqua evaporata e assorbita dalla pianta e dalle caratteristiche del terreno. I dati vengono raccolti su una piattaforma cloud e resi disponibili al fine di programmare l'irrigazione.

Il consiglio irriguo viene attivato quando il potenziale matriciale del suolo è sceso al di sotto di  $-0,1$  MPa in più del 50% del volume di suolo esplorato dall'apparato radicale e ha l'obiettivo di restituire la stessa quantità di acqua persa il giorno prima e stimata dall'evapotraspirazione fino a riportare valori di tensione prossimi alla capacità idrica di campo (0.3 bar).

Nel corso della sperimentazione è stata riscontrata una buona corrispondenza nella gestione dei turni e dei volumi degli interventi irrigui tra i due sistemi: Irriframe, basato sulla teoria evaporimetrica, e il sistema tensiometrico, basato su misurazioni dirette del potenziale. È importante sottolineare che i trend osservati forniscono essenzialmente la stessa informazione, ma con andamenti opposti: mentre il sistema tensiometrico misura la tensione del suolo (espressa in  $-kPa$ ), Irriframe stima il contenuto idrico volumetrico, trasformato poi in percentuale di acqua disponibile (AD). Questo evidenzia come i due approcci, pur utilizzando parametri diversi, arrivino a risultati comparabili per la gestione ottimale dell'irrigazione.

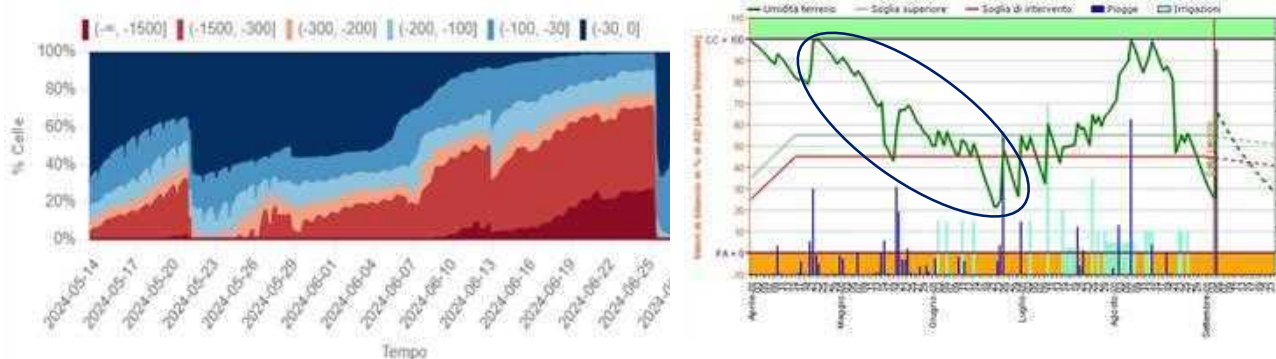


Figura 5 e 6 Confronto tra la tensione misurata (sx) e l'umidità del terreno stimata tramite irriframe (dx) nel periodo maggio-giugno 2024.

A titolo d'esempio, nella figura 5 a sinistra sono riportati gli andamenti delle tensioni misurate nel periodo maggio-giugno 2024, che mostrano valori in crescita, indicando una progressiva riduzione dell'umidità del suolo. Questo andamento è confermato dal confronto con la stima dell'umidità del suolo calcolata tramite il sistema Irriframe e illustrata nella figura 6, dove si rileva una diminuzione dell'umidità del suolo. La corrispondenza tra l'aumento delle tensioni e la diminuzione dell'umidità stimata conferma la coerenza tra i due metodi di rilevamento.

All'interno della figura 7 vengono riportati gli andamenti giornalieri dell'evaporato di riferimento ( $ET_0$ ), le precipitazioni e le irrigazioni effettuate secondo la metodologia descritta in funzione dei trattamenti irrigui a

confronto, dalla data della ripresa vegetativa (germogliamento della pianta) l'1/04 fino alla raccolta avvenuta il 15 di ottobre.



Figura 7 Andamento meteo giornaliero e irrigazioni del noce presso l'Az. Agronoco nel 2023

All'interno della tabella 2 sono invece riassunti i dati mensili delle precipitazioni, dei consumi della coltura, del deficit idrico conseguente e delle irrigazioni, distinti per metodo irriguo.

Tabella 2 - Andamento meteo e irrigazioni mensili per il noce presso l'Az. Agronoco nel 2023

	aprile	maggio	giugno	luglio	agosto	settembre	ottobre	totale
piogge (mm)	26,0	245,6	111,6	39,2	67,3	37,2	4,6	531,5
ET <sub>0</sub> (mm/giorno)	3,8	4,1	5,7	6,0	5,2	3,7	3,3	4,5
ETe goccia (mm/mese)	15,9	60,9	102,9	129,4	111,9	74,6	8,7	504,2
Irrigazione goccia (mm)	0,0	0,0	0,0	142,2	38,9	45,7	22,9	249,7
ETe sprinkler (mm/mese)	15,9	60,9	102,9	129,4	111,9	74,6	8,7	504,2
Irrigazione sprinkler (mm)	0,0	0,0	0,0	86,5	63,3	60,0	26,6	236,5

Complessivamente, la stagione 2023 è risultata particolarmente piovosa, con 532 mm caduti durante il ciclo colturale (763 in tutto l'anno). Tuttavia, gran parte della piovosità è stata concentrata in primavera, con quasi 400 mm caduti tra aprile e giugno, e con il resto della stagione che ha registrato scarsi apporti naturali e pertanto la necessità di intervenire con l'irrigazione per diverse volte. Nel complesso sono stati distribuiti volumi analoghi tra i due sistemi, intorno ai 240-250 mm, ma in 17 interventi a goccia, contro gli 8 del microsprinkler. Nelle tabelle che seguono sono riportati i singoli interventi di irrigazione divisi per tipologia di impianto irriguo utilizzato.

Tabella 3 Dettaglio degli interventi irrigui stagionali effettuati per il noce presso l'azienda agricola Agronoce nel 2023

Sprinkler		
	Data	Irrigazione mm/d
1	07/07/2023	28,31
2	11/07/2023	28,31
3	19/07/2023	29,9
4	02/08/2023	40
5	21/08/2023	23,33
6	06/09/2023	33,33
7	14/09/2023	26,64
8	03/10/2023	26,64
	<b>Totale</b>	<b>236,46</b>

Goccia		
	Data	Irrigazione mm/d
1	07/07/2023	16,002
2	11/07/2023	19,431
3	14/07/2023	28,575
4	15/07/2023	24,6735
5	16/07/2023	14,6735
6	17/07/2023	18,288
7	31/07/2023	20,574
8	04/08/2023	9,144
9	21/08/2023	9,144
10	22/08/2023	9,144
11	23/08/2023	11,43
12	04/09/2023	11,43
13	06/09/2023	11,43
14	11/09/2023	13,716
15	14/09/2023	9,144
16	03/10/2023	11,43
17	06/10/2023	11,43
	<b>Totale</b>	<b>249,659</b>

- **Misure di parametri ecofisiologici e biometrie di crescita degli organi**

Nel corso delle stagioni vegetative 2023 e 2024 state condotte misure ecofisiologiche che descrivono la funzionalità delle piante; nel dettaglio sono stati misurati gli scambi gassosi a livello fogliare e il potenziale idrico di foglie e fusto (fig. 8) misurati al mezzogiorno solare nei due trattamenti di irrigazione; è stato inoltre valutato l'accrescimento di un campione di germogli dell'anno e quello dei frutti. Dai risultati emersi non sono state evidenziate criticità o differenze, per tutti i parametri misurati, tra le diverse modalità di irrigazione (fig. 9, 10 e 11).



Figura 8 Misura degli scambi gassosi con LiCOR 6800 (sx) e potenziale idrico di foglie e tronco con camera di Scholander (dx)



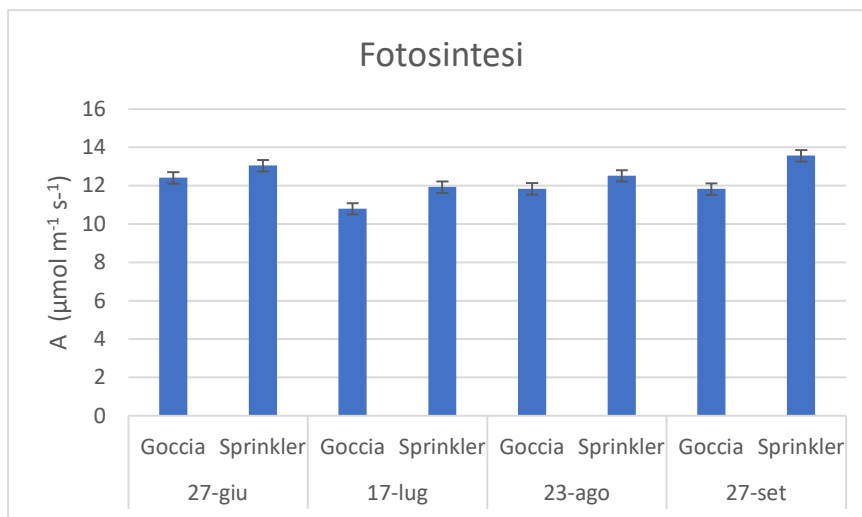


Figura 9 Andamenti degli scambi gassosi: fotosintesi

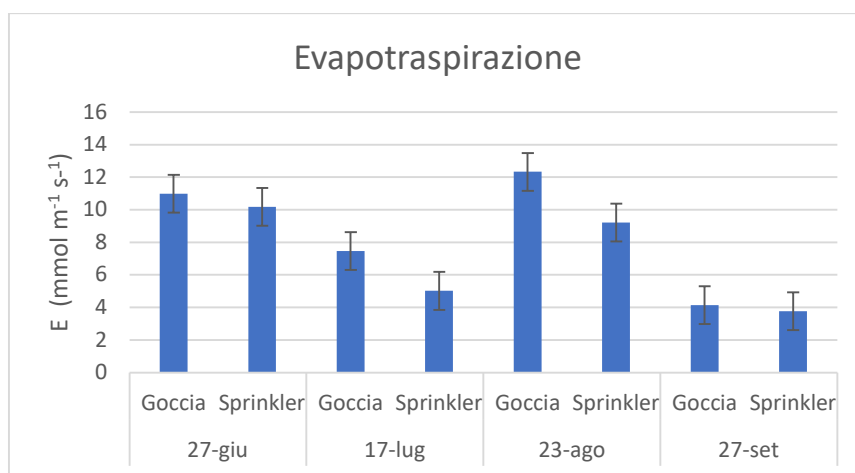


Figura 10 Andamenti degli scambi gassosi: evapotraspirazione

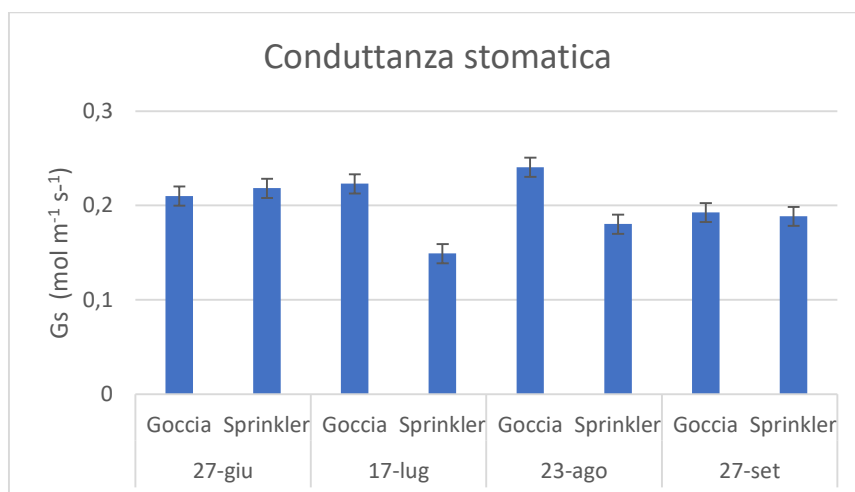


Figura 11 Andamenti degli scambi gassosi: conduttanza stomatica

Le analisi degli scambi gassosi (fig. 9,10 e 11) hanno evidenziato per l'anno 2023 una forte variabilità nelle misurazioni non consentendo una chiara rappresentazione dell'effetto dei trattamenti irrigui. La fotosintesi (fig. 9) per entrambi i trattamenti "Goccia" e "Sprinkler" rimane relativamente stabili nelle quattro date (27

giugno, 17 luglio, 23 agosto, 27 settembre). In generale, il trattamento sprinkler mostra tassi di fotosintesi leggermente superiori rispetto al trattamento goccia, anche se mai statisticamente differenti tra loro. L'irrigazione a sprinkler sembra supportare tassi di fotosintesi leggermente migliori rispetto alla goccia, in particolare verso le date più tardive, probabilmente a causa di una maggiore efficienza nell'uso dell'acqua o di una riduzione dello stress ambientale.

L'evapotraspirazione (fig. 10) mostra tassi con maggiore variabilità rispetto alla fotosintesi che non riescono a differenziare l'effetto tra le 2 differenti irrigazioni. In generale il trattamento a goccia spunta valori mediamente superiori rispetto lo sprinkler. Il trattamento sprinkler mostra tassi più stabili ma generalmente inferiori rispetto a goccia in tutte le date anche se mai statisticamente significativo.

Per quanto riguarda la conduttanza stomatica (fig. 11) è generalmente buona in entrambi i trattamenti indicando livelli di disponibilità idrica nel suolo non limitanti. Il trattamento "Sprinkler" mostra un leggero calo il 17 luglio ed il 23 agosto anche se senza una differenza statistica. La convergenza della conduttanza a fine settembre potrebbe suggerire un adattamento o acclimatazione alle condizioni di trattamento nel tempo.

I tre grafici relativi al 2023 che descrivono gli scambi gassosi suggeriscono che il trattamento "sprinkler" tendenzialmente potrebbe promuovere una performance fisiologica leggermente migliore (in termini di fotosintesi ed evapotraspirazione) rispetto all'irrigazione a "goccia", in particolare in condizioni in cui la disponibilità di acqua o lo stress ambientale possono variare. Le differenze osservate nella conduttanza stomatica riflettono anche diverse strategie di uso dell'acqua o risposte ai metodi di irrigazione.

Le analisi dei dati 2024 hanno restituito informazioni simili a quelle del 2023 confermando che tra i trattamenti irrigui tendenzialmente la goccia evidenzia valori migliori di fotosintesi con una riduzione dell'evapotraspirazione. Tali andamenti non sono comunque risultati statisticamente significativi.

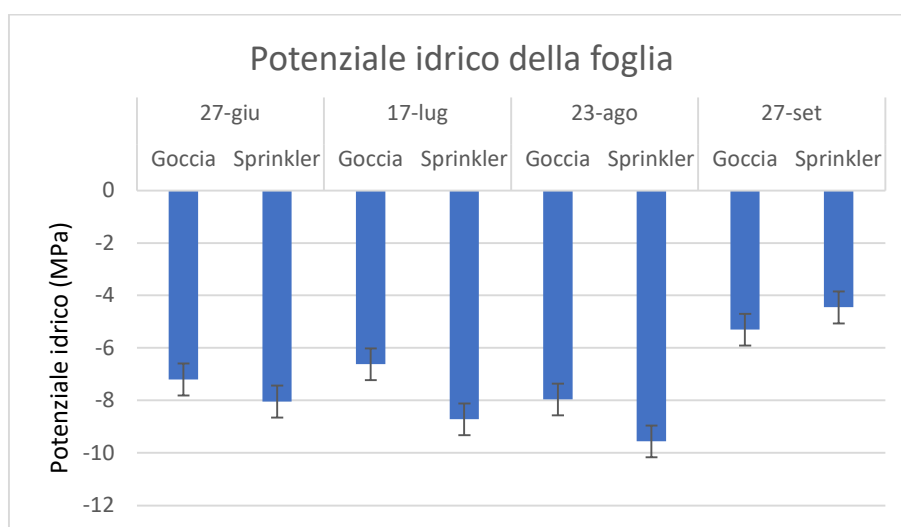


Figura 12 Andamenti dei potenziali idrici della foglia al mezzogiorno solare nei trattamenti di irrigazione. Le barre verticali indicano l'errore standard

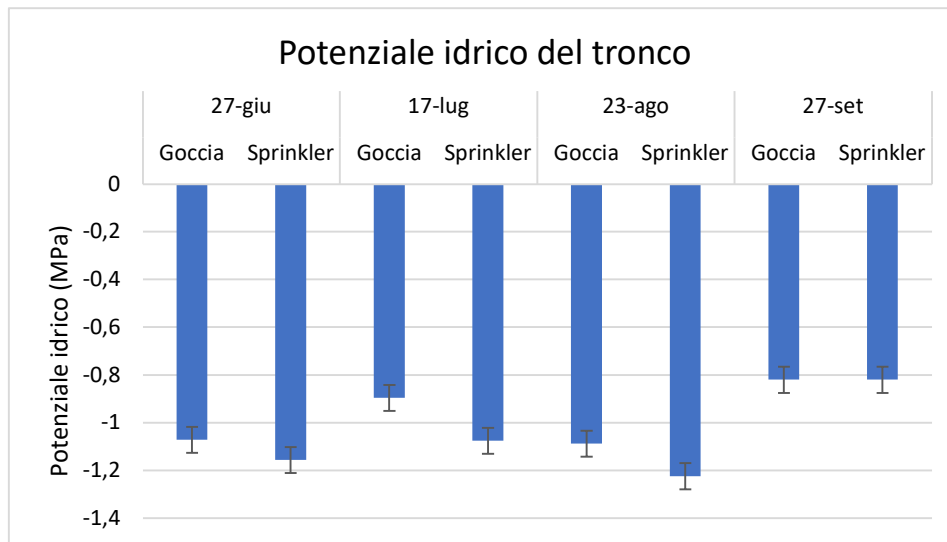


Figura 13 Andamenti dei potenziali idrici del tronco al mezzogiorno solare nei trattamenti di irrigazione. Le barre verticali indicano l'errore standard

I grafici rappresentati nelle figure 12 e 13 presentati mostrano l'andamento del potenziale idrico nelle foglie e nel tronco ed in generale si osserva una tendenza alla diminuzione del potenziale idrico nel corso del tempo, soprattutto tra luglio e settembre. Questo è un fenomeno atteso, poiché l'evaporazione e la traspirazione aumentano con le temperature più elevate tipiche dei mesi estivi, portando a una riduzione della disponibilità di acqua nella pianta. Il confronto tra i trattamenti di irrigazione a livello di potenziale fogliare non sembra indicare una differenza significativa tra le due modalità di irrigazione. I valori sono relativamente simili nei diversi periodi di misurazione. A livello del potenziale del tronco analogamente non si osservano differenze marcate tra i due sistemi di irrigazione. Tuttavia, è possibile notare una leggera tendenza a valori di potenziale idrico più negativi (indicanti una minore disponibilità di acqua) nel tronco rispetto alle foglie, soprattutto nei periodi più caldi.

I risultati suggeriscono che, almeno nelle condizioni sperimentali considerate, non vi è una differenza significativa nell'efficacia delle due modalità di irrigazione nel mantenere un adeguato potenziale idrico nelle piante. È importante considerare che il potenziale idrico è influenzato da numerosi fattori, oltre alla modalità di irrigazione, come le caratteristiche del suolo, la temperatura, l'umidità relativa, la specie vegetale e lo stadio di sviluppo della pianta.

In base ai dati disponibili, si può concludere che entrambe le modalità di irrigazione (a goccia e sprinkler) sembrano garantire un adeguato apporto idrico alle piante, almeno nelle condizioni sperimentali considerate. Nell'annata 2024 i dati hanno confermato quanto ottenuto nel 2023.

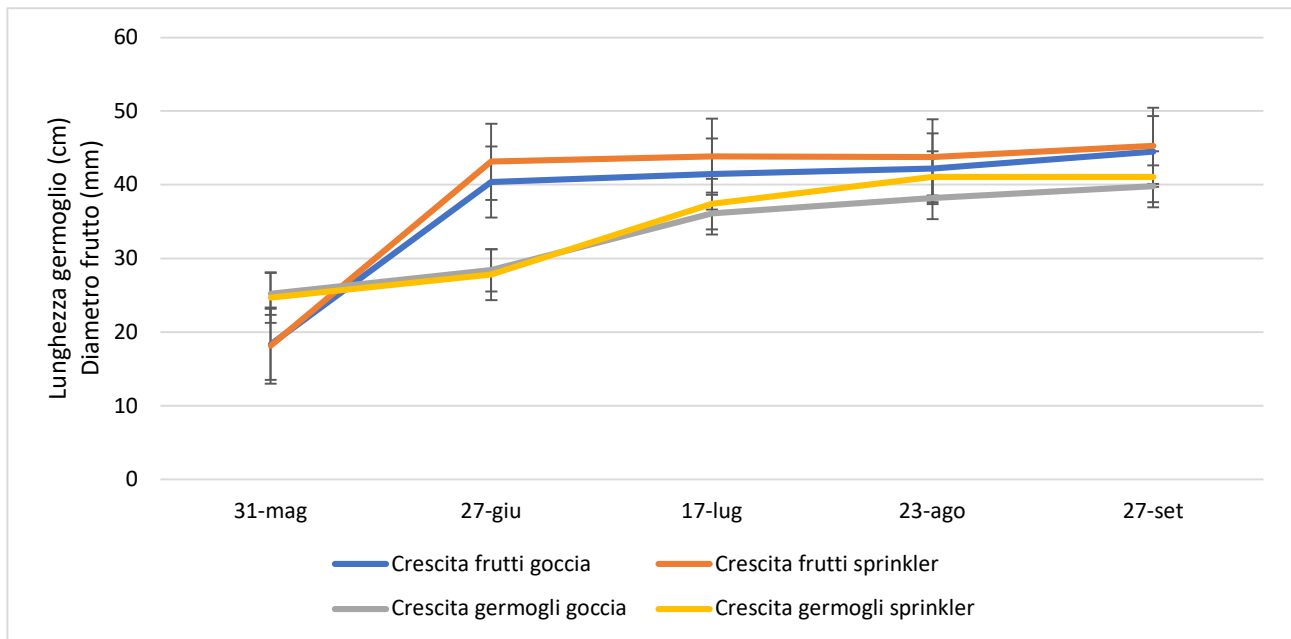


Figura 14 Accrescimenti biometrici di germogli e frutti durante la stagione vegetativa

La figura 14 rappresenta gli incrementi biometrici stagionali di frutti e germogli per l'annata 2023. In tutte le categorie (crescita frutti a goccia, crescita frutti sprinkler, crescita germogli a goccia, crescita germogli sprinkler) si osserva un aumento significativo della crescita tra il 31 maggio e il 27 giugno indicando in questo periodo la maggiore attività di sviluppo degli organi. A partire dal 27 giugno, la crescita sembra stabilizzarsi, con un aumento più graduale. Non si osservano differenze significative tra la crescita dei frutti ottenuta con i due sistemi di irrigazione. Entrambe le curve mostrano un andamento simile, con una fase iniziale di rapida crescita seguita da una stabilizzazione. Anche per la crescita dei germogli, le differenze tra i due sistemi di irrigazione sembrano minime. Le curve relative alla crescita dei germogli a goccia e a spruzzo sono molto simili, suggerendo che entrambi i metodi sono ugualmente efficaci nel promuovere la crescita vegetativa.

Per valutare l'accrescimento vegetativo delle piante di noce in funzione del metodo irriguo impiegato sono stati effettuati rilievi del diametro del tronco a 20 cm di altezza, il 14/03/2023 e il 15/03/2024 su 53 piante per ciascun trattamento: le piante irrigate a spruzzo hanno fatto registrare un incremento del fusto pari al 54.9%, leggermente superiore rispetto al 48% per quelle irrigate a goccia, ma in misura statisticamente non significativa.

Anche dal peso di potatura, effettuato il 29/02/2024 su 10 piante, sembra che il metodo a spruzzo garantisca un maggior sviluppo delle piante in fase di allevamento, con 147 g di sostanza secca per pianta, contro solo 24 delle piante irrigate a goccia.

In data 9 ottobre 2023 sono state raccolte le prime noci e fatto una analisi qualitativa: la produzione è ancora assolutamente irrisoria, indipendentemente dal metodo irriguo, rispettivamente di 3.3 e 3.4 kg di prodotto commerciale su 100 piante (circa due frutti per pianta), con nessuna differenza nella distribuzione per classi di calibro tra i pochi frutti raccolti tra i due trattamenti. Per una verifica dell'efficacia del metodo irriguo sullo sviluppo e sull'entrata in produzione del noceto bisognerà aspettare almeno uno/due anni.

L'annata 2024 ha evidenziato andamenti simili alla stagione 2023.

- **Misura dei coefficienti colturali (Kc) tramite strumentazione dedicata**

Per il calcolo dei Kc (coefficienti colturali) del noceto in fase di allevamento, necessari per la stima dei consumi della coltura, ci si è avvalsi anche della strumentazione messa a disposizione dal gruppo di ricerca del CNR-IBE (descritta in dettaglio nell'azione 3): il valore dell'evapotraspirazione effettiva  $E_{Te}$  (mm/day) del noceto è stato misurato direttamente con la torre eddy-covariance (fig. 15), che rileva gli scambi gassosi di  $CO_2$  e vapore acqueo, in base al bilancio energetico del frutteto e lo rapporta con il valore dell'evapotraspirazione di riferimento ( $E_{To}$ ) misurato in funzione di temperatura, umidità relativa radiazione e vento. I coefficienti colturali reali sono stati calcolati dalla relazione  $Kc = E_{Te}/E_{To}$ . È stata rilevata una buona correlazione (Figura 16) tra i kc misurati con quelli adottati dal DSS Irriframe, e ciò ha consentito di affinare la gestione irrigua del noceto in fase di allevamento.



*Figura 15 Strumentazione eddy covariance installata nel noceto*

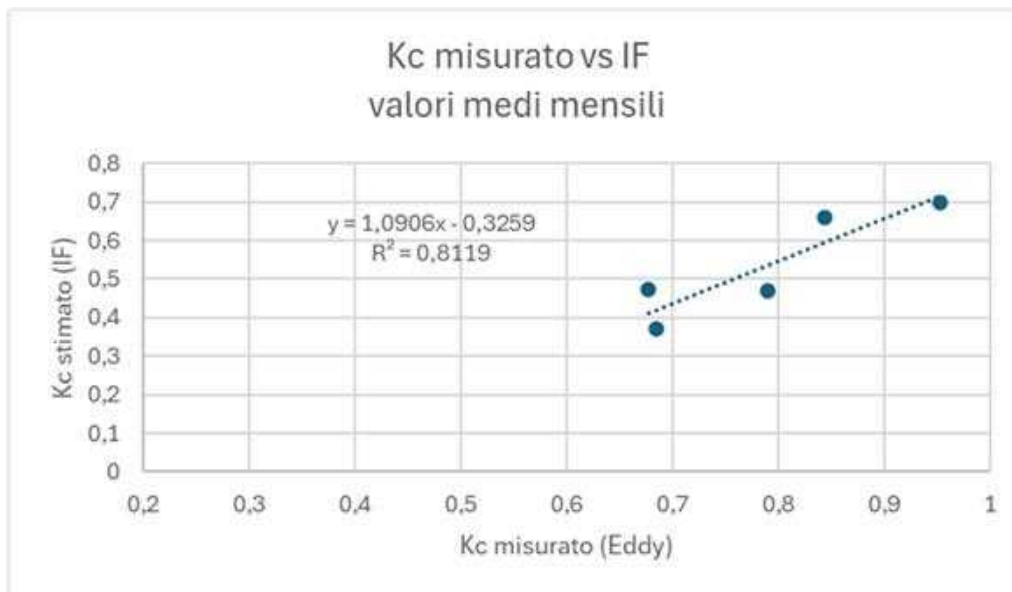


Figura 16 Correlazione fra il coefficiente colturale misurato con torre Eddy Covariance e quello stimato dal DSS Irriframe.

## 1.2 Valutazione di stress idrici mediante telerilevamento da satellite

La valutazione delle esigenze idriche e di eventuali stress della coltura del nocce è stata effettuata anche mettendo a punto tecniche di telerilevamento da satellite: l'attività è stata condotta in due aziende: azienda Guidi di Codigoro (Fe) su noceto adulto (8 anni) ed azienda Agronocce di Bondeno, su noceto in fase di entrata in produzione (3 anni).

Sono state scaricate le immagini satellitari acquisite dai satelliti Sentinel-2 direttamente prelevate dal portale dell'ESA denominato "Copernicus Land Monitoring Service". Le immagini coprono una ampiezza di 290 km ed hanno una risoluzione spaziale di 10 x 10 m a seconda delle bande spettrali analizzate, disponibili con frequenze di 5 giorni. Particolarmente utili ed interessanti per l'agricoltura di precisione sono le bande relative al RED EDGE e NIR (700/800 nm) e quelle del VIS (400-700 nm). Tali caratteristiche consentono la stima della clorofilla e quindi dell'azoto, del Leaf Area Index (LAI), della vigoria della vegetazione correlabile ai coefficienti colturali del bilancio idrico delle colture. Queste immagini grezze sono state elaborate, filtrate e archiviate, storicizzandole per l'intero periodo necessario al monitoraggio degli appezzamenti oggetto degli studi.

Sono stati selezionati gli indici vegetativi per la coltura del nocce che mostrano la migliore correlazione con il coefficiente colturale (Kc) di Irriframe, utilizzato per stimare i consumi idrici della coltura attraverso la relazione  $E_{te} = E_{to} * K_c$ .

A tale scopo, sono state scaricate dal portale dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) le immagini multispettrali dell'area di interesse, includendo le bande 02 (blu), 04 (rosso), 08 (NIR) e 05 (Red Edge). Queste immagini sono state poi elaborate con l'utilizzo di software dedicati. In particolare, in

ambiente GIS, è stato possibile rappresentare i filari del noceto, caratterizzati da un sesto d'impianto di 7x5 metri (Fig.17).



*Figura 17: filari Azienda Agronoce*

Successivamente, è stato creato un buffer attorno ai filari per rappresentare la larghezza delle chiome degli alberi, ottenendo un'area approssimata di 1,8 x 1,8 metri della copertura lungo i filari. L'area del buffer è stata poi suddivisa in piccoli rettangoli regolari, permettendo un'analisi più dettagliata e puntuale degli indici vegetativi. Ogni rettangolo rappresenta una sezione specifica della chioma, consentendo di calcolare gli indici vegetativi con maggiore precisione e di analizzare le variazioni all'interno di ciascun rettangolo lungo i filari del noceto (Fig.18).



*Figura 18: Suddivisione in rettangoli regolari*

Questo approccio ha evitato che l'analisi degli indici fosse influenzata dall'interfilare, garantendo risultati più accurati e rappresentativi dello stato delle chiome degli alberi.

Gli indici individuati sono l'NDVI e l'EVI, che sono stati correlati con i valori di Kc definiti dal DSS Irriframe per il noce durante le diverse fasi del ciclo colturale.

L'NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e l'EVI (Enhanced Vegetation Index) sono due degli indici più comunemente utilizzati per monitorare lo stato di salute e la densità della vegetazione. Questi indici vengono calcolati a partire da immagini multispettrali, sfruttando le diverse proprietà di riflettanza delle piante nelle bande dello spettro elettromagnetico, in particolare il rosso (Red) e il vicino infrarosso (NIR).

L'NDVI viene utilizzato per determinare la quantità di vegetazione in una determinata area, evidenziando la differenza tra la riflettanza del NIR, che è elevata nelle piante sane, e quella del rosso, che è assorbita dalla clorofilla ed è calcolato con la seguente formula:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

L'EVI, invece, è un indice ottimizzato che incorpora ulteriori bande spettrali (come il blu), e corregge alcune limitazioni dell'NDVI, come la sensibilità agli effetti del suolo e dell'atmosfera, fornendo una stima più accurata della biomassa vegetale e della salute delle piante in aree con copertura molto densa ed è calcolato come segue:

$$EVI = 2,5 * \frac{\frac{B8}{10000} - \frac{B4}{10000}}{\frac{B8}{10000} + 6 * \frac{B4}{10000} - 7,5 * \frac{B2}{10000} + 1}$$

Da tali correlazioni è emerso che, nel caso di noceto adulto (8 anni) presso l'azienda Guidi partner del GOI (fig. 19), nella fase iniziale del ciclo indici di vigoria e Kc sono positivamente correlati (fig. 19a), in conseguenza dell'accrescimento della massa fogliare e della chioma, mentre nella fase di maturazione si stabilizzano (fig. 19b).



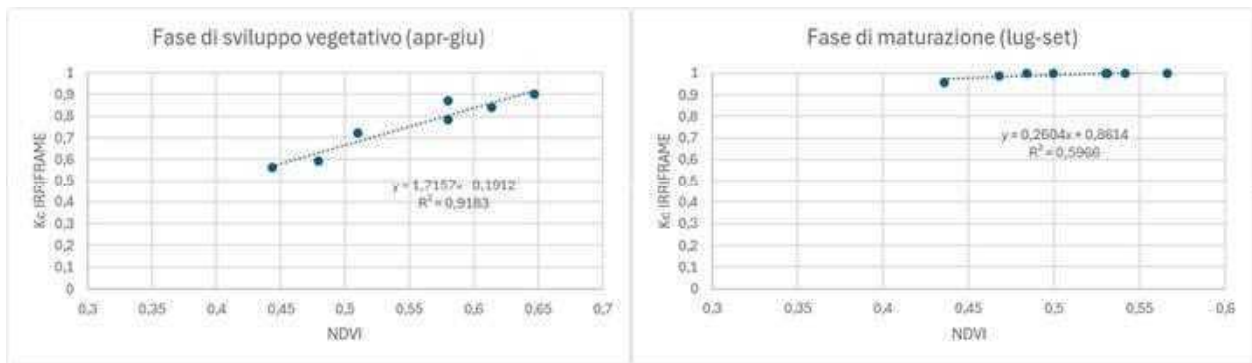


Figura 19a e 19b: Correlazione fra NDVI misurato da satellite e coefficiente colturale stimato da DSS irriframe nel primo periodo di sviluppo vegetativo (a) e in fase di maturazione (b) su noceto di 8 anni

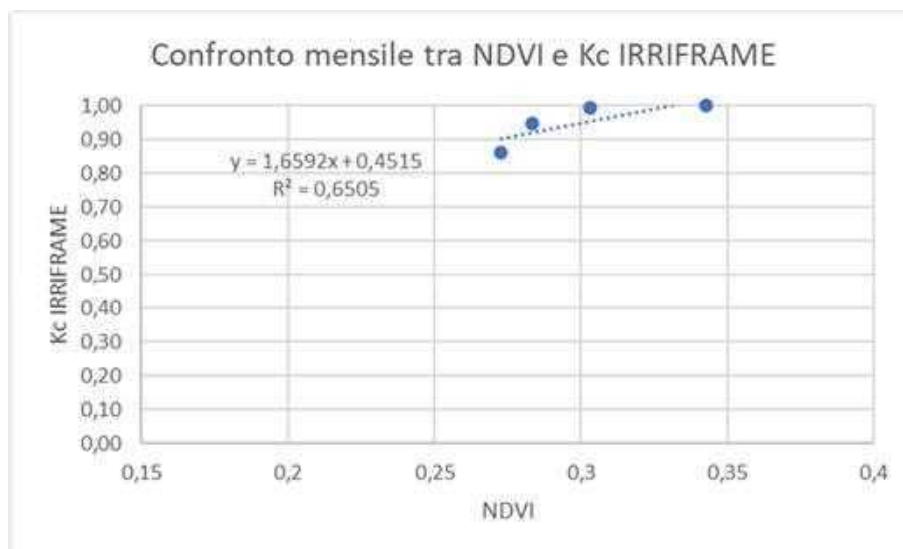


Figura 20 Correlazione fra valori mensili di NDVI misurato da satellite e coefficiente colturale stimato da DSS irriframe su noceto giovane.

Analoghi risultati, seppure con indici di vigoria più bassi, sono stati ottenuti anche presso l'azienda Agronoce su noceto in fase di entrata in produzione, con piante molto meno sviluppate e valori di NDVI non superiori a 0.4 (fig. 20).

Gli indici di vegetazione misurati da satellite con risoluzione spaziale di 10x10 m sono stati confrontati con rilievi effettuati con drone e camera multispettrale sulle stesse bande spettrali ma con una risoluzione di pochi 2,5 cm e la corrispondenza è sempre risultata buona.

Analogamente è stata effettuata una valutazione degli indici vegetazionali nelle bande del RED EDGE, che meglio descrivono il contenuto di clorofilla della chioma, per una valutazione da remoto del contenuto di azoto fogliare (N).

Per tale valutazione è stato individuato l'indice NDRE (Normalized Difference Red Edge Index), un indice vegetativo utilizzato per stimare il contenuto di clorofilla nelle piante. A differenza di altri indici come l'NDVI, che può saturarsi in condizioni di elevata copertura vegetale, l'NDRE sfrutta la

banda spettrale del Red Edge, una porzione dello spettro elettromagnetico situata tra il rosso e il vicino infrarosso (NIR).

Il Red Edge è particolarmente sensibile ai cambiamenti nei livelli di clorofilla, che sono direttamente collegati alla salute delle piante. Poiché la banda del Red Edge riflette le variazioni sottili nella riflettanza della luce causate dalla densità della clorofilla nelle foglie, l'NDRE fornisce un'indicazione più precisa del contenuto di clorofilla anche in condizioni di vegetazione densa o stressata. Per calcolare l'NDRE è stata utilizzata la seguente formula:

$$NDRE = \frac{(NIR - RED\ EDGE)}{(NIR + RED\ EDGE)}$$

Nel corso della stagione 2023, sono stati effettuati, nelle date 1° giugno, 20 luglio e 12 settembre i rilievi distruttivi sulla vegetazione (branche, foglie, frutti) per la determinazione del contenuto di azoto per la determinazione delle asportazioni di nutrienti (descritti in dettaglio nell'azione 2). I valori rilevati sono stati confrontati con gli indici NDRE misurati in corrispondenza dei passaggi del satellite sentinel-2 più prossimi alle date di rilievo a terra.

All'interno della figura 21 si riporta la buona corrispondenza tra i valori di N misurati tramite analisi sulla vegetazione e il calcolo dell'indice da telerilevamento, a conferma della buona potenzialità del telerilevamento per una valutazione dello stato nutrizionale della coltura.

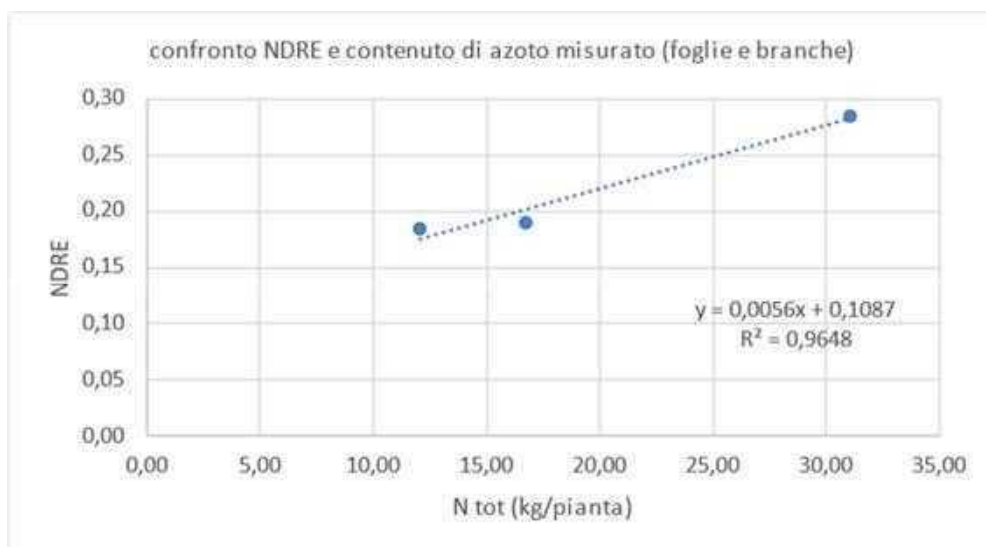


Figura 21 Correlazione fra valori di NDRE misurato da satellite e contenuto di azoto nella vegetazione.

## **Conclusioni**

Il noce da frutto è una specie con esigenze irrigue medio-elevate, e una gestione ottimale dell'irrigazione può favorire sia le rese che la qualità del prodotto, oltre che un corretto sviluppo delle piante nella fase di allevamento. L'adozione di strumenti come il sistema di supporto decisionale Irriframe, insieme a sensori tensiometrici e tecniche di telerilevamento satellitare, ha consentito di monitorare in tempo reale lo stato idrico del suolo e le esigenze delle piante, garantendo irrigazioni efficienti e riducendo gli sprechi d'acqua.

La sperimentazione ha confermato l'efficacia dell'uso combinato del modello di bilancio idrico Irriframe e dei sistemi tensiometrici per gestire l'irrigazione, ottenendo risultati coerenti e comparabili. Entrambi i metodi hanno mantenuto livelli ottimali di umidità nel suolo, garantendo una crescita adeguata delle piante e un uso efficiente delle risorse idriche. È stato dunque tarato, in questo modo, un modello irriguo specifico per impianti di noce giovani ed inoltre con volumi irrigui calibrati in funzione dell'impianto irriguo utilizzato

Il telerilevamento satellitare ha ampliato le possibilità di monitorare lo stress idrico e la salute delle piante, consentendo di analizzare più accuratamente le esigenze idriche durante l'intero ciclo produttivo. Analogamente, anche la gestione della nutrizione, fondamentale per ottimizzare la produttività in ogni fase dell'impianto, può essere migliorata grazie al telerilevamento grazie alla presenza di correlazione affidabile tra il contenuto di nutrienti (in particolare l'azoto) nelle foglie e le informazioni radiometriche telerilevate.

Tutti i risultati ottenuti confermano l'efficacia dell'integrazione di tecnologie avanzate come Irriframe, sensori tensiometrici e telerilevamento satellitare nella gestione irrigua e nutrizionale del noce da frutto. Questi strumenti, utilizzabili in sinergia, rappresentano un approccio sostenibile e innovativo per migliorare la produttività, la qualità del raccolto e l'efficienza nell'uso delle risorse, ponendo solide basi per una gestione agronomica moderna e ottimizzata.

## **AZIONE 2 - Gestione della nutrizione**

L'obiettivo della presente azione è stato quello di valutare l'effetto dell'applicazione di matrici organiche e biochar, in confronto con la concimazione minerale, sull'attività vegetativa, sulla risposta fisiologica, sullo stato nutrizionale delle piante e sulla fertilità del suolo.

Un secondo obiettivo di questa azione è stato quello di valutare il fabbisogno di nutrienti del noce da frutto nella fase di allevamento attraverso la quantificazione dei principali macro e micronutrienti accumulati nei vari organi (foglie, germogli, rami, frutti, legno asportato con la potatura) e la stima dell'accrescimento annuale della parte epigea.

### **1. MATERIALI E METODI**

#### ***1.1 Descrizione del noceto e imposizione dei trattamenti***

La prova è stata condotta presso l'azienda della Soc. Agr. Agro Noce di Bondeno (FE), in un noceto della cultivar Chandler innestata su *Junglas regia*. Tra le principali caratteristiche del terreno si riportano le seguenti: tessitura argilloso-limosa, pH alcalino (7,5-8), calcare elevato (calcare attivo >7%), sostanza organica 4-5%. L'impianto è stato realizzato nell'inverno 2020-21, con un sesto di 5 m sulla fila e 7 m tra le file, per un totale di 286 piante/ha.

La gestione del suolo prevede l'inerbimento spontaneo dell'interfila e il diserbo meccanico sulla fila, praticato superficialmente mediante erpice a dischi, integrato a quello chimico.

Nel corso della sperimentazione sono stati confrontati, secondo uno schema a blocchi randomizzati con 5 repliche, i seguenti trattamenti:

- controllo non concimato (*Controllo*);
- concimazione minerale alla dose di 120 kg azoto (N) ha<sup>-1</sup> frazionato in due epoche (*Minerale*) utilizzando urea (N 46%);
- ammendante compostato misto alla dose di 120 kg N ha<sup>-1</sup> (*ACM*);
- ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi alla dose di 120 kg N ha<sup>-1</sup> (*ACF-A*);
- biochar alla dose di 15 t sostanza fresca ha<sup>-1</sup> (*biochar*).

Per calcolare la quantità da apportare per ciascun ammendante, la dose di N equivalente a quella della tesi "Minerale" è stata calcolata considerando un coefficiente di mineralizzazione (ovvero percentuale annua di mineralizzazione dell'N totale dell'ammendante) di 0,3 per ACM, 0,4 per ACF-A. Ogni trattamento è stato applicato su un'intera fila, lungo la quale sono stati

creati 5 blocchi da 10 piante ciascuno. Gli ammendanti e il biochar sono stati distribuiti mediante spandi compost trainato (Fig. 1a) su una striscia di suolo di circa 1,5 m di larghezza ed interrato nel profilo di suolo corrispondente ai primi 20 cm mediante erpice a dischi. Le applicazioni di tutti gli ammendanti (Fig. 1) ad esclusione del biochar (applicato solo nel 2023) sono state fatte a giugno 2023 e maggio 2024, utilizzando gli ammendanti con le caratteristiche riportate in tabella 1. La concimazione minerale è stata frazionata in due interventi annui: giugno e luglio 2023, maggio e giugno 2024.



**Figura 1.** Distribuzione delle matrici con spandi compost (a), interrimento con erpice a dischi (b), striscia della fila interessata dall'applicazione (c).

**Tabella 1.** Caratteristiche chimico-fisiche degli ammendanti e del biochar utilizzati nella prova.

<b>Parametri chimico-fisici</b>	<b>Unità di misura</b>	<b>ACM 2023</b>	<b>ACM 2024</b>	<b>ACF-A 2023</b>	<b>ACF-A 2024</b>	<b>Biochar 2023</b>
Materiali plastici, vetro e metalli (fraz. $\geq 2\text{mm}$ )	% s.s.	0,5	<0,1	0,33	<0,1	-
Inerti litoidi (fraz. $\geq 5\text{mm}$ )	% s.s.	< 1	<1	1,55	1,04	-
Umidità	%	24	34	35,6	36,3	62
<b>Carbonio organico (TOC)</b>	% s.s.	<b>28</b>	27	<b>24</b>	30,5	32
<b>Azoto totale (come N)</b>	% s.s.	<b>2,26</b>	2,2	<b>1,76</b>	2,99	<0,1
<b>Rapporto C/N</b>	-	<b>12,4</b>	12	<b>13,6</b>	10,0	-
Azoto organico	% s.s.	1,9	1,9	2,85	2,85	-
Azoto organico/Azoto totale	% s.s.	90	86	97	95	-
Acidi umici + acidi fulvici (come C)	% s.s.	8,7	12	7,10	11,4	-
pH	unità pH	8,8	8,8	8,01	7,46	10,2
Cadmio	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	0,63	0,86	0,24	0,198	NQ
Cromo esavalente	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	>0,1	<0,5	<0,1	<0,1	<0,5
Mercurio	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	0,13	<10	0,100	<0,1	NQ
Nichel	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	31	25	25,2	12,6	45,0
Piombo	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	30	41	26,6	13,3	NQ
Rame	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	109	120	53,7	94	8,50
Zinco	mg kg <sup>-1</sup> s.s.	225	250	138	163	24,0
Salmonelle	in 25 g tq	assenti	assenti	assenti	assenti	-
<i>Escherichia coli</i>	UFC g <sup>-1</sup>	<100	<100	<10	<100	-
Conducibilità elettrica a 25°C	dS m <sup>-1</sup>	3,71	3,0	-	-	0,82
Salinità	Meq 100 g <sup>-1</sup>	61	55	16,1	35,0	-
Indice di germinazione (diluizione al 30%)	%	83	98	74	95	-

NQ = non quantificabile. Le analisi in grassetto sono state fatte presso i laboratori Distal, tutti gli altri valori provengono dal referto consegnato da Hera ambiente.

### **1.2 Prelievo e analisi del suolo**

I campioni di suolo sono stati prelevati il 14 marzo 2023 (prima dell'inizio della sperimentazione) e mensilmente a partire dal 28 giugno 2023 fino al 9 luglio 2024. Tali campionamenti sono stati eseguiti al fine di valutare diversi parametri biologici, chimico e fisici della fertilità del suolo: l'umidità, la biomassa microbica, la concentrazione di azoto nitrico (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e ammoniacale (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). La componente microbica del suolo è stata valutata mediante un campionamento a 10 cm di profondità, mentre per l'umidità e la frazione minerale dell'N il campionamento ha interessato il profilo di terreno compreso tra 10 e 40 cm di profondità. A mesi alterni, sullo stesso

campione di terreno utilizzato per l'analisi dell'N minerale sono stati determinati anche il pH e i macronutrienti disponibili.

Per la determinazione della biomassa microbica i campioni di suolo sono stati setacciati (2 mm); successivamente sono stati pesati 30 g di suolo fresco, una volta collocati all'interno di un vaso Bormioli, sono stati aggiunti 0,2 g di glucosio, prima di chiudere ermeticamente il vaso per evitare qualsiasi fuoriuscita di gas. Nel dettaglio, la CO<sub>2</sub> prodotta dal sistema è stata misurata dopo 3 h di incubazione con un analizzatore di gas ad infrarossi (Inova 1302, Luma Sense Technologies A/S, Ballerup, Danimarca). La concentrazione di CO<sub>2</sub> è stata convertita in C microbico secondo la formula di Anderson e Domsch (1978)<sup>1</sup>. I microrganismi presenti nel terreno, utilizzando il glucosio producono CO<sub>2</sub>, senza tuttavia moltiplicarsi; la misura della CO<sub>2</sub> prodotta permette quindi una stima approssimativa della biomassa microbica presente nel substrato.

Per la determinazione dello ione nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e dello ione ammonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), sono stati utilizzati 10 g di terreno fine fresco, addizionati con 100 ml di soluzione 2M di cloruro di potassio, il tutto lasciato in agitazione per 1 ora a 100 rpm; la soluzione è stata decantata per 30 minuti e il surnatante prelevato è stato congelato fino alle successive analisi, eseguite con un analizzatore automatico a flusso continuo (Auto Analyzer AA-3; Bran + Luebbe, Nordestadt, Germania).

Per la misura dei macronutrienti presenti nella soluzione del suolo, 10 g di suolo fresco sono stati addizionati di 100 ml di acqua distillata e lasciati in agitazione per 1 h a 100 rpm; l'analisi della concentrazione dei macroelementi è stata fatta con spettrometro ad emissione al plasma (Ametek Spectro, Acros, Kleve, Germany) sulla soluzione preventivamente decantata e filtrata. Il valore di pH è stato determinato mediante pH-metro (Titralab AT1000, HACH), previa aggiunta di 25 ml di acqua distillata ad una quantità di 10 g di suolo, preventivamente essiccato, posto in agitazione per 1 h a T°C ambiente.

### **1.3 Rilievi sulla pianta**

A marzo e dicembre 2023 è stato misurato il diametro del fusto a 20-25 cm dal livello del terreno prendendo le due misure ortogonali. A febbraio 2024 è stata eseguita la potatura invernale; la quantità asportata da ciascuna pianta è stata pesata e, inoltre, un campione di legno è stato essiccato, macinato ed utilizzato per la determinazione di macro e micro nutrienti. L'N è stato

---

<sup>1</sup> Anderson J., Domsch K., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10. 215-221.

misurato con il metodo Kjeldhal<sup>2</sup>. Questa metodologia è basata sulla mineralizzazione a caldo (420°C) del campione con acido solforico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 95-97%), in presenza di un catalizzatore a base di selenio e solfato di rame, e successiva distillazione con NaOH al 32% e titolazione con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,1 N). Per la determinazione di fosforo (P), potassio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), zolfo (S), boro (B), rame (Cu), ferro (Fe), manganese (Mn) e zinco (Zn) i campioni sono stati sottoposti a mineralizzazione acida secondo la procedura US EPA Method 3052<sup>3</sup> e la concentrazione di macro e micronutrienti determinata tramite lo stesso spettrometro al plasma (Ametek Spectro, Acros, Kleve, Germany).

Ad agosto 2023 e 2024 è stato eseguito il prelievo di foglie dalle parcelle di ciascun trattamento; le foglie sono state lavate, essiccate in stufa a 60°C, macinate e analizzate per la concentrazione di macro e micro-nutrienti come già descritto in precedenza.

Alla raccolta sono state prelevate e pesate le noci da ogni pianta, e su un campione di gheriglio e guscio sono state fatte le analisi di macro e micronutrienti.

Nella primavera-estate 2024 è stato eseguito il rilievo dell'allegagione: il conteggio dei frutti presenti in ciascun albero è stato eseguito poco dopo l'allegagione (metà maggio) e ripetuto a inizio luglio, dopo la cascola fisiologica degli ovari non impollinati efficacemente.

Le misure di scambi gassosi sono state eseguite sulle foglie di 5 piante per ogni trattamento al mezzogiorno solare, utilizzando un rilevatore ad infrarossi (LI-COR 6800, Lincoln NE, USA), portatile, computerizzato in grado di misurare simultaneamente parametri come fotosintesi, traspirazione, conduttanza stomatica, concentrazione di CO<sub>2</sub> sottostomatica e altri parametri e ambientali. Un altro parametro fisiologico monitorato è stato il potenziale idrico, utilizzando la camera di Scholander. La misurazione del potenziale idrico fogliare è stata eseguita subito dopo il distacco di una foglia adulta e ben esposta alla luce. Per valutare il potenziale idrico del fusto, invece, le foglie sono state insacchettate e mantenute al buio per almeno un'ora prima della misurazione, al fine di garantire un buon equilibrio tra il potenziale della foglia e quello del tronco. Le foglie scelte per queste misurazioni erano vicine al tronco ma lontane dai frutti, in modo che il potenziale rilevato non fosse influenzato dall'assorbimento d'acqua delle noci in crescita. Sono state inoltre caratterizzate le crescite vegetative, seguendo l'accrescimento di un campione di frutti e di germogli dell'anno.

---

<sup>2</sup> Schuman G.E., Stanley A.M., Knudsen D., 1973. Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 37, 480–481

<sup>3</sup> Kingston H.M., 1988. Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically-based matrices, Method 3052. U.S. Environmental Protection Agency IAG DWI-393254-01-0, Quarterly Report, January 1–March 31.



Per la determinazione delle asportazioni dei nutrienti sono stati campionati, durante la stagione vegetativa foglie, frutti e branche. I campioni sono stati effettuati nelle fasi fenologiche più significative per il noce: fioritura, inizio ingrossamento frutti, raccolta. Ogni organo è stato essiccato ed analizzato per macro e micronutrienti come descritto in precedenza. La quantità di elementi nutritivi misurata nei diversi organi è stata confrontata con le esigenze nutritive della coltura indicate dal DSS Fert-Irrinet.

## 2. RISULTATI

### 2.1 Effetto della strategia di fertilizzazione sulle caratteristiche del terreno

Nel 2023 l'umidità del terreno non è stata influenzata dal trattamento nei rilievi di marzo, luglio, agosto, ottobre e novembre (Tab. 2). Nel rilievo di giugno, ACF-A ha indotto un aumento del valore di umidità rispetto a tutti gli altri trattamenti, simili fra loro. A settembre i valori di umidità maggiori sono stati misurati nel suolo ammendato con ACF-A, mentre ACM ha evidenziato valori non statisticamente diversi dagli altri trattamenti, ma superiori al controllo; un andamento simile è stato osservato anche a dicembre con valori simili fra ACF-A e ACM e superiori, solo nel caso di ACF-A, a quelli degli altri trattamenti (Tab. 2).

**Tabella 2.** Effetto del trattamento sull'umidità del terreno (% s.s.) misurata nel 2023.

Trattamento	14/03	28/6	19/7	1/8	13/9	9/10	16/11	18/12
Controllo	24,5	15,4 b	13,5	17,1	12,7 c	10,5	25,4	24,3 b
Biochar	24,0	19,0 b	14,3	15,9	14,4 bc	11,1	25,0	24,1 b
ACF-A	22,7	23,8 a	15,3	17,0	18,8 a	13,5	24,7	28,5 a
ACM	24,0	17,5 b	14,8	15,0	15,9 b	11,5	24,0	26,4 ab
Minerale	23,7	16,8 b	13,2	14,5	14,7 bc	11,9	22,9	23,1 b
Significatività	ns	**	ns	ns	***	ns	ns	**

ns, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Nel 2024 l'umidità del terreno è risultata maggiore in ACF-A rispetto alla concimazione minerale nei rilievi di gennaio e febbraio; ad aprile ACF-A ha mostrato valori simili a tutti gli altri trattamenti fertilizzanti, con valori in generale più bassi rispetto al controllo (Tab. 3). A giugno ACF-A ha mostrato valori superiori rispetto a biochar e controllo, e simili ad ACM e minerale, che hanno mostrato valori intermedi, non diversi dagli altri trattamenti (Tab. 3). Nel rilievo di luglio è stato evidenziato un effetto positivo sulla riserva idrica delle due matrici organiche

rispetto a tutti gli altri trattamenti (Tab. 3). Non sono emerse differenze fra i trattamenti, infine, nei rilievi di marzo e maggio.

**Tabella 3.** Effetto del trattamento sull'umidità del terreno (% s.s.) misurata nel 2024.

Trattamento	15/1	16/2	15/3	14/4	17/5	13/6	9/7
Controllo	24,1 ab	25,5 ab	23,8	25,5 a	7,12	15,3 b	12,4 b
Biochar	25,0 ab	27,8 ab	24,7	22,7 b	9,48	15,5 b	12,0 b
ACF-A	28,8 a	29,4 a	24,9	24,9 ab	11,86	18,4 a	16,4 a
ACM	24,4 ab	25,5 ab	24,8	22,5 b	7,82	17,2 ab	18,7 a
Minerale	23,5 b	24,1 b	23,2	22,9 b	5,86	16,5 ab	13,1 b
Significatività	*	*	ns	*	ns	*	***

ns, \* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

In generale, in tutti i rilievi effettuati l'applicazione di ACF-A ha indotto un significativo abbassamento del pH del suolo; nei rilievi di giugno e settembre 2023, maggio e luglio 2024 anche la concimazione minerale ha mostrato valori di pH significativamente più bassi rispetto gli altri trattamenti, tuttavia sempre statisticamente più alti di ACF-A; Tab. 4).

**Tabella 4.** Effetto del trattamento sul pH del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	8,36	8,46 a	8,34 a	8,36 ab	8,38 a	8,33 a	8,33 a	8,24 b	8,46 a
Biochar	8,35	8,47 a	8,39 a	8,40 a	8,44 a	8,34 a	8,35 a	8,49 ab	8,47 a
ACF-A	8,35	7,54 c	7,61 b	7,60 d	7,67 b	7,92 b	8,01 b	7,71 c	7,54 c
ACM	8,35	8,38 a	8,23 a	8,25 b	8,36 a	8,38 a	8,45 a	8,67 a	8,38 a
Minerale	8,32	8,00 b	8,15 a	8,13 c	8,23 a	8,29 a	8,29 a	8,35 b	8,00 b
Significatività	ns	***	***	***	***	***	***	***	***

ns e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK).

Nel rilievo di marzo 2023, eseguito prima dell'applicazione dei fertilizzanti, la concentrazione dell'azoto totale del terreno era simile nelle diverse tesi a confronto, mentre a settembre 2023 ACM e ACF-A hanno mostrato valori simili tra loro e significativamente superiori rispetto agli altri trattamenti (Tab. 5). Nei rilievi di marzo e luglio 2024, l'applicazione delle matrici organiche si è confermata essere una strategia efficace nell'aumentare il livello di N totale nel suolo (Tab. 5).

**Tabella 5.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di azoto totale del terreno (g N 100 g<sup>-1</sup> s.s.) misurata nel 2023 e 2024.

<b>Trattamento</b>	<b>14/03/23</b>	<b>13/9/23</b>	<b>15/3/24</b>	<b>9/7/24</b>
Controllo	0,183	0,174 b	0,172 b	0,178 b
Biochar	0,184	0,186 b	0,182 b	0,177 b
ACF-A	0,169	0,471 ab	0,392 a	0,355 a
ACM	0,181	0,627 a	0,330 a	0,449 a
Minerale	0,199	0,177 b	0,164 b	0,174 b
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<i>*</i>	<i>**</i>	<i>***</i>

ns, \*, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Prima dell'applicazione dei diversi prodotti il terreno presentava una concentrazione di carbonio organico totale nel complesso uniforme (pari in media a 1,4 g C 100 g<sup>-1</sup> s.s.; Tab. 6). Nel rilievo di settembre 2023, l'applicazione di ACM ha indotto un aumento significativo del C organico del suolo rispetto al controllo e alla concimazione minerale, mentre ACF-A e biochar hanno evidenziato valori intermedi e simili tra loro (Tab. 6). Nel rilievo di marzo 2024 entrambe le matrici organiche e il biochar hanno evidenziato valori simili fra loro e superiori al controllo e al minerale; in occasione del rilievo di luglio 2024, infine, i valori significativamente più alti sono stati riscontrati nella tesi trattata con ACM, seguiti da ACF-A e biochar, simili fra loro e a loro volta statisticamente superiori alle tesi controllo e minerale, che invece hanno mostrato i valori di C più bassi (Tab. 6).

**Tabella 6.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di carbonio organico totale del terreno (g C 100 g<sup>-1</sup> s.s.) misurata nel 2023 e 2024.

<b>Trattamento</b>	<b>14/03/23</b>	<b>13/9/23</b>	<b>15/3/24</b>	<b>9/7/24</b>
Controllo	1,36	1,34 b	1,30 b	1,36 c
Biochar	1,32	3,11 ab	3,90 a	2,96 b
ACF-A	1,28	3,51 ab	3,11 a	2,79 b
ACM	1,43	4,57 a	2,61 a	4,03 a
Minerale	1,45	1,29 b	1,19 b	1,23 c
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<i>**</i>	<i>***</i>	<i>***</i>

ns, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca

Per quanto riguarda la frazione minerale dell'azoto del terreno, nel 2023 non sono emerse differenze significative nella concentrazione di N ammoniacale; unica eccezione il rilievo di

ottobre nel quale ACF-A ha mostrato valori superiori al controllo e simili a tutti gli altri trattamenti (Tab. 7).

**Tabella 7.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di azoto ammoniacale del terreno (mg N-NH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> s.s.) misurata nel 2023.

Trattamento	14/03	28/6	19/7	1/8	13/9	9/10	16/11	18/12
Controllo	1,71	1,75	0,59	0,47	0,97	0,09 b	0,59	0,57
Biochar	1,38	1,81	0,87	0,91	0,87	0,25 ab	0,56	1,53
ACF-A	1,38	8,67	0,93	1,44	1,98	0,61 a	1,14	0,80
ACM	1,30	43,6	1,19	1,02	2,03	0,20 ab	0,70	0,83
Minerale	1,69	31,5	12,3	15,2	1,40	0,23 ab	1,11	2,74
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	<i>ns</i>

ns e \*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco

Nel 2024 non sono emerse differenze di disponibilità di azoto ammoniacale imputabili ai trattamenti fertilizzanti (Tab. 8).

**Tabella 8.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di azoto ammoniacale del terreno (mg N-NH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> s.s.) misurata nel 2024.

Trattamento	15/1	16/2	15/3	14/4	17/5	13/6	9/7
Controllo	0,06	0,01	0,31	0,09	0,02	0,60	0,77
Biochar	0,01	0,02	0,30	0,04	0,06	0,62	0,86
ACF-A	0,01	4,2	0,30	0,13	0,15	1,65	0,77
ACM	0,21	0,08	0,02	0,33	0,34	1,12	0,87
Minerale	0,08	0,04	0,02	0,31	0,05	0,57	0,58
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>

ns: effetto dei trattamenti non significativo; s.s. = suolo secco.

Nel corso del 2023 è emersa in generale una maggiore disponibilità di N nitrico nei suoli concimati con urea e ammendanti rispetto al controllo e al biochar; nei rilievi di marzo e novembre non sono emerse differenze fra i trattamenti, mentre nel rilievo di dicembre il minerale ha mostrato valori superiori a tutti gli altri trattamenti, risultati statisticamente simili fra loro (Tab. 9).

**Tabella 9.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di azoto nitrico del terreno (mg N-NO<sub>3</sub> kg<sup>-1</sup> s.s.) misurata nel 2023.

Trattamento	14/03	28/6	19/7	1/8	13/9	9/10	16/11	18/12
Controllo	9,98	11,1 b	12,6 b	10,8 c	9,04 b	4,18 b	2,80	1,85 b
Biochar	5,39	7,40 b	10,3 b	12,4 c	9,58 b	2,69 b	2,48	3,05 b
ACF-A	9,23	110 ab	88,5 a	119 ab	55,3 ab	51,6 ab	34,7	20,5 b
ACM	9,75	144 a	108 a	91,5 b	86,3 a	49,8 ab	50,8	24,3 b
Minerale	8,48	81,9 ab	82,7 a	169 a	112 a	90,9 a	42,7	43,2 a
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	*	**	***	*	*	<i>ns</i>	**

ns, \*, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Nel 2024 la disponibilità di N nitrico nel suolo ha mostrato andamenti nel complesso simili a quelli del 2023; nei mesi di gennaio e febbraio i valori più alti sono stati rilevati nelle tesi trattate con urea, ACM e ACF-A, mentre nel controllo e nel trattamento con biochar le concentrazioni di N nitrico non superavano  $8 \text{ mg N-NO}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ s.s.}$  (Tab. 10). A marzo 2024 sono stati misurati valori di N nitrico più bassi, con la concentrazione più alta nella tesi minerale, statisticamente diversa solo dal trattamento con biochar. Nei mesi di aprile e maggio 2024 (prima della concimazione annuale) non sono emerse differenze imputabili ai trattamenti, mentre a giugno, circa un mese dopo l'applicazione dei fertilizzanti, i valori di N nitrico più alti sono stati misurati nelle tesi trattate con ACF-A e minerale, statisticamente superiori alle tesi di controllo e biochar (Tab. 10). In occasione dell'ultimo campionamento (9 luglio 2024), eseguito subito prima della seconda concimazione con N ureico, la tesi minerale ha mostrato la concentrazione di N nitrico statisticamente maggiore rispetto a tutti gli altri trattamenti (Tab. 10).

**Tabella 10.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di azoto nitrico del terreno ( $\text{mg N-NO}_3 \text{ kg}^{-1} \text{ s.s.}$ ) misurata nel 2024.

Trattamento	15/1	16/2	15/3	16/4	17/5	13/6	9/7
Controllo	8,2 b	5,1 b	3,5 ab	2,58	7,71	3,91 c	7,74 b
Biochar	6,1 b	3,7 b	2,0 b	0,22	8,56	4,73 c	9,97 b
ACF-A	24,8 ab	28,6 ab	7,9 ab	8,48	10,4	79,8 a	30,4 b
ACM	37,3 a	51,0 a	8,0 ab	6,69	16,1	20,4 bc	28,2 b
Minerale	31,9 a	16,0 ab	13,8 a	13,2	6,87	54,7 ab	160 a
<i>Significatività</i>	*	*	*	<i>ns</i>	<i>ns</i>	**	***

ns, \*, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

La concentrazione di potassio nella soluzione del suolo è in generale risultata maggiore a seguito dei trattamenti con ACM e ACF-A rispetto agli altri trattamenti (Tab. 11). Non sono emerse differenze fra i trattamenti nei rilievi di marzo 2023, gennaio e marzo 2024 (Tab. 11).

**Tabella 11.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di potassio (mg K kg<sup>-1</sup> s.s.) del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	21	34 b	57 b	33 b	31 b	55	24	37 b	49 b
Biochar	16	45 b	57 b	29 b	27 b	26	22	35 b	49 b
ACF-A	20	325 ab	384 b	255 a	326 ab	128	60	114 ab	227 b
ACM	22	688 a	790 a	135 b	397 a	114	47	207 a	463 a
Minerale	22	39 b	85 b	26 b	26 b	27	32	22 b	53 b
<i>Significatività</i>	ns	**	**	***	**	ns	ns	*	***

ns, \*, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P≤0,05, P≤0,01 e P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Come nel caso del K, anche la concentrazione di fosforo nella soluzione del suolo è, in generale, risultata maggiore a seguito dei trattamenti con ACM e ACF-A rispetto agli altri trattamenti (Tab. 12). Non sono emerse differenze nei rilievi di marzo 2023, gennaio, marzo e maggio 2024 (Tab. 12.).

**Tabella 12.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di fosforo (mg P kg<sup>-1</sup> s.s.) del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	0,16	1,44 bc	1,08 b	1,15 b	1,33 b	2,10	0,58	0,56	2,02 b
Biochar	0,23	1,40 bc	1,23 b	0,95 b	0,86 b	0,51	0,53	0,70	1,67 b
ACF-A	0,14	4,12 ab	2,73 ab	2,77 a	3,47 ab	1,49	0,43	1,10	4,49 a
ACM	0,05	5,61 a	4,15 a	1,56 b	5,99 a	1,27	0,93	5,66	5,60 a
Minerale	0,08	0,41 c	0,91 b	0,70 b	0,84 b	1,17	0,57	0,50	0,78 b
<i>Significatività</i>	ns	**	**	**	**	ns	ns	ns	***

ns, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P≤0,01 e P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Ad esclusione dei rilievi di marzo 2023, marzo e luglio 2024, in cui non sono emerse differenze fra i trattamenti, l'applicazione di ACF-A ha indotto un significativo aumento della

concentrazione di Ca nella soluzione del suolo rispetto gli altri trattamenti, risultati simili tra loro (Tab. 13).

**Tabella 13.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di calcio (mg Ca kg<sup>-1</sup> s.s.) del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	146	223 b	179 b	119 b	140 b	268 b	150	186 b	167
Biochar	146	306 b	274 b	122 b	130 b	172 b	158	126 b	130
ACF-A	138	3087 a	3178 a	2690 a	3145 a	1444 a	378	917 a	1072
ACM	163	427 b	346 b	190 b	218 b	204 b	115	106 b	509
Minerale	139	446 b	353 b	224 b	210 b	208 b	147	143 b	581
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>**</b>	<i>ns</i>	<b>**</b>	<i>ns</i>

*ns*, **\*\*** e **\*\*\***= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P≤0,01, P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Come per il Ca, anche la concentrazione di Mg è significativamente aumentata a seguito dell'applicazione di ACF-A; unica eccezione i rilievi di marzo 2023 e 2024 in occasione dei quali non sono emerse differenze tra i trattamenti (Tab. 14).

**Tabella 14.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di magnesio (mg Mg kg<sup>-1</sup> s.s.) del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	13	23 b	16 b	15 b	18 b	25 b	14	19 b	23 b
Biochar	13	34 b	28 b	15 b	16 b	15 b	15	15 b	20 b
ACF-A	13	180 a	211 a	149 a	181 a	118 a	42	61 a	75 a
ACM	14	64 b	46 b	24 b	57 b	21 b	12	35 b	89 a
Minerale	13	40 b	33 b	21 b	22 b	20 b	13	14 b	48 b
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<i>ns</i>	<b>*</b>	<b>***</b>

*ns*, **\***, e **\*\*\***= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P≤0,05 e P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

La concentrazione di zolfo nella soluzione del suolo è significativamente aumentata a seguito della somministrazione di ACF-A rispetto a tutti gli altri trattamenti, con la sola eccezione del rilievo di marzo 2023, fatto prima dell'inizio della sperimentazione (Tab. 15).

**Tabella 15.** Effetto del trattamento sulla concentrazione di zolfo (mg S kg<sup>-1</sup> s.s.) del terreno misurata nel 2023 e 2024.

Trattamento	2023					2024			
	14/03	28/6	19/7	13/9	16/11	15/1	15/3	17/5	9/7
Controllo	7,8	28 b	17 b	14 b	17 b	25 b	8,4 b	67 b	15 b
Biochar	7,7	141 b	70 b	29 b	26 b	18 b	11 b	12 b	13 b
ACF-A	10,1	2845 a	3173 a	2686 a	3270 a	1292 a	306 a	806 a	923 a
ACM	8,9	109 b	78 b	30 b	75 b	34 b	23 b	15 b	354 a
Minerale	9,3	18 b	38 b	15 b	18 b	12 b	8,6 b	18 b	10 b
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	***	***	***	***	**	*	**	*

*ns*, \*, \*\* e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P≤0,05, P≤0,01, P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.

Nel rilievo di giugno 2023, l'applicazione di ACF-A ha indotto un aumento del carbonio microbico rispetto ai restanti trattamenti tranne che nell'ACM, che ha mostrato valori intermedi e simili a tutti i trattamenti (Tab. 16). Nel rilievo di agosto l'applicazione di ACF-A ha indotto una maggiore attività microbica rispetto alla concimazione minerale, mentre tutti gli altri trattamenti hanno mostrato valori intermedi (Tab. 16). A settembre ACF-A è risultato maggiore solo del biochar, mentre a novembre è stato rilevato un valore più alto rispetto a tutti i trattamenti (Tab. 16). Nel rilievo di dicembre è emerso un aumento dell'attività microbica del suolo a seguito dell'applicazione dei due compost rispetto alla concimazione minerale (Tab. 16). Non sono emerse differenze fra i trattamenti nei rilievi di marzo e ottobre (Tab. 16).

**Tabella 16.** Effetto del trattamento sul carbonio microbico del terreno (µg C g<sup>-1</sup> s.s.) misurato nel corso del 2023.

Trattamento	14/03	28/6	1/8	13/9	9/10	16/11	18/12
Controllo	201	401 b	260 a	223 ab	153	125 b	159 ab
Biochar	208	328 b	212 ab	202 b	140	160 b	177 ab
ACF-A	172	650 a	265 a	348 a	160	310 a	203 a
ACM	182	458 ab	225 ab	257 ab	136	142 b	192 a
Minerale	194	320 b	167 b	244 ab	143	112 b	136 b
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	*	**	*	<i>ns</i>	*	*

*ns*, \* e \*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per P ≤0,05, P ≤0,01 e P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco.



Anche nel 2024 l'applicazione di ACF-A ha, in generale, determinato un aumento dell'attività microbica del terreno evidenziando valori significativamente più alti rispetto al minerale a gennaio, febbraio, marzo, aprile e giugno rispetto a tutti gli altri trattamenti; a luglio anche ACM ha indotto un aumento significativo del C microbico (Tab. 17).

**Tabella 17.** Effetto del trattamento sul carbonio microbico del terreno ( $\mu\text{g C g}^{-1}$  s.s.) misurato nel corso del 2024.

<b>Trattamento</b>	<b>15/1</b>	<b>16/2</b>	<b>15/3</b>	<b>16/4</b>	<b>17/5</b>	<b>13/6</b>	<b>9/7</b>
Controllo	258 ab	266 b	269 a	158 ab	115	258 ab	370 b
Biochar	256 ab	253 b	246 ab	135 bc	93	256 ab	351 b
ACF-A	322 a	421 a	301 a	176 a	259	322 a	777 a
ACM	279 ab	293 b	257 ab	154 ab	147	279 ab	1085 a
Minerale	209 b	242 b	200 b	118 c	84	209 b	260 b
<i>Significatività</i>	*	*	*	**	<i>ns</i>	***	***

ns, \*, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = suolo secco

## **2.2 Effetto della strategia di fertilizzazione sull'attività riproduttiva e vegetativa delle piante**

A maturazione, nel 2023 è stata valutata la produzione delle piante in prova; visto lo scarso numero di frutti per pianta non è stato possibile separare le diverse repliche quindi in tabella 18 sono riportati i valori medi per ogni trattamento senza elaborazione statistica. L'effetto della strategia di fertilizzazione sulla produttività delle piante, seppur ancora in fase di allevamento, è stata valutata innanzitutto mediante il conteggio dei frutti eseguito sia poco dopo l'allegagione sia in piena estate, dopo la cascola fisiologica degli ovari non correttamente impollinati. In occasione del primo rilievo non sono emerse differenze tra i trattamenti in termini di frutti potenzialmente allegati, presenti in numero compreso tra 33 e 46 per pianta (Tab. 18). Nel rilievo di luglio, a cascola avvenuta, tutti i trattamenti hanno evidenziato un numero di frutti nettamente inferiore a quello riscontrato a maggio; gli alberi trattati con i diversi fertilizzanti e il biochar, inoltre, presentavano un numero di frutti simile tra loro (3-6 frutti per pianta) e statisticamente superiore al controllo non concimato (Tab. 18).

**Tabella 18.** Effetto della matrice fertilizzante sulla produzione del 2023 e sull'allegagione (numero frutti per pianta) nel 2024.

Trattamento	Produzione 2023		Allegagione 2024	
	Totale (g pt <sup>-1</sup> )	Commerciale (g pt <sup>-1</sup> )	17/05	9/7
Controllo	85,1	43,6	33	3,3 b
Biochar	93,1	48,3	44	5,6 a
ACF-A	69,7	34,3	44	5,1 a
ACM	72,8	43,9	41	5,1 a
Minerale	124	63,2	46	5,3 a
<i>Significatività</i>	-	-	<i>ns</i>	<i>***</i>

*ns* e *\*\*\** = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). I dati relativi alla produzione 2023 si riferiscono a un unico campione per ciascun trattamento, a causa della scarsità di frutti.

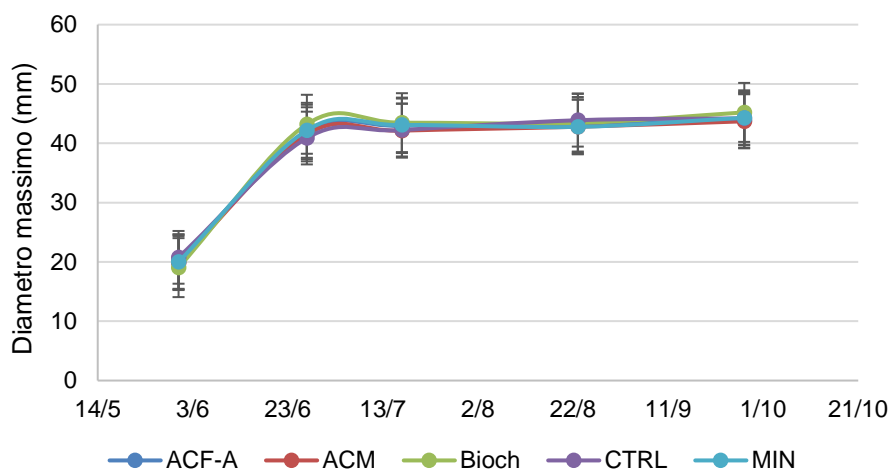
Le piante concimate con urea hanno evidenziato il maggiore diametro del fusto a fine 2023, statisticamente simile a quello degli alberi trattati con biochar e ACM; gli alberi trattati con ACF-A hanno mostrato a fine anno il diametro minore (Tab. 19). Le sopracitate differenze, tuttavia, erano in parte già evidenti a marzo 2023, prima dell'applicazione dei trattamenti (Tab. 19) a causa della disomogeneità degli astoni messi a dimora. L'incremento netto annuo, infatti, non è stato influenzato dal trattamento ed è risultato compreso tra 19 e 22 mm (Tab. 19). Il legno asportato con la potatura invernale eseguita in febbraio 2024 è risultato maggiore a seguito della concimazione minerale, con valori statisticamente superiori al controllo e alla tesi ACF-A; ACM e biochar hanno mostrato valori intermedi e simili agli altri trattamenti (Tab. 19).

**Tabella 19.** Effetto del trattamento sul diametro del fusto (mm) e sul peso del legno asportato con la potatura invernale (g pianta<sup>-1</sup>) nel 2023.

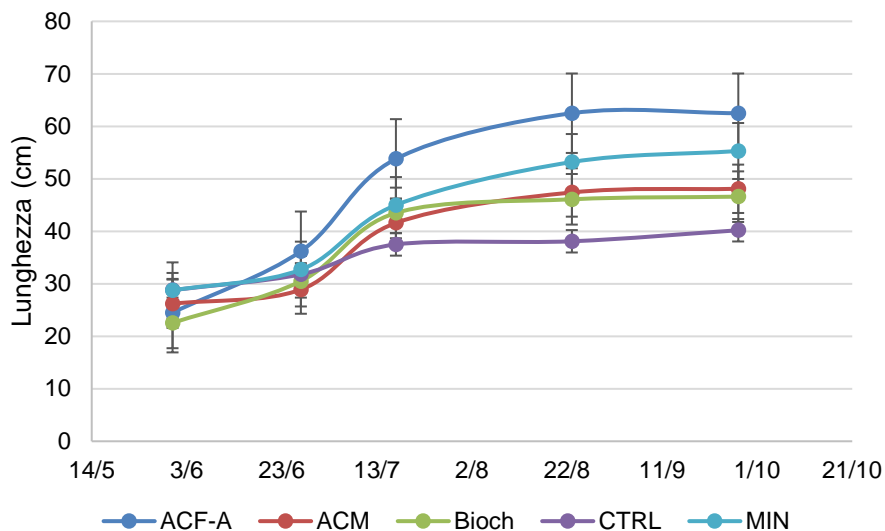
Trattamento	Diametro del fusto			Peso del legno di potatura
	Marzo 2023	Dicembre 2023	Incremento annuo	
Controllo	38 d	60 bc	22	87 b
Biochar	44 ab	64 ab	20	198 ab
ACF-A	40 cd	58 c	19	134 b
ACM	43 bc	64 ab	21	162 ab
Minerale	47 a	67 a	20	309 a
<i>Significatività</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>ns</i>	<i>*</i>

*ns*, *\** e *\*\*\** = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK).

I trattamenti non hanno indotto differenze statisticamente significative per quanto riguarda le misurazioni degli incrementi biometrici degli organi effettuati nel 2023 (Figg. 2 e 3). I frutti, infatti, hanno seguito lo stesso andamento di sviluppo senza variazioni tra i diversi trattamenti (Fig. 2). Per quanto riguarda i germogli, anche se dal grafico emerge un maggiore sviluppo per il trattamento ACF-A fin dal rilievo di luglio, rispetto agli altri trattamenti e in particolare al trattamento controllo (CTRL), non sono state rilevate differenze statistiche (Fig. 3).



**Figura 2.** Effetto del trattamento sull'accrescimento dei frutti nella stagione 2023. Le barre verticali indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.



**Figura 3.** Effetto del trattamento sull'accrescimento dei germogli nella stagione 2023. Le barre verticali indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.

Gli andamenti biometrici sono stati misurati anche nella stagione 2024 fino la fine del mese di luglio e anche in questo caso il confronto tra i differenti trattamenti non ha evidenziato differenze significative.

### 2.3 Effetto della strategia di fertilizzazione sullo stato nutrizionale del noce

La concentrazione di N, Ca e Mg nelle foglie campionate nell'estate 2023 non è stata influenzata dal trattamento (Tab. 20). Le piante di controllo hanno mostrato una concentrazione fogliare di P simile a quella delle piante trattate con il biochar e statisticamente superiore alle parcelle concimate; l'uso del biochar ha determinato valori di P non diversi da ACF-A, ma superiori a ACM e minerale (Tab. 20). L'applicazione di ACF-A ha indotto un aumento della concentrazione fogliare di P rispetto ad ACM e minerale (Tab. 20). La concentrazione di K è risultata più alta nelle foglie delle piante trattate con biochar e ACF-A e controllo, con valori significativamente superiori a quelli delle tesi minerale e ACM (Tab. 20). La concentrazione di S, infine, è aumentata a seguito dell'impiego di ACF-A rispetto a quella di ACM; tutti gli altri trattamenti hanno evidenziato valori intermedi e non diversi statisticamente dalle altre tesi (Tab. 20).

**Tabella 20.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (g 100 g<sup>-1</sup> s.s.) di macronutrienti nelle foglie prelevate nell'estate 2023.

Trattamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Controllo	2,25	0,168 a	0,838 a	1,57	0,232	0,132 ab
Biochar	2,25	0,156 ab	0,874 a	1,49	0,252	0,138 ab
ACF-A	2,32	0,148 b	0,814 a	1,56	0,252	0,144 a
ACM	2,35	0,122 c	0,656 b	1,55	0,266	0,122 b
Minerale	2,36	0,126 c	0,624 b	1,66	0,278	0,126 ab
<i>Significatività</i>	<i>ns</i>	<i>***</i>	<i>***</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>*</i>

*ns*, *\**, e *\*\*\**= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ , e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.

La concentrazione fogliare di boro è risultata più alta nelle tesi ACF-A, ACM e minerale rispetto al biochar, mentre le foglie degli alberi di controllo hanno mostrato valori intermedi e statisticamente non diversi dagli altri trattamenti (Tab. 21). La concentrazione di Cu nelle foglie estive è risultata maggiore in ACF-A rispetto a ACM e biochar, ma simile a quella riscontrata

nelle foglie delle tesi minerale e controllo. La concentrazione fogliare di Fe è risultata più alta negli alberi trattati con biochar rispetto ad ACM e minerale, mentre lo Zn, invece, è risultato più alto nelle foglie prelevate dalle tesi di controllo e biochar rispetto a ACM e minerale (Tab. 21). La concentrazione di Mn, infine, non è stata influenzata dal trattamento.

**Tabella 21.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (mg 100 kg<sup>-1</sup> s.s.) di micronutrienti nelle foglie prelevate nell'estate 2023.

<b>Trattamento</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
Controllo	130 ab	33 ab	61 ab	89	20 a
Biochar	119 b	17 c	64 a	94	19 a
ACF-A	135 a	47 a	58 abc	84	18 ab
ACM	137 a	27 bc	55 bc	109	15 b
Minerale	140 a	35 ab	52 c	119	15 b
<i>Significatività</i>	*	**	*	<i>ns</i>	**

*ns*, \* e \*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$  e  $P \leq 0,01$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.

L'effetto dei trattamenti sulla composizione minerale delle foglie è stato valutato anche nell'estate 2024. Il livello di azoto della foglia è stato incrementato in modo significativo dalla concimazione minerale rispetto alle tesi di controllo e biochar, che hanno manifestato i valori inferiori e simili tra loro (Tab. 22); valori di N intermedi sono invece stati misurati nelle foglie delle piante trattate con ammendanti. La concentrazione fogliare di P non è stata influenzata dal trattamento, mentre quella di K è aumentata a seguito dell'applicazione di ACF-A rispetto a ACM, controllo e biochar; la concimazione minerale ha evidenziato valori di K simili a tutti i trattamenti (Tab. 22). La concentrazione fogliare di Ca è risultata maggiore nelle piante concimate con biochar rispetto a tutti gli altri i trattamenti; anche il Mg è risultato più alto nel biochar che si è significativamente differenziato solo rispetto ad ACF-A; tutti gli altri trattamenti hanno mostrato valori intermedi non diversi fra loro (Tab. 22). La concentrazione fogliare di S è risultata più alta nella tesi ACF-A rispetto a tutti gli altri trattamenti (Tab. 22).

**Tabella 22.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (g 100 g<sup>-1</sup> s.s.) di macronutrienti nelle foglie prelevate nell'estate 2024.

Trattamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Controllo	2,41 b	0,174	1,18 b	1,96 b	0,244 ab	0,132 b
Biochar	2,34 b	0,196	1,07 b	2,28 a	0,292 a	0,130 b
ACF-A	2,61 ab	0,174	1,35 a	1,57 b	0,226 b	0,182 a
ACM	2,50 ab	0,172	1,17 b	1,89 b	0,276 ab	0,142 b
Minerale	2,70 a	0,166	1,22 ab	1,83 b	0,262 ab	0,142 b
<i>Significatività</i>	*	ns	**	**	*	***

ns, \*, \*\*, e \*\*\*= effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.

La concentrazione fogliare di B è risultata maggiore nelle piante concimate con biochar rispetto a tutti gli altri trattamenti; anche il Cu è risultato più alto nel biochar, differenziandosi significativamente solo dal minerale, mentre tutti gli altri trattamenti hanno mostrato valori di Cu intermedi e non diversi fra loro (Tab. 23). La concentrazione di Mn è aumentata nelle piante concimate con urea rispetto a ACF-A, biochar e controllo, mentre ACM ha mostrato valori intermedi e non diversi dagli altri trattamenti (Tab. 23). Non sono emerse differenze significative fra i trattamenti per le concentrazioni fogliari di Fe e Zn (Tab. 23).

**Tabella 23.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (mg 100 kg<sup>-1</sup> s.s.) di micronutrienti nelle foglie prelevate nell'estate 2024.

Trattamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Controllo	143 b	23 ab	74	126 b	25
Biochar	175 a	29 a	75	134 b	24
ACF-A	126 b	24 ab	73	126 b	25
ACM	141 b	24 ab	72	171 ab	25
Minerale	136 b	19 b	77	190 a	25
<i>Significatività</i>	***	*	ns	**	ns

ns, \*, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.

Il ridotto numero di frutti presenti alla raccolta non ha consentito di determinare la composizione minerale del frutto per ciascuna replica di ogni trattamento; pertanto, i dati presenti nelle tabelle 24-27 sono privi di analisi statistica. Il macronutriente più presente nel gheriglio è risultato l'N,

seguito da P e K, Ca; Mg e S hanno mostrato i valori più bassi e nel complesso simili tra loro (Tab. 24).

**Tabella 24.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (g 100 g<sup>-1</sup> s.s.) di macronutrienti nel gheriglio di noce alla raccolta del 2023.

<b>Trattamento</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b> (mg kg <sup>-1</sup> s.s)
Controllo	3,20	0,372	0,351	0,162	0,134	0,119
Biochar	2,97	0,353	0,269	0,109	0,122	0,107
ACF-A	2,85	0,329	0,262	0,105	0,114	0,105
ACM	3,39	0,331	0,256	0,103	0,112	0,122
Minerale	3,18	0,333	0,283	0,106	0,117	0,117

I dati in tabella sono relativi all'analisi di un unico campione per ciascun trattamento, a causa della scarsità di frutti. s.s. = sostanza secca.

Il Mn è risultato il micronutriente maggiormente accumulato nel gheriglio, seguito da Zn, Fe, Cu e B (Tab. 25).

**Tabella 25.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (mg 100 kg<sup>-1</sup> s.s.) di micronutrienti nel gheriglio di noce alla raccolta del 2023.

<b>Trattamento</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
Controllo	12,6	14,2	21,8	44,2	36,8
Biochar	10,7	12,3	17,9	38,5	30,7
ACF-A	8,48	12,7	19,4	33,0	33,2
ACM	8,27	12,9	18,9	38,8	31,5
Minerale	10,2	11,4	21,6	49,1	29,2

I dati in tabella sono relativi all'analisi di un unico campione per ciascun trattamento, a causa della scarsità di frutti. s.s. = sostanza secca.

Per quanto riguarda il guscio della noce, K e Ca sono stati gli elementi maggiormente accumulati, seguiti da N, P, Mg e S (Tab. 26). Per quanto riguarda i micro nutrienti, il guscio ha accumulato in ordine decrescente Fe, B, Mn, Zn e Cu (Tab. 27).

**Tabella 26.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione ( $\text{g kg}^{-1}$  s.s.) di macronutrienti nel guscio di noce alla raccolta del 2023.

Trattamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Controllo	1,65	0,301	2,90	2,64	0,200	0,085
Biochar	1,80	0,270	2,02	2,56	0,191	0,071
ACF-A	2,76	0,216	2,25	3,30	0,216	0,082
ACM	3,00	0,265	2,11	3,12	0,193	0,085
Minerale	2,43	0,202	2,29	2,45	0,189	0,076

I dati in tabella sono relativi all'analisi di un unico campione per ciascun trattamento, a causa della scarsità di frutti. s.s. = sostanza secca.

**Tabella 27.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione ( $\text{mg } 100 \text{ kg}^{-1}$  s.s.) di micronutrienti nel guscio di noce alla raccolta del 2023.

Trattamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Controllo	8,28	3,55	9,91	6,48	4,06
Biochar	7,73	3,33	13,6	6,17	5,13
ACF-A	9,85	5,20	13,7	5,51	4,0
ACM	9,76	3,56	11,1	6,33	3,08
Minerale	7,43	3,32	10,3	7,31	2,44

I dati in tabella sono relativi all'analisi di un unico campione per ciascun trattamento, a causa della scarsità di frutti. s.s. = sostanza secca.

La valutazione dell'effetto dei trattamenti sullo stato nutrizionale dell'albero di noce è stata completata con la determinazione della concentrazione minerale del legno di potatura invernale. Tra i macronutrienti, nessun effetto significativo imputabile al trattamento è stato riscontrato per N, K, Ca, Mg e S; unica eccezione il P, che è aumentato nelle piante trattate con biochar rispetto ad ACM e minerale, mentre ACF-A e controllo hanno mostrato valori intermedi e simili a tutti gli altri trattamenti (Tab. 28).

**Tabella 28.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  s.s.) di macronutrienti nel legno asportato con la potatura invernale.

Trattamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Controllo	0,64	0,112 ab	0,29	1,18	0,15	0,64
Biochar	0,72	0,116 a	0,31	1,14	0,15	0,72
ACF-A	0,72	0,107 ab	0,30	1,16	0,14	0,72
ACM	0,63	0,093 b	0,29	1,17	0,13	0,63
Minerale	0,70	0,090 b	0,27	1,06	0,15	0,70
Significatività	ns	*	ns	ns	ns	ns

ns e \* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,05$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.



Riguardo ai microelementi, la concentrazione più alta di B nel legno di potatura invernale è stata riscontrata nelle piante trattate con biochar, seguita dal controllo, ACF-A, ACM e minerale che hanno mostrato valori simili tra loro (Tab. 29). La concentrazione di Zn è aumentata a seguito dell'applicazione di ACF-A e ACM rispetto al minerale, mentre controllo e biochar hanno mostrato valori intermedi e non diversi da tutti gli altri trattamenti (Tab. 29). Nessun effetto significativo del trattamento è stato osservato a carico della concentrazione di Cu, Fe e Mn (Tab. 29).

**Tabella 29.** Effetto dei trattamenti sulla concentrazione (mg 100 kg<sup>-1</sup> s.s.) di micronutrienti nel legno di potatura (2023).

<b>Trattamento</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Zn</b>
Controllo	18,6 b	7,1	104	33,2	17,1 ab
Biochar	23,4 a	8,5	91	37,0	19,8 ab
ACF-A	15,0 c	8,0	83	32,2	22,4 a
ACM	11,9 d	7,3	83	39,0	21,1 a
Minerale	10,8 d	7,7	66	45,7	14,9 b
<i>Significatività</i>	***	ns	ns	ns	**

*ns*, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti non significativo e significativo per  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,01$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK). s.s. = sostanza secca.

### **2.3 Effetto della strategia di fertilizzazione sull'attività fisiologica delle piante**

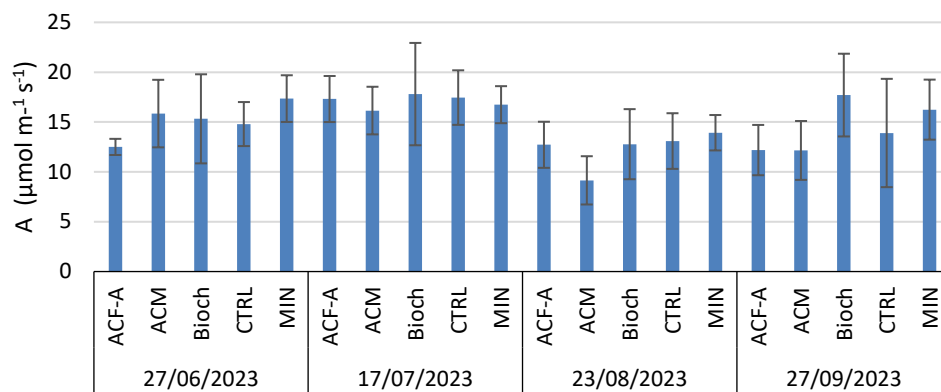
Nelle figure 4, 5 e 6 è rappresentato l'andamento di tre parametri fisiologici delle piante in risposta ai diversi trattamenti di fertilizzazione nel tempo: fotosintesi (A), traspirazione (E) e conduttanza stomatica (Gs). Ogni grafico rappresenta i valori medi con le rispettive barre di errore standard per quattro date di rilevamento: 27/06/2023, 17/07/2023, 23/08/2023, e 27/09/2023.

Per quanto riguarda la fotosintesi (Fig. 4) nel primo rilievo (27/06/2023), i valori sono relativamente alti per tutti i trattamenti, con ACF-A e ACM che hanno mostrato valori leggermente superiori agli altri trattamenti, senza tuttavia mostrare differenze significative. A partire dal 17/07/2023, i valori di fotosintesi sono diminuiti per tutti i trattamenti; questa riduzione si è mantenuta anche nei rilievi successivi (23/08/2023 e 27/09/2023), con alcuni trattamenti che hanno mostrato un recupero parziale (ad esempio, ACF-A a settembre). Le barre di errore suggeriscono una variabilità interna significativa, ma non tale da evidenziare differenze statisticamente significative tra i trattamenti.

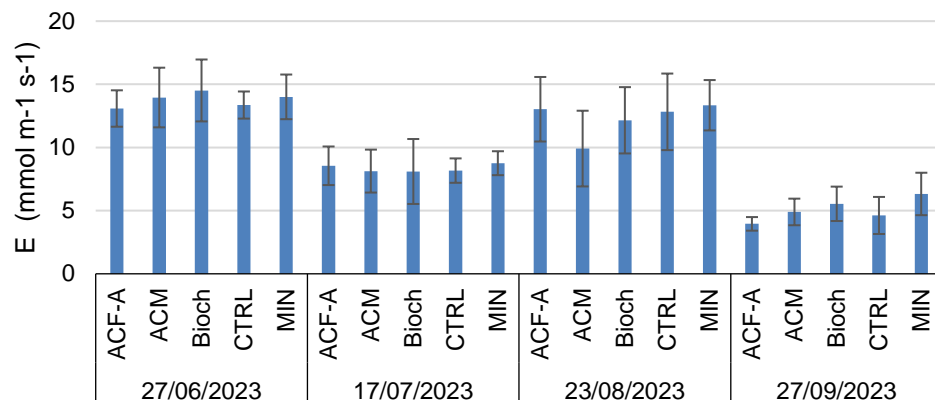
La traspirazione (Fig. 5) misurata il 27 giugno, ha restituito valori piuttosto alti, specialmente per i trattamenti ACF-A e ACM. Tra giugno e luglio si nota un notevole calo dei valori, che si stabilizza nei mesi successivi per tutti i trattamenti. Gli errori standard tra i differenti trattamenti, specialmente a giugno e luglio, sono abbastanza ampi, indicando una variabilità significativa. I trattamenti minerale (MIN) e biochar (Bioch) hanno mostrato tassi di traspirazione tendenzialmente più bassi in tutte le date di misurazione anche se non statisticamente significativi.

La conduttanza stomatica (Fig. 6) è sembrata essere più costante nel tempo rispetto ai valori di fotosintesi e di traspirazione. Nel mese di giugno, i trattamenti biochar (Bioch) e ACF-A hanno presentato i valori più alti, ma le differenze non sono risultate molto pronunciate rispetto agli altri trattamenti. Non si sono notati cambiamenti significativi nelle misurazioni di conduttanza stomatica tra i diversi trattamenti nelle date successive.

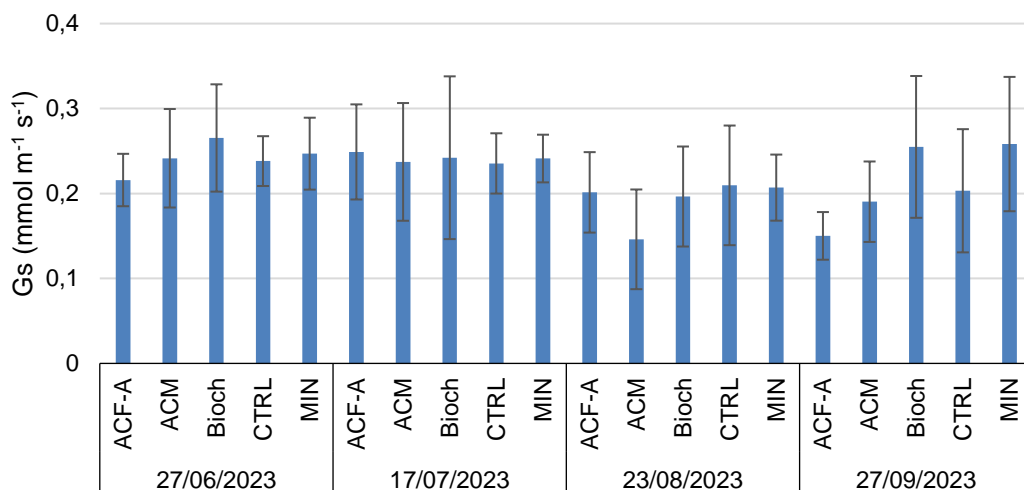
In generale tutti e tre i parametri di scambi gassosi hanno mostrato una riduzione nel tempo, particolarmente evidente tra giugno e luglio. Questo probabilmente dovuto a condizioni ambientali variabili, come la temperatura. Sebbene ci siano state alcune differenze nei valori medi tra i trattamenti, l'analisi statistica indica che le differenze non sono risultate significative. Le misurazioni di scambi gassosi fatte nei mesi di giugno e luglio 2024 hanno evidenziato tra i trattamenti andamenti simili alla stagione 2023.



**Figura 4.** Effetto del trattamento sull'andamento, al mezzogiorno solare, dell'assimilazione di CO<sub>2</sub> (A) a livello fogliare in differenti fasi fenologiche. Le barre verticali indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.



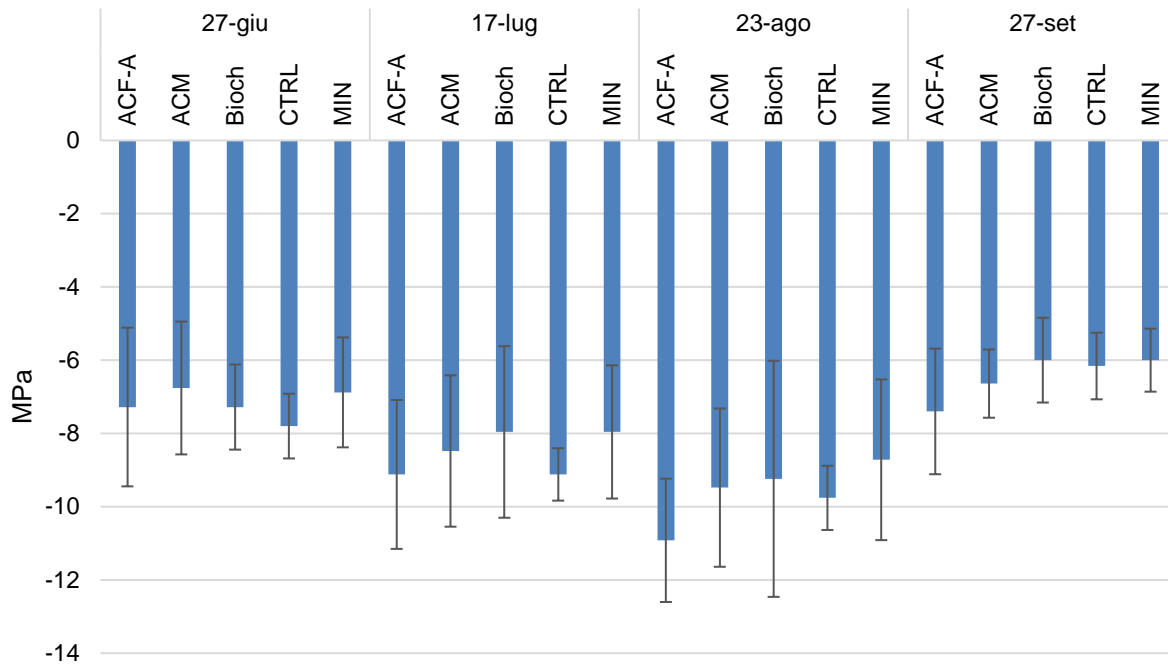
**Figura 5.** Effetto del trattamento sull'andamento, al mezzogiorno solare, della traspirazione (E) a livello fogliare in differenti fasi fenologiche. Le barre verticali indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.



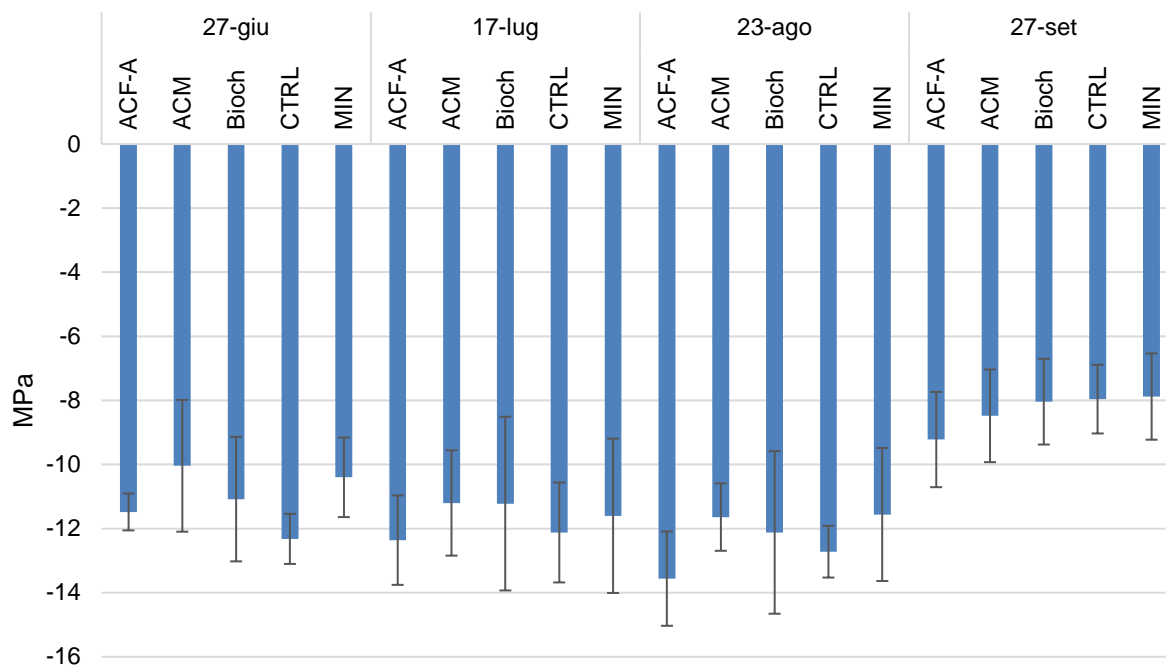
**Figura 6.** Effetto del trattamento sull'andamento, al mezzogiorno solare, della conduttanza stomatica (Gs) a livello fogliare in differenti fasi fenologiche. Le barre verticali indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.

Per quanto riguarda le misurazioni di potenziali idrici, in linea generale per entrambe le variabili (potenziale di tronco e foglia; Figg. 7 e 8) si è osservata una generale tendenza alla diminuzione nel tempo, soprattutto tra giugno e luglio. Questo suggerisce un aumento dello stress idrico nelle piante man mano che la stagione avanza, probabilmente a causa di una maggiore domanda di acqua da parte della chioma e di condizioni ambientali più calde e secche. I diversi trattamenti (ACF-A, ACM, controllo, minerale e biochar) sembrano aver influenzato il potenziale

idrico in modo variabile e non sempre coerente nel tempo. Non è evidente una differenza netta e costante tra i trattamenti in termini di potenziale idrico sia della foglia che del tronco. Le barre di errore sono relativamente ampie, indicando una considerevole variabilità all'interno di ciascun trattamento, che ha limitato l'insorgenza di un impatto significativo e costante sul potenziale idrico delle piante. Le misurazioni di potenziale idrico fatte nei mesi di giugno e luglio 2024 hanno evidenziato andamenti simili alla stagione 2023.



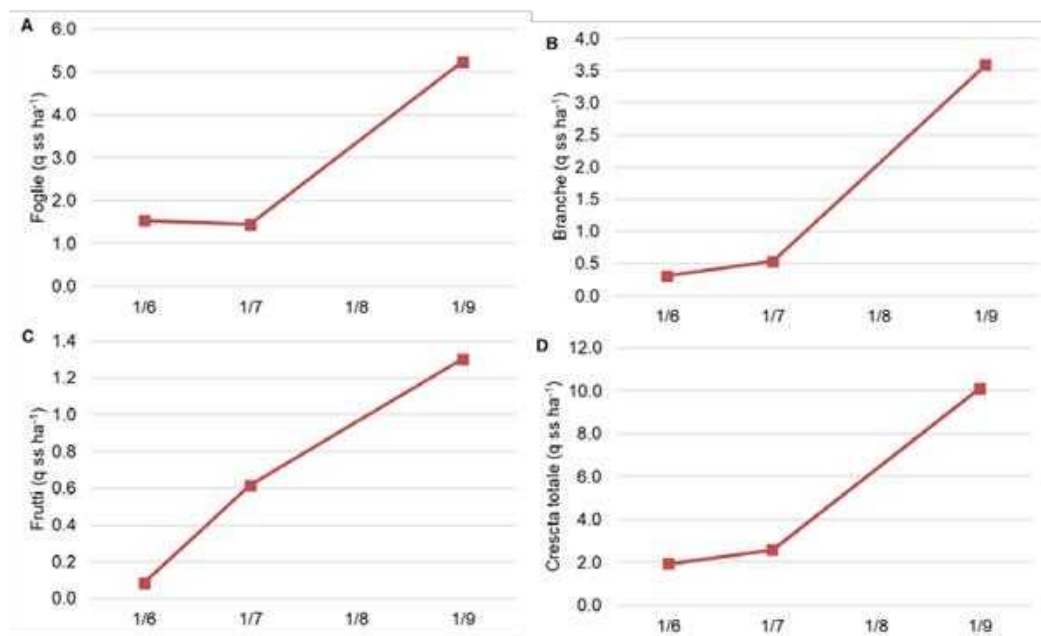
**Figura 7.** Effetto dei trattamenti sul potenziale idrico del tronco, al mezzogiorno solare. Le barre indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.



**Figura 8.** Effetto dei trattamenti sul potenziale idrico fogliare, al mezzogiorno solare. Le barre indicano l'errore standard (n=5). ACF-A= ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare con fanghi; ACM = ammendante compostato misto, Bioch=biochar; CTRL=controllo; MIN =minerale.

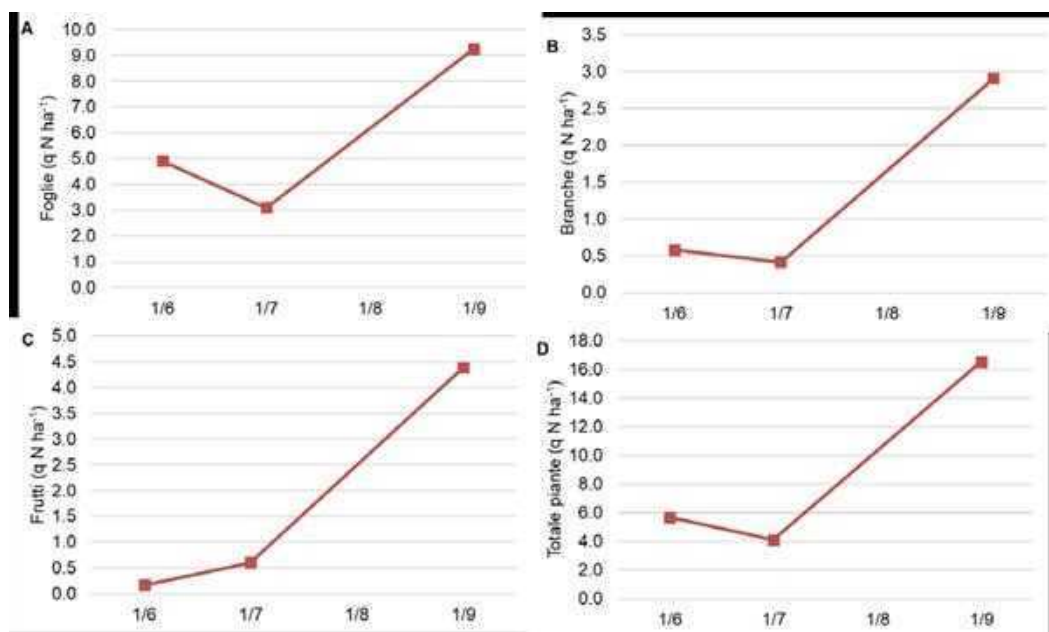
#### **2.4 Fabbisogno di nutrienti di un noceto in fase di allevamento**

Relativamente all'accumulo di sostanza secca nei diversi organi (Fig. 9) è stato registrato un aumento repentino fra il rilievo di luglio e settembre per le foglie e le branche (Fig. 9 A-B); mentre i frutti hanno evidenziato una crescita costante durante tutta la stagione vegetativa (Fig. 9C). L'accumulo totale di sostanza secca nella pianta ha rispecchiato quando osservato su foglie e branche (Fig. 9D).



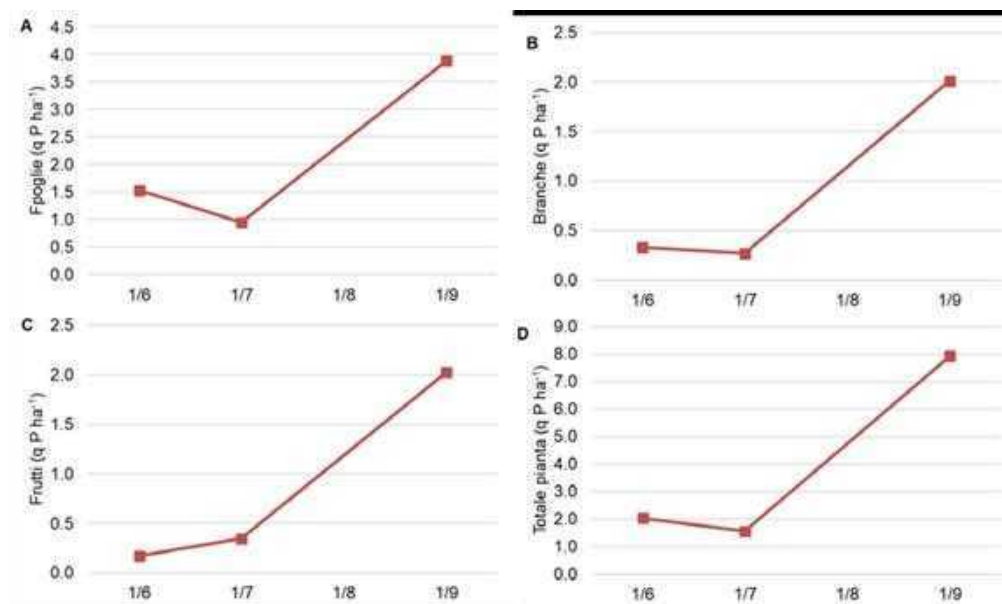
**Figura 9.** Andamento della sostanza secca (ss) in foglie (A), branche (B), frutti (C) e totale (D) nel corso della stagione vegetativa.

Nel corso della stagione vegetativa, la quantità di azoto (N) in tutti gli organi è aumentata (Fig. 10C), fa eccezione il mese di giugno, quando la quantità di N è lievemente diminuita in foglie e branche (Fig. 10).



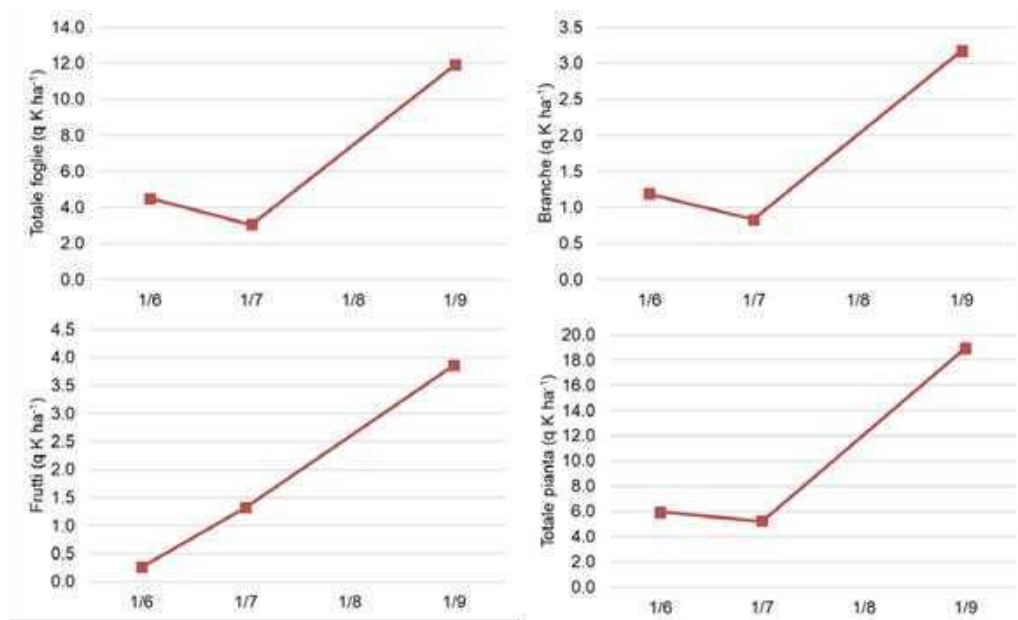
**Figura 10.** Accumulo di azoto (N) in foglie (A), branche (B), frutti (C) e totale (D) nel corso della stagione vegetativa.

Il fosforo (P) ha mostrato un andamento simile a quello riscontrato per azoto (Fig. 11).



**Figura 11.** Accumulo di fosforo (P) in foglie (A), branche (B), frutti (C) e totale (D) nel corso della stagione vegetativa.

Il potassio (K) ha mostrato, per foglie, branche e totale pianta (Figg. 12 A-B-D) un andamento simile a N e P; nel caso dei frutti è stato, invece, riscontrato un aumento costante nel corso di tutta la stagione vegetativa (Fig. 12).



**Figura 12.** Accumulo di potassio (K) in foglie (A), branche (B), frutti (C) e totale (D) nel corso della stagione vegetativa.

Per il calcolo dei fabbisogni nutrizionali della coltura è stato impiegato l'applicativo Fert-Irrinet che segue i criteri e le norme fissate nei Disciplinari di Produzione Integrata della Regione Emilia-Romagna (Fig. 13), considerando la coltura al 2° anno di allevamento e una produzione attesa di 1 q ha<sup>-1</sup>. Di conseguenza, il fabbisogno di nutrienti, calcolato secondo il metodo del bilancio, è risultato essere di 50 kg N ha<sup>-1</sup>, 13 kg P ha<sup>-1</sup> e 33 kg K ha<sup>-1</sup> di conseguenza le fertilizzazioni sono state effettuate nel seguente modo:

- apertura dei solchi: 37% N, 100% P e K
- fioritura femminile: 33% N
- allungamento dei germogli: 30% N

**Piano di fertilizzazione**  
Quantitativi di elementi nutritivi da apportare calcolati col METODO DEL BILANCIO

Azienda	Agronoce	Zona ZVN	Area	A
Appezz.	1	VERO	Anno	2023
Coltura	Noce da frutto frutti, legno e foglie	Resa annua prevista	t/ha	0
Fase/ciclo	II anno allev.			
Modalità di coltivazione:	pieno campo			

		kg/ha		
		N	P2O5	K2O**
<b>NECESSITA'</b>				
A)	Fabbisogno della coltura	0	0	0
C)	Perdite per lisciviazione	35		10
	- Ca) N "pronto" perso nel periodo autunno invernale	30		
	- Cb) N perso all'uscita dall'inverno	5		
D)	Immobilizzazioni e dispersioni (*)	11		
B1)	Arricchimenti		0	0
A2)	Anticipazioni anni futuri		0	0
<b>Totale necessità</b>		<b>45</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>DISPONIBILITA'</b>				
B)	Fertilità del suolo	36	0	0
E)	PreceSSIONE	0		
F)	Fertilità organica residua	0		
G)	Apporti naturali	15		
<b>Totale disponibilità</b>		<b>51</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Bisogno calcolato</b>		<b>-6</b>	<b>0</b>	<b>10</b>
<b>Apporto ammesso dal DPI col metodo "Bilancio"</b>		<b>50</b>	<b>30</b>	<b>40</b>

**Figura 13.** Calcolo dei fabbisogni nutrizionali secondo DPI Regione Emilia-Romagna.

Al termine della prova, dai risultati delle curve di assorbimento dei tre principali elementi, sono stati estrapolati i parametri nutritivi dell'applicativo Fert-Irrinet.

### 3. CONSIDERAZIONI FINALI

Il noce da frutto è una specie con esigenze nutrizionali ed irrigue medio-elevate ed una gestione ottimale della fertilizzazione e dell'irrigazione sono necessarie al fine di ottenere rese elevate e di buona qualità. Nella fase di allevamento, risulta poi fondamentale dosare in modo ottimale le risorse al fine di ottenere una buona formazione delle piante.

Nel corso del primo anno di sperimentazione si è passati da un valore medio di 10 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> misurato prima dell'applicazione delle matrici (marzo 2023) a valori talvolta superiori a 140



mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup> misurati nel corso della stagione vegetativa. Il secondo anno, invece, i valori riscontrati fino al mese di luglio sono rimasti in linea con le esigenze del noce evidenziando solo un picco invernale di circa 50 mg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kg<sup>-1</sup>. Da precedenti sperimentazioni (PSR SOST-NOCE) si è osservato che il noce, in fase di piena produzione, ha esigenze di circa 160-180 kg ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>, che possono essere garantiti da una concentrazione di N minerale (N<sub>min</sub>) nel suolo compresa tra 25 e 30 mg N ha<sup>-1</sup> nella fase di massimo sviluppo vegeto-produttivo. Di conseguenza, i valori misurati soprattutto nel primo anno di sperimentazione sono risultati troppo alti con conseguente eccesso di N disponibile nel suolo rispetto alle esigenze della pianta. Il trattamento con biochar ha evidenziato valori costanti nel corso della stagione, simili al controllo e inferiori a 20 mg N<sub>min</sub> kg<sup>-1</sup>. A prescindere dall'anno, i valori di N ammoniacale riscontrati sono risultati in generale bassi (spesso <2 mg N-NH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> s.s.), ma in linea con quelli attesi nei terreni di pianura dell'Emilia Romagna.

L'applicazione di matrici organiche ha mostrato, anche nel breve periodo, un effetto positivo sulla fertilità del terreno aumentando la concentrazione di N totale; l'ACF-A ha inoltre indotto un calo del pH del suolo che potrebbe, soprattutto nel lungo periodo, migliorare l'assorbimento di alcuni micronutrienti. Anche la disponibilità di macro nutrienti nella soluzione del suolo è aumentata a seguito dell'applicazione di ACM (P e K) e soprattutto ACF-A (P, K, Ca, Mg e S) con un effetto positivo anche sullo stato nutrizionale delle piante. Il biochar non ha mostrato un netto effetto sulla disponibilità di elementi nella soluzione, tuttavia, dalle analisi fogliari è emerso un suo effetto nell'aumentare la concentrazione di alcuni macro e micronutrienti. Probabilmente, grazie alla sua capacità di trattenere elementi nutritivi all'interno della sua struttura, il biochar potrebbe migliorare lo stato nutrizionale del suolo e delle piante, ma i risultati ottenuti nel presente studio non sono così evidenti a causa della singola applicazione (il biochar è stato applicato solo nel 2023) e della breve durata della sperimentazione.

L'aumento del C organico nel suolo, effetto della sua diretta applicazione con le matrici ad alto contenuto di carbonio, potrebbe nel lungo periodo svolgere un importante effetto ambientale rendendo il sistema noceto efficiente nel sequestro della CO<sub>2</sub>. Sono necessari però studi di lungo termine per valutare come il C che viene applicato con compost o biochar si stabilizza nel suolo. La biomassa microbica del suolo è stata solo leggermente influenzata dall'applicazione di matrici organiche, probabilmente anche a causa delle avverse condizioni ambientali (piogge abbondanti con conseguente asfissia del terreno e periodi siccitosi con temperature molto alte); tuttavia, l'applicazione di ACM e ACF-A ha aumentato l'umidità del

terreno confermando la capacità della sostanza organica di aumentare la capacità di ritenzione idrica del terreno.

L'applicazione del concime minerale ha indotto un leggero aumento del diametro del fusto e del legno di potatura anche se non sono emerse differenze per quanto riguarda lo sviluppo dei germogli e la crescita dei frutti. Bisogna sottolineare che il nocce è una pianta caratterizzata da crescita lenta, quindi due anni di misure non sono sufficienti per definire in maniera univoca l'effetto dei trattamenti.

In generale, le misurazioni ecofisiologiche non hanno evidenziato differenze significative né negli scambi gassosi né nei potenziali idrici degli organi delle piante di nocce tra i diversi trattamenti. L'andamento osservato è risultato variabile, influenzato dalle condizioni climatiche, suggerendo che nei primi due anni di sperimentazione i trattamenti fertilizzanti non hanno alterato la fisiologia di risposta delle piante. I dati raccolti nel corso della presente sperimentazione pongono le basi per la definizione di corrette strategie di concimazione nei noceti in fase di allevamento; tuttavia, sarebbe necessario acquisire informazioni nel lungo periodo al fine di intensificare il potenziale produttivo della coltura e ridurre al minimo gli impatti negativi sull'ambiente.

Fert-irrinet si dimostra un sistema di supporto decisionale (DSS) affidabile per la gestione delle esigenze nutritive delle colture, fornendo indicazioni precise per ottimizzare l'apporto di nutrienti. Nel dettaglio, si è visto come l'accumulo degli elementi nutritivi nella pianta segue un andamento che rispecchia perfettamente le esigenze delineate dal DSS. Durante la fase iniziale, caratterizzata da un'intensa crescita vegetativa, la domanda di nutrienti è elevata per assecondare lo sviluppo di foglie e branche. Questo accumulo raggiunge il suo apice quando i frutti iniziano a crescere, fase in cui la pianta richiede il massimo apporto nutritivo per sostenere la formazione e l'ingrossamento dei frutti. Successivamente, con l'avvicinarsi del momento della raccolta, la necessità di nutrienti nelle foglie e nelle branche diminuisce sensibilmente, mentre nei frutti si mantiene elevata, per garantire il completamento del loro sviluppo. La conoscenza di queste dinamiche è essenziale per ottimizzare le pratiche di fertilizzazione, assicurando che la pianta riceva esattamente i nutrienti di cui ha bisogno in ogni fase fenologica. Grazie alle indicazioni fornite da Fert-irrinet, è possibile migliorare l'efficienza dell'apporto nutritivo, riducendo al minimo sprechi e carenze, e garantendo al contempo una produzione sostenibile e di alta qualità.

## **PROGETTO OTTIMA.NOCE**

### **OTTIMIZZAZIONE DELLA GESTIONE AGRONOMICA DEL NOCE IN AMBIENTE REGIONALE ATTRAVERSO LA DIGITALIZZAZIONE DELLA TECNICA FRUTTICOLA**

#### **REPORT TECNICO AZIONE 3 - Valutazione del bilancio di carbonio e delle emissioni di protossido d'azoto da parte del noceto**

A cura del responsabile della parte scientifica per IBE, Dott.ssa **Marianna Nardino**, Consiglio Nazionale delle Ricerche – Istituto per la BioEconomia

Hanno collaborato:

per la parte di misure in campo: **Matteo Mari, Lorenzo Fiorini, Francesco Maria Boniello.**

per la parte di analisi dei dati: **Marianna Nardino, Camilla Chieco, Federico Carotenuto, Daniela Famulari.**

per la parte di stesura del Report: **Marianna Nardino, Camilla Chieco.**

#### **Introduzione**

Il tema della riduzione delle emissioni climalteranti è senza dubbio centrale nel dibattito politico e l'agricoltura riveste un ruolo fondamentale dato anche il suo potenziale ruolo nel fungere da “sink” di carbonio.

Da un lato, quello agricolo è uno dei settori più esposti ai cambiamenti climatici e sta già registrando le conseguenze delle alterazioni climatiche: eventi atmosferici estremi, ondate di calore, gelate tardive, siccità e modifiche nei microclimi locali hanno fatto registrare non solo una minore produttività delle coltivazioni, ma anche un aumento dei costi di produzione stessi.

D'altra parte, l'agricoltura è responsabile di emissioni di gas climalteranti in atmosfera: principalmente di metano (CH<sub>4</sub>) prevalentemente imputabile al settore zootecnico (fermentazione enterica, gestione delle deiezioni animali), di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) prevalentemente emesso dai

suoli agricoli in seguito alle fertilizzazioni azotate e, in misura minore, di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>). A sua volta però, l'agricoltura, e in particolare le coltivazioni arboree, può fungere da cosiddetto "sink" di carbonio, sottraendo CO<sub>2</sub> dall'atmosfera per mezzo del processo fotosintetico e ritagliandosi quindi un ruolo da protagonista nella lotta ai cambiamenti climatici.

Negli ultimi anni, così come avviene per altre attività produttive, anche all'agricoltura è stato richiesto di quantificare le proprie emissioni nette di gas serra. È, quindi, fondamentale inserire nel computo netto delle emissioni del settore anche la quantità di C che viene assorbita dalla vegetazione in crescita affinché all'agricoltura venga riconosciuto il giusto ruolo di servizio ecosistemico

L'assimilazione e l'emissione di CO<sub>2</sub> è l'equilibrio tra fotosintesi e respirazione di un ecosistema agricolo (suolo e piante) e costituisce un importante indice della sostenibilità dell'ecosistema stesso. Mentre la quantità di CO<sub>2</sub> fissata sotto forma di carbonio (C) stoccata nella biomassa di una coltura può essere facilmente stimata, gli scambi di carbonio tra chioma e atmosfera e fra terreno e atmosfera sono più difficili da misurare, specialmente su larga scala. L'eddy-covariance è il metodo più utilizzato per ottenere una misurazione diretta del "net ecosystem exchange" (NEE), ovvero lo scambio netto di carbonio fra l'atmosfera e l'ecosistema. Il NEE è un indicatore fondamentale della capacità di un ecosistema di assorbire C.

Nell'ottica di minimizzare gli impatti delle coltivazioni sui cambiamenti climatici è altresì importante valutarne al meglio le emissioni degli altri gas serra. Il protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) è il principale gas climalterante emesso in seguito alle pratiche agronomiche, in particolare alle fertilizzazioni. È riconosciuto che l'utilizzo di buone pratiche di fertilizzazione può minimizzare le emissioni di questo gas. Purtroppo, però, le dati di emissioni di N<sub>2</sub>O dall'agricoltura sono frammentari e di difficile reperibilità, a causa sia dell'elevato *expertise* necessario per l'applicazione delle tecniche di misurazione sia della complessità del ciclo dell'N nel suolo. Studi puntuali per misurare i flussi netti di N<sub>2</sub>O in funzione dei diversi fertilizzanti applicati al suolo sono quindi fondamentali per colmare queste lacune e per identificare buone pratiche di gestione in grado di minimizzare l'impatto delle produzioni agricole.

In quest'ottica, l'azione 3 si è concentrata sulla valutazione del potenziale impatto sul clima di una gestione oculata del noceto attraverso la stima delle emissioni e degli assorbimenti di CO<sub>2</sub> dell'agroecosistema e, al contempo, misurando le emissioni di protossido di azoto dal suolo in funzione di diverse tipologie di ammendanti organici somministrati alla coltura.

### **Task 3.1 Misurazione degli scambi di carbonio fra colture agricole e atmosfera tramite eddy-covariance**

#### **Materiali e metodi**

L'eddy-covariance è un metodo di misurazione diretta in campo che permette di stimare l'NEE, ovvero lo scambio netto di carbonio fra l'atmosfera e l'ecosistema. Il NEE è un indicatore fondamentale della capacità di un ecosistema di assorbire C. Una volta ottenuto il valore di NEE, è possibile dedurre la produzione primaria lorda (GPP), che è la quantità totale di CO<sub>2</sub> assorbita dall'ecosistema, e la respirazione dell'ecosistema (ER), ovvero la CO<sub>2</sub> rilasciata da tutte le attività metaboliche dell'ecosistema (Di Virgilio *et al.*, 2019). In questo modo è possibile valutare la capacità di immagazzinare carbonio dell'ecosistema (t CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>) specifica per il territorio in esame. Tramite l'installazione di una torre eddy-covariance posizionata sopra la chioma (CNR-IBE), è stato misurato il “net ecosystem exchange” (NEE) della coltivazione del noce. Le misurazioni sono state effettuate per un intero anno solare nello stesso appezzamento descritto nell'azione 2.

La torre eddy-covariance è stata equipaggiata con la seguente strumentazione (figura 1):

- un anemometro ultra-sonico tridimensionale (Metek, GmbH, Germania) e un analizzatore di gas infrarosso a cammino ottico aperto (IRGA, Li7500; LiCor Inc., USA) posizionati ad un'altezza di 7.5m per la misurazione degli scambi di CO<sub>2</sub> e di vapor d'acqua tra la coltura e l'atmosfera (flussi);
- un radiometro netto (Kipp&Zonen, CNR1) per la misurazione dell'energia netta disponibile sopra la vegetazione e per il calcolo del bilancio sia energetico che radiativo superficiale.

Durante tutta la campagna di misurazioni dei flussi sono stati monitorati anche:

- i flussi di calore dal suolo tramite piastre di flusso (Hukseflux HFP01-10) installate a 5 cm di profondità nel terreno;
- l'umidità del suolo tramite sonde TDR posizionate a diversa profondità nel suolo in base alle caratteristiche del terreno;
- la temperatura del terreno tramite termocoppie posizionate a diversa profondità nel suolo in base alle caratteristiche del terreno.

Gli strumenti sono stati installati il 28 marzo 2023 e l'acquisizione dei dati è ancora in essere. I dati sono stati acquisiti ad una frequenza di 10 HZ su un data logger CR1000x (Campbell Sci., UK), salvati su una microSD e post processati con software EddyPro-7.0.9 (LiCor Inc., USA).

Infine, sempre tramite tecnica eddy-covariance sono stati misurati i consumi reali del frutteto in termini di evapotraspirazione reale (ETa). Questo valore ha permesso il calcolo del coefficiente colturale ( $K_C$ ) specifico del noce in modo che il CER ha utilizzarlo nell'ambito dell'azione 1 riguardante la gestione della risorsa idrica.



Figura 1: torre di misura eddy-covariance (sx) e sistema di acquisizione dati(dx).

## Risultati

In figura 2 sono riportati gli andamenti per un intero anno solare (aprile 2023 - marzo 2024) del flusso di  $CO_2$  e del flusso evapotraspirativo. I valori negativi del flusso di  $CO_2$  indicano che l'agroecosistema sta assorbendo  $CO_2$  dall'atmosfera (fotosintesi) mentre i valori positivi indicano un'emissione di  $CO_2$  dovuta alla respirazione del suolo e della vegetazione. È evidente come durante la stagione vegetativa i valori negativi siano predominanti mentre durante i mesi invernali il bilancio è intorno allo zero (assorbimento=emissione).

Il flusso evapotraspirativo è anch'esso maggiore durante la stagione vegetativa quando piante e terreno sono più attivi.

Durante la campagna di misura, la forte alluvione che ha colpito la Regione Emilia-Romagna in maggio 2023 ha avuto ripercussioni anche nell'area interessata dalla sperimentazione. Infatti, a causa

di venti forti la Torre eddy-covariance montata ad un'altezza di 7.5 metri, ha avuto un cedimento; questo evento ha momentaneamente causato l'interruzione della trasmissione dei dati di assorbimento ed emissione di carbonio dall'agro-ecosistema durante il mese di giugno 2023. Non appena le condizioni meteo lo hanno permesso, la torre è stata ripristinata in tutte le sue funzionalità e la trasmissione dei dati è ripresa. Per questo motivo e per altri motivi intrinseci della tecnica eddy-covariance è stato necessario effettuare un gap filling dei dati di flusso di CO<sub>2</sub> al fine di ottenere il bilancio annuale dell'NEE.

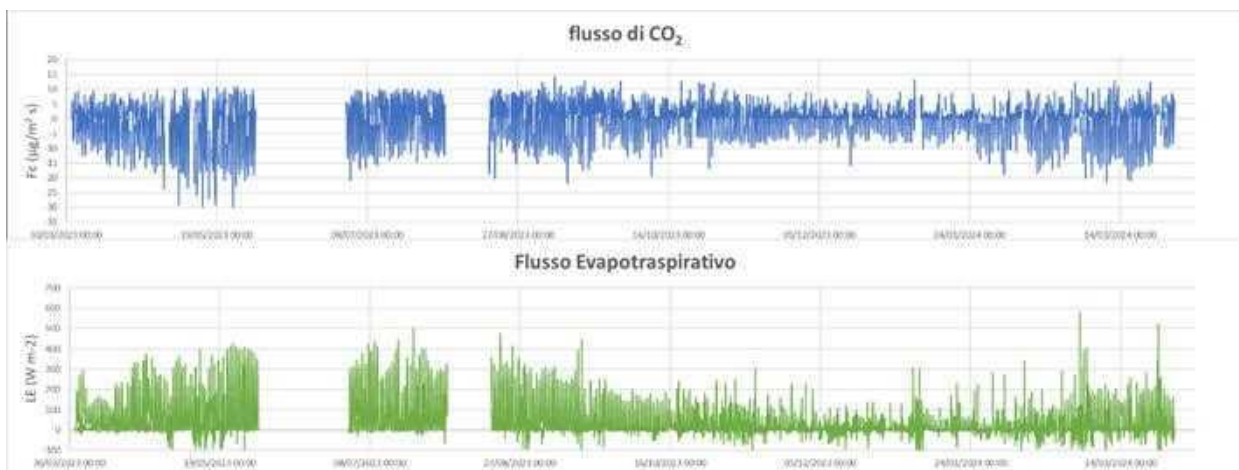


Figura 2: andamento del flusso di CO<sub>2</sub> e di H<sub>2</sub>O per un intero anno di misura (Aprile 2023-Maggio 2024).

La serie completa dei dati di flusso di CO<sub>2</sub> dopo aver effettuato il gap filling attraverso relazioni empiriche (Nardino *et al.*, 2013) è riportata in figura 3.

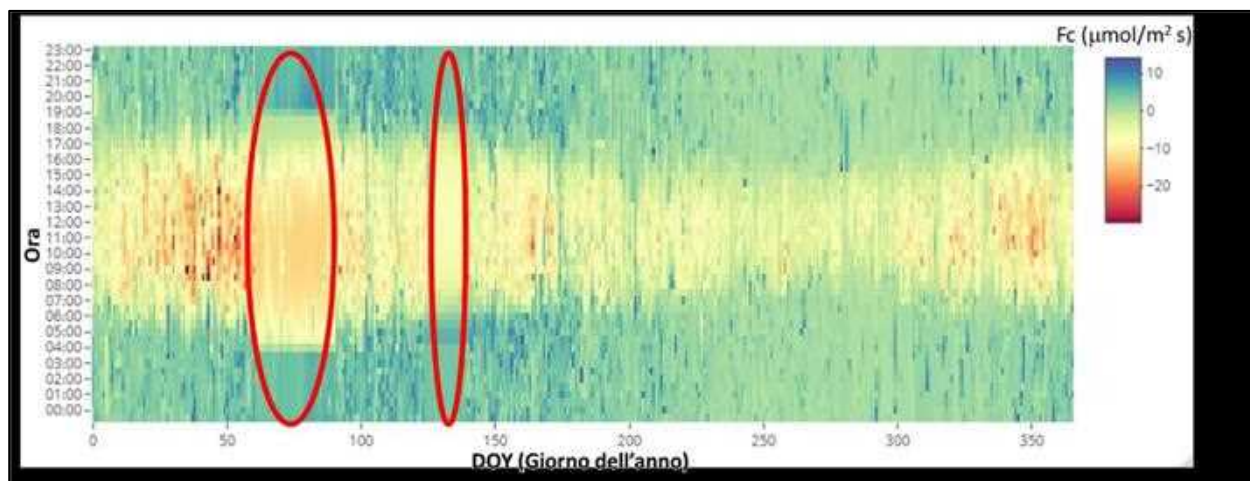


Figura 3: flusso di CO<sub>2</sub> in funzione dell'ora e del giorno dell'anno dopo aver riempito i dati con il gap filling (Aprile 2023-Maggio 2024).

Il bilancio annuale in termini di scambio netto dell'ecosistema (NEE), produttività primaria lorda (GPP) e respirazione dell'ecosistema (ER) è riportato in figura 4. Durante l'anno solare il noceto ha assorbito circa 2 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> equivalenti a 8.8 t di CO<sub>2</sub> ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>. La produttività primaria lorda, legata poi alla produzione, è risultata pari a circa 15 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup>.

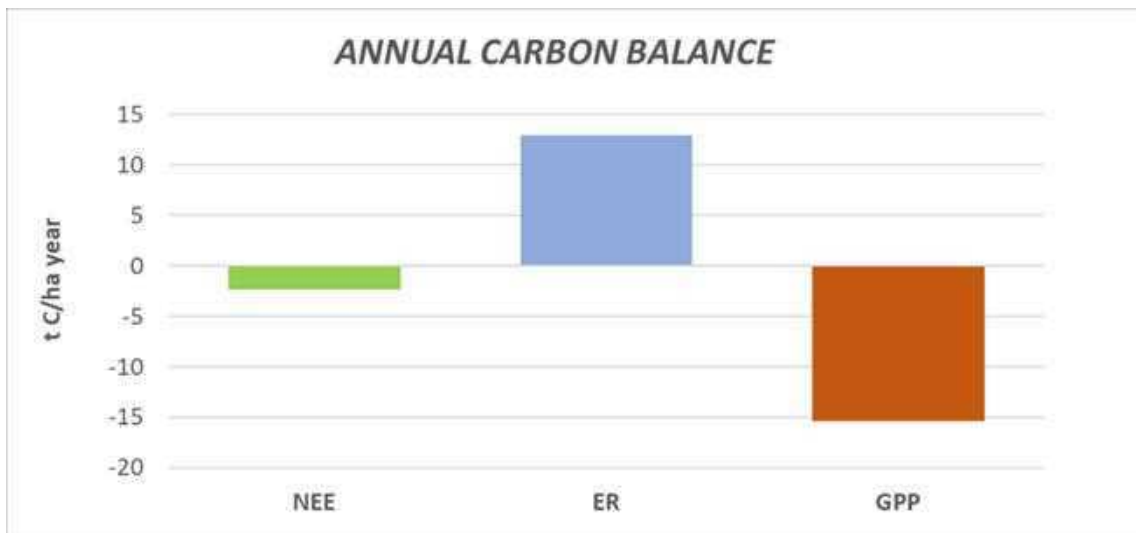


Figura 4: bilancio annuale dello scambio netto dell'ecosistema (NEE), della respirazione dell'ecosistema (ER) e della produttività primaria lorda (GPP).

## Conclusioni

I risultati ottenuti da questo task hanno permesso una prima stima del potenziale di un agroecosistema noceto di fungere come *sink* di carbonio. Il valore di 2 t C ha<sup>-1</sup> anno<sup>-1</sup> assorbito dal noceto, se paragonato con quello di altri frutteti monitorati in passato, è risultato essere inferiore (Nardino *et al.*, 2013; Rossi *et al.*, 2021). Questa differenza è dovuta a diversi fattori concomitanti. Il noceto, nella primavera 2023, è stato sommerso dall'acqua a causa dell'alluvione che ha colpito la zona in esame, situazione che ha determinato una prima sofferenza delle piante; inoltre, l'estate è stata caratterizzata da temperature piuttosto elevate sopra la media climatica, che hanno aggravato lo stato di stress delle piante. Altro fattore che ha inciso nella capacità di assorbire C è che il noceto in esame è molto giovane e, quindi, il suo potenziale di stoccare carbonio è ancora acerbo.



### **Task 3.2 Emissioni di protossido di azoto dal suolo tramite camerette**

Al fine di valutare l'impatto sull'emissione di gas serra dei diversi metodi di concimazione testati da DISTAL-UNIBO, il CNR-IBE ne ha misurato le emissioni dal suolo di N<sub>2</sub>O. Quello agricolo è il settore maggiormente responsabile delle emissioni di questo gas serra, che ha un potere clima alterante 298 volte superiore a quello della CO<sub>2</sub>. Il principale fattore che ne causa l'emissione sono le pratiche di fertilizzazione dei suoli.

#### **Metodologia sperimentale**

Le emissioni effettive di N<sub>2</sub>O sono state misurate in tempo reale tramite una cameretta di incubazione (smart chamber 8200 – 01S con GPS integrato) posizionata sul suolo di coltivazione, e collegata ad un analizzatore portatile di gas ad infrarosso IRGA, Li7820, LiCor Inc., USA.

I campionamenti sono stati effettuati durante il corso dell'anno ad intervalli prestabiliti, prima e dopo la concimazione, nelle stesse parcelle in cui sono stati sperimentati i diversi ammendanti organici.

Per ogni parcella sono stati effettuate 5 repliche di misure di flusso di N<sub>2</sub>O e di misura di temperatura e umidità del suolo.



*Figura 5. Cameretta dinamica e analizzatore di protossido di azoto.*

## Risultati

In figura 6 sono riportate le emissioni annuali cumulate di N derivate da N<sub>2</sub>O per le diverse tesi testate. Il plot che è stato fertilizzato con urea è quello che ha emesso maggiori quantità di N<sub>2</sub>O durante l'anno (pari 10.3 Kg N<sub>2</sub>O-N/ha), seguito dai due compost organici, ACM e ACFA che hanno emesso valori simili di protossido di azoto (7.5 and 7.6 Kg N<sub>2</sub>O -N/ha per anno rispettivamente). La tesi trattata con Biochar e quella di controllo hanno emesso in un anno meno protossido rispetto alle tesi fertilizzate con azoto (3.3 e 2.8 Kg N<sub>2</sub>O -N/ha per anno rispettivamente).

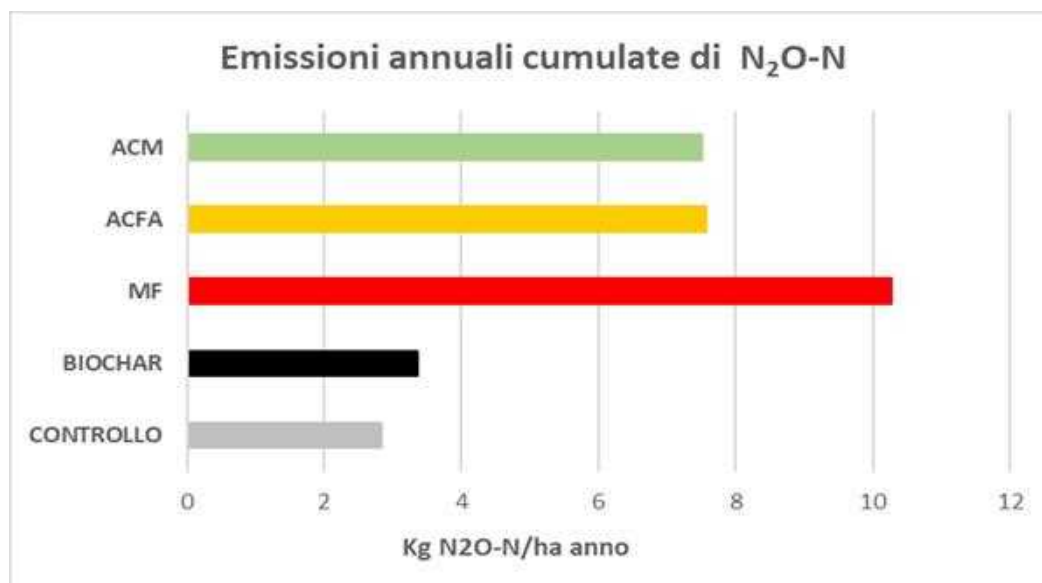


Figura 6. Emissioni annuali cumulate di N derivate da N<sub>2</sub>O per le diverse tesi (ACM: ammendante compostato misto; ACFA: ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare; MF: fertilizzante minerale).

Analizzando nel dettaglio le diverse tesi, nei plot fertilizzati con ammendanti compostati si assiste ad un picco di emissione di protossido a partire dal settimo giorno post fertilizzazione; dopo soli due giorni però le emissioni decrescono rapidamente per entrambe le matrici (figura 7 e 8). Nel caso di ACM, a partire dal ventiseiesimo giorno post fertilizzazione (metà luglio) le emissioni di N<sub>2</sub>O tendono ad approssimarsi ai livelli iniziali post fertilizzazione; diversamente per ACFA solo dopo 140 giorni dall'evento di fertilizzazione si osservano i primi valori di emissioni prossimi a quelli pre-fertilizzazione (primi di novembre).

Il plot trattato con fertilizzante minerale presenta invece due distinti picchi di emissione, di poco successivi a ciascun evento di fertilizzazione (figura 9). Come per gli altri due ammendanti organici, a partire dal settimo giorno post fertilizzazione si assiste a un incremento delle emissioni di protossido

di azoto, che però, contrariamente a quanto avviene per le altre due matrici, si protrae fino al nono giorno post fertilizzazione; solo dal tredicesimo giorno si assiste ad un calo nelle emissioni. Poiché la fertilizzazione minerale è avvenuta in due diversi momenti, anche in corrispondenza del secondo evento di fertilizzazione si assiste ad un vertiginoso aumento delle emissioni di  $N_2O$ , che però già dopo 5 giorni tornano a diminuire.

Nel plot trattato con Biochar e nel plot di controllo, non si sono invece registrati valori di emissione importanti, anche se si assiste comunque ad un lieve innalzamento dei flussi di  $NO_2$  sette giorni post trattamento, in concomitanza ad una elevata umidità del suolo, causata da intensi eventi precipitati che hanno colpito l'area di studio (figura 10 e 11).

Tutte le tesi fertilizzate hanno mostrato alti livelli di N minerale del suolo (ammonio + nitrato) durante la stagione di crescita fino ai primi giorni di ottobre (111 giorni dopo la fertilizzazione).

Al contrario, nella parcella trattata con Biochar e nel controllo il livello del suolo di entrambi gli ioni è rimasto basso per tutto il periodo di misurazione

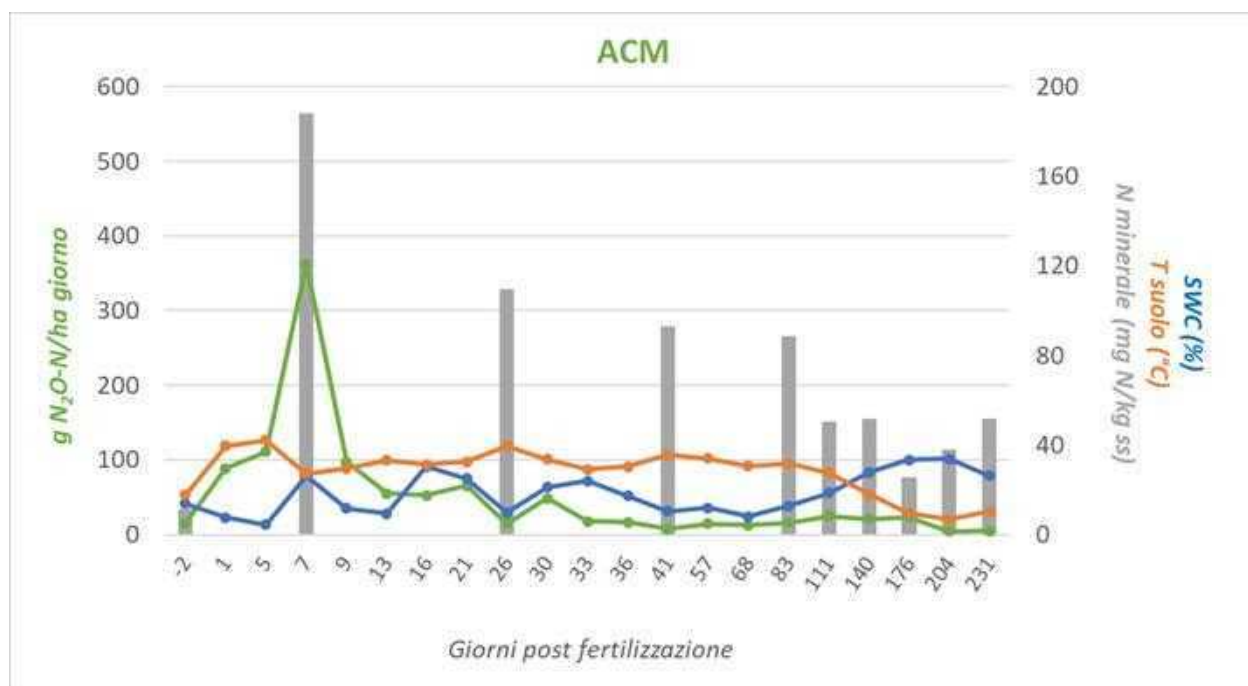


Figura 7. Plot trattato con ammendante compostato misto. In verde: andamento delle emissioni di  $N_2O$ . In blu: percentuale di contenuto di acqua nel suolo; In arancione: temperatura del suolo; In grigio: Azoto minerale nel suolo (dato dalla somma di  $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ).

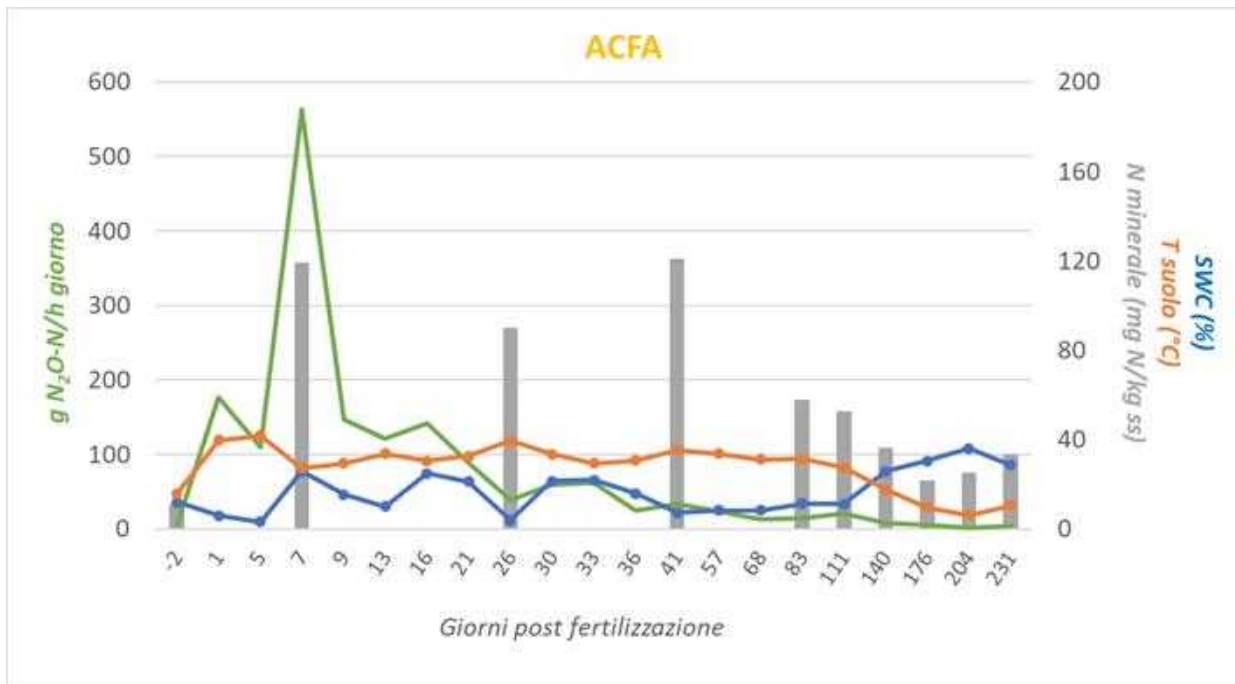


Figura 8. Plot trattato con ammendante compostato da scarti della filiera agroalimentare. In verde: andamento delle emissioni di N<sub>2</sub>O. In blu: percentuale di contenuto di acqua nel suolo; In arancione: temperatura del suolo; In grigio: Azoto minerale nel suolo (dato dalla somma di NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

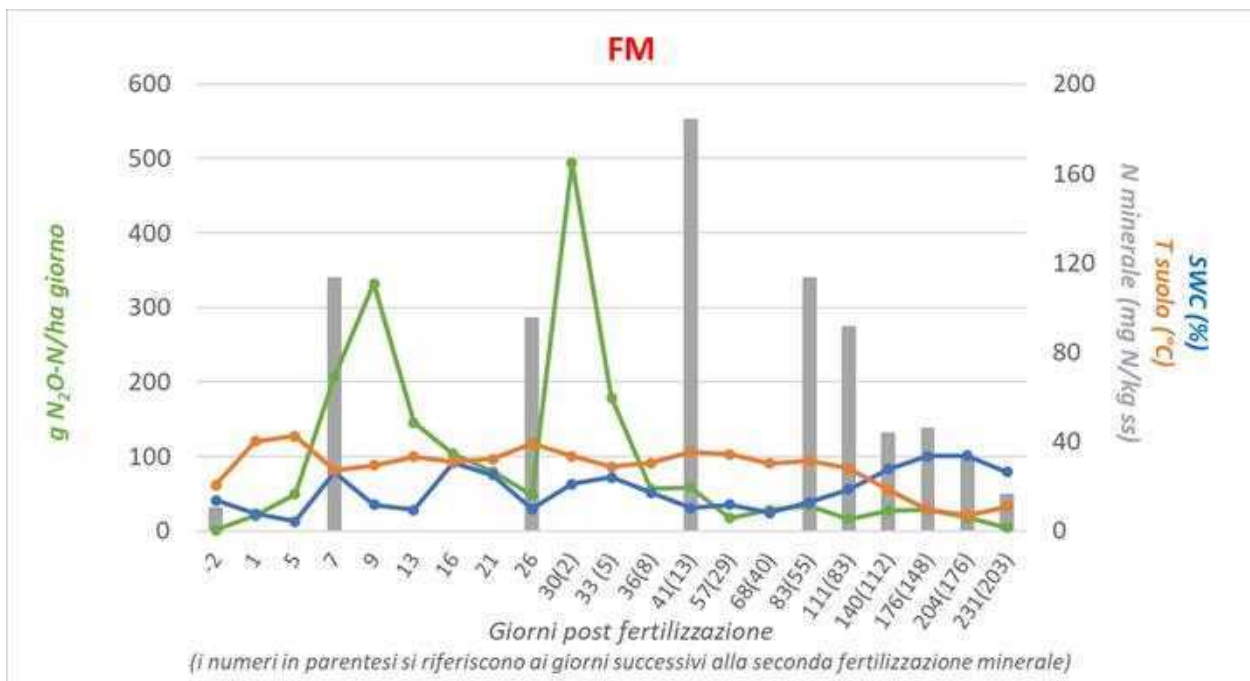


Figura 9. Plot trattato con fertilizzante minerale (urea). In verde: andamento delle emissioni di N<sub>2</sub>O. In blu: percentuale di contenuto di acqua nel suolo; In arancione: temperatura del suolo; In grigio: Azoto minerale nel suolo (dato dalla somma di NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

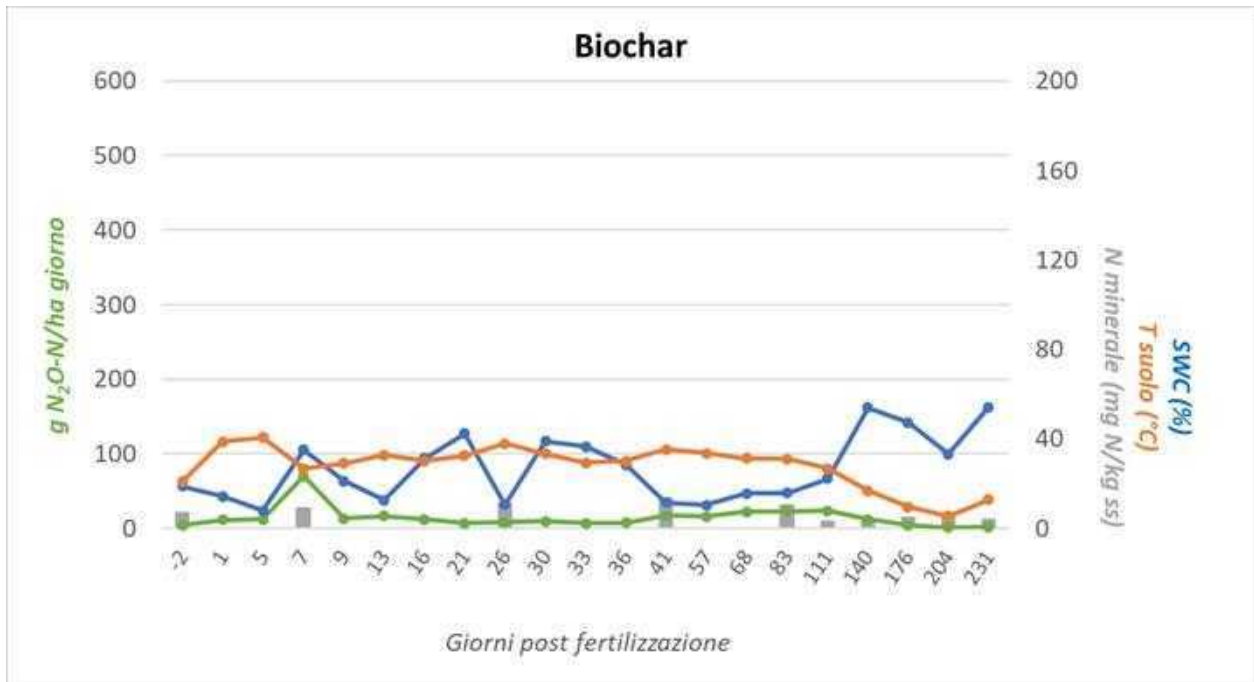


Figura 10. Plot trattato con Biochar. In verde: andamento delle emissioni di  $\text{N}_2\text{O}$ . In blu: percentuale di contenuto di acqua nel suolo; In arancione: temperatura del suolo; In grigio: Azoto minerale nel suolo (dato dalla somma di  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ).

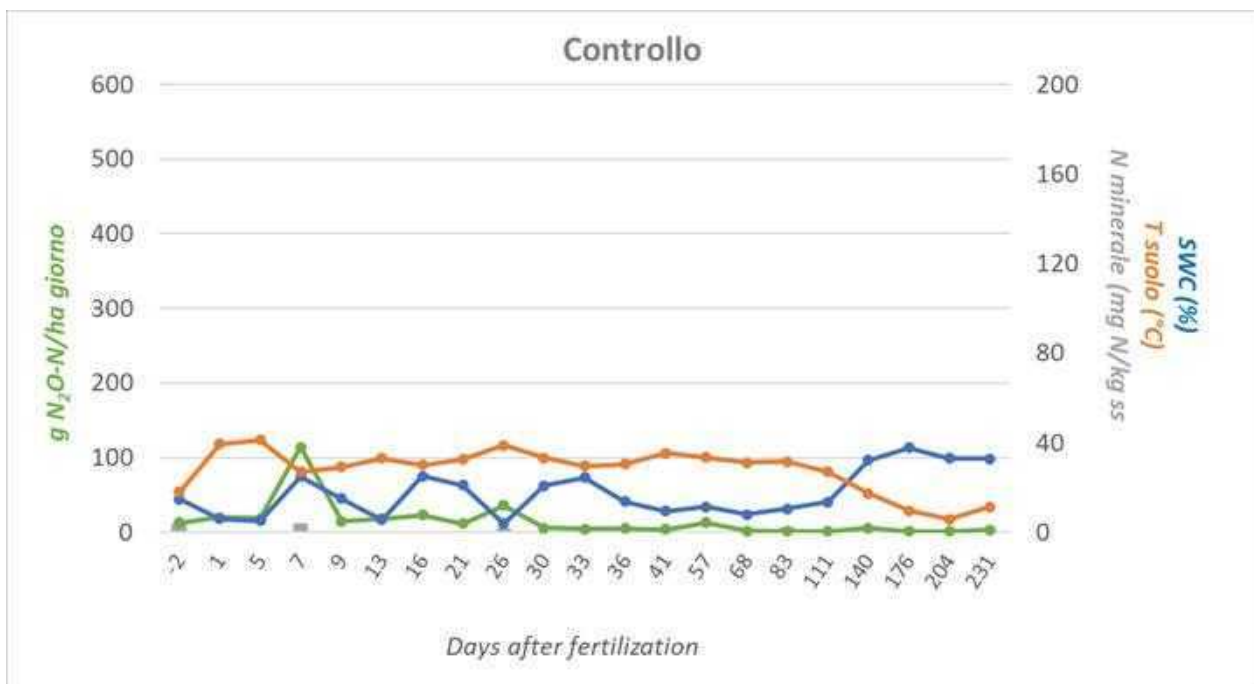


Figura 11. Plot di controllo. In verde: andamento delle emissioni di  $\text{N}_2\text{O}$ . In blu: percentuale di contenuto di acqua nel suolo; In arancione: temperatura del suolo; In grigio: Azoto minerale nel suolo (dato dalla somma di  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ).

## Conclusioni

Sicuramente l'utilizzo di fertilizzanti organici come il compost, caratterizzati da un rilascio più lento e controllato dell'azoto nel suolo, causa minori perdite di N per volatilizzazione e, di conseguenza, una minor emissione di N<sub>2</sub>O in atmosfera, con importanti ripercussioni sulle emissioni di GHG dovute alle coltivazioni.

Sebbene però da un lato si possa affermare che la concentrazione di N minerale nel suolo è un fattore determinante nelle emissioni di N<sub>2</sub>O, sembra che anche la concomitanza di condizioni microclimatiche favorevoli all'attività microbica, come elevata umidità del suolo e temperature del suolo comprese tra 27°C e 30°C, siano fattori chiave nell'aumento delle emissioni.

## Bibliografia

Di Virgilio N., Facini O., Nocentini A., Nardino M., Rossi F., Monti A., 2019: Four-year measurement of net ecosystem gas exchange of switchgrass in a Mediterranean climate after long-term arable land use. *GCB Bioenergy*, 11 (3), 466-482. (<https://doi.org/10.1111/gcbb.12523>).

Nardino M., Pernice F., Rossi F., Georgiadis T., Facini O., Motisi A., Drago A., 2013: Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard. *Photosynthetica*, 51(1), 63-74. DOI: 10.1007/s11099-012-0079-6

Rossi F., Chieco C., Virgilio N.D., Georgiadis T., Nardino M., 2021. Is Agriculture Always a GHG Emitter? A Combination of Eddy Covariance and Life Cycle Assessment Approaches to Calculate C Intake and Uptake in a Kiwifruit Orchard. *Sustainability*, 13, 6906. (<https://doi.org/10.3390/su13126906>).

## AZIONE 4 – sperimentazione di un bioreattore per il trattamento delle acque di drenaggio

(Partner coinvolti CER, az.Agronoce)

Nell'ambito del progetto, presso il sito sperimentale, è stato realizzato un intervento finalizzato alla costituzione di un bioreattore per il trattamento delle acque di drenaggio del noceto. L'obiettivo dell'intervento è migliorare la qualità delle acque di drenaggio, con particolare riferimento alla riduzione degli inquinanti azotati e fosfati, contribuendo così a limitare l'immissione di sostanze inquinanti nelle falde acquifere. Il bioreattore è progettato per intercettare le portate della rete di drenaggio aziendale in modalità off-line<sup>1</sup>, convogliarle e farle transitare all'interno del manufatto per un trattamento mirato che riduca la concentrazione di nitrati e fosfati nelle acque. La struttura è posizionata ai margini dell'impianto arboreo (Fig. 1 e Fig. 2) ed è stata dimensionata in base a specifiche indagini agro-idrologiche condotte per l'area di studio.

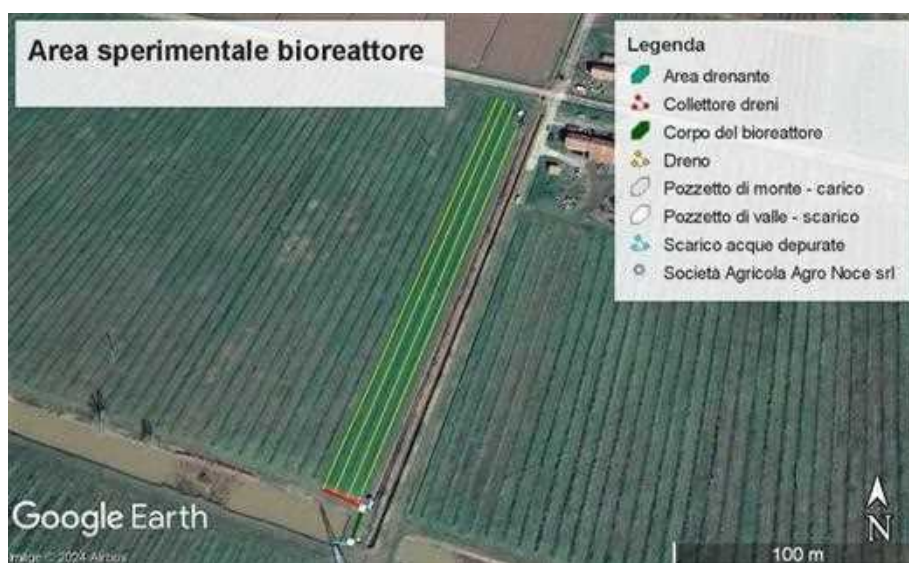


Figura 1 Area sperimentale bioreattore

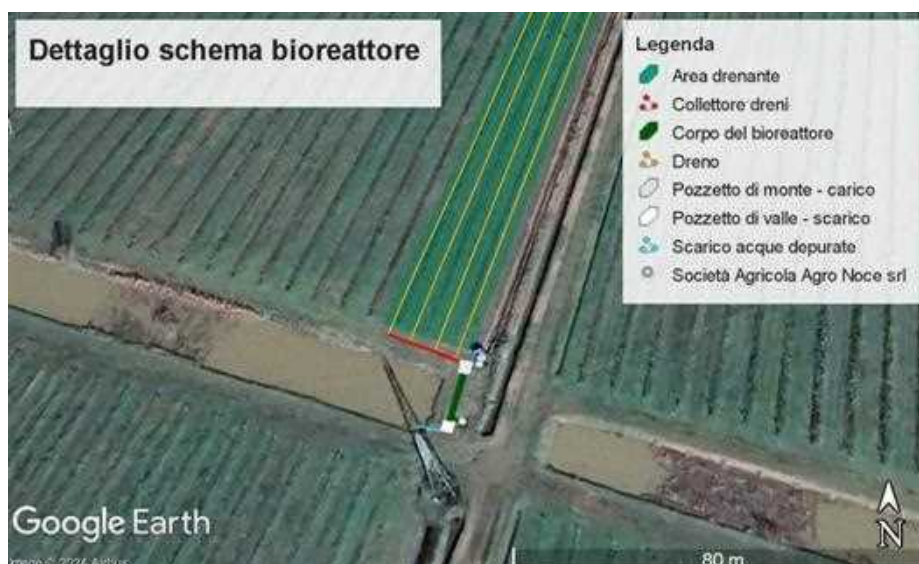


Figura 2 Schema bioreattore

<sup>1</sup> I bioreattori possono essere realizzati in-line, sfruttando le sezioni di scavo dei canali a pelo libero già esistenti, oppure off-line, realizzando un apposito scavo, opportunamente dimensionato, in aree ai margini del campo ed adiacenti al canale di recapito finale delle acque di drenaggio.

## Caratteristiche ambientali dell'areale

- **Clima dell'areale**

Per caratterizzare il clima dell'areale sono stati presi in considerazione i valori di temperatura media giornaliera e pioggia cumulata giornaliera a partire dall'anno 2000 ad oggi. I valori presi in considerazione sono riferiti al punto di indagine tramite interpolazione (poligoni di *Thiessen*) a partire dalle rilevazioni delle stazioni meteo più vicine (Opera Po, Diamantina, Mirabello, Finale Emilia).

Le precipitazioni sono distribuite in modo abbastanza uniforme durante l'anno, con un incremento nei mesi autunnali ed un totale annuo intorno ai 640 mm. Le temperature medie mensili risultano variabili, dai 3,2°C di gennaio ai 26,50°C di luglio (*Tabella 1*).

*Tabella 1 Temperatura e precipitazioni medie dal 2000 ad oggi.*

Mese	T, MEDIA	PIOGGIA
GEN	3,2	50,7
FEB	5,9	34,3
MAR	10,2	65,8
APR	14,5	65,9
MAG	19,6	69,8
GIU	24,2	66,8
LUG	26,5	29,7
AGO	26,2	27,4
SET	20,9	39,2
OTT	15,4	69,4
NOV	9,9	65,4
DIC	4,4	55,6

I dati di precipitazione vengono di seguito rappresentati tramite climogramma *Bagnolus-Gaussen* (fig. 3) che fornisce una rappresentazione schematica dei caratteri termopluviometrici di una stazione ed individua con semplicità il periodo secco. Tale climogramma viene ottenuto graficando le temperature e le piovosità medie mensili, legando le rispettive scale (1 °C = 2 mm) in modo da evidenziare graficamente i periodi di carenza idrica, secondo la definizione di "aridità" proposta da Gaussen (1963), per la quale si verificano condizioni di aridità quando il rapporto p/t è inferiore a 2, cioè quando la quantità di precipitazioni (in mm) assume un valore numerico inferiore al valore numerico pari al doppio della temperatura corrispondente. Dall'analisi effettuata è stato valutato un periodo secco di 4 mesi (GIU-SET).

Il clima è stato classificato utilizzando l'indice di *De Martonne*, che prende in considerazione le precipitazioni medie annue (P) in mm e le confronta con la temperatura media annua (T) in °C che si somma ad una base di 10°C come nella formula che segue:

$$Ia = \frac{P}{T + 10}$$

Si ottiene un indice di 25,52 che per tale classificazione corrisponde ad un clima **sub umido** con irrigazione da considerare opportuna.



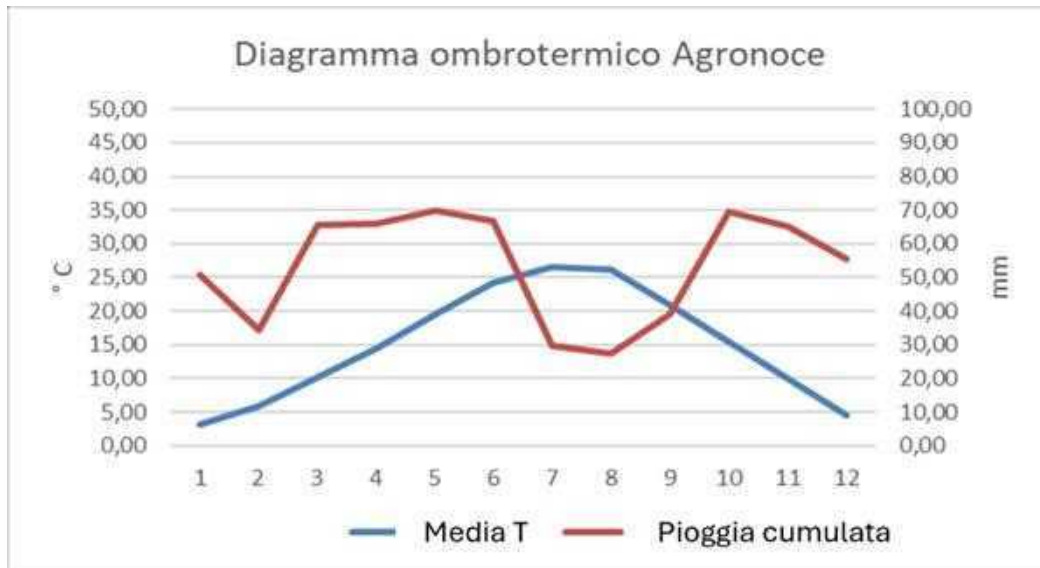


Figura 3 Diagramma ombrotermico di Bagnouls e Gausson

- **Caratteristiche idrologiche**

La giacenza media della falda è stata valutata prendendo in considerazione le rilevazioni delle altezze di falda nelle stazioni di riferimento più vicine (34FE, 01FE, 02FE, 42FE, 04FE, 34MO). Nei diversi anni presi in esame, sono state osservate medie di giacenza annuale di falda tra 209 e 240 cm. Nei tre piezometri più vicini (01FE, 02FE e 034FE) si sono registrati rispettivamente 10, 171 e 50 giorni in cui la falda è arrivata a meno di 150 cm di profondità dal piano di campagna. L'altezza della falda, insieme alla struttura del terreno, determina una differente propensione per i nitrati a percolare in profondità nel suolo. Durante lo stesso periodo di monitoraggio della falda, si sono registrate quattro giornate con una piovosità superiore a 50 mm al giorno. Il periodo preso in esame è stato: per le stazioni 01FE e 02FE dal 17 dicembre 2020 al 8 ottobre 2023, mentre per quanto riguarda la stazione 034FE, dal 4 agosto 2020 al 14 febbraio 2024.

Nella *figura 4* vengono mostrate le distanze dei piezometri rispetto al punto di costruzione del bioreattore, mentre nelle *figure 5, 6 e 7* viene riportato l'andamento della falda nei rispettivi punti di rilievo. La profondità media delle falde, che varia tra 209 cm e 240 cm, indica che il livello delle acque sotterranee può essere influenzato dalle condizioni meteorologiche e dalle attività agricole. I dati coprono periodi di monitoraggio lunghi, fornendo una buona base per comprendere le variazioni stagionali e annuali delle condizioni delle falde, cruciale per la progettazione di un bioreattore operativo tutto l'anno.



Figura 4 Distanze piezometri dal sito d'interesse

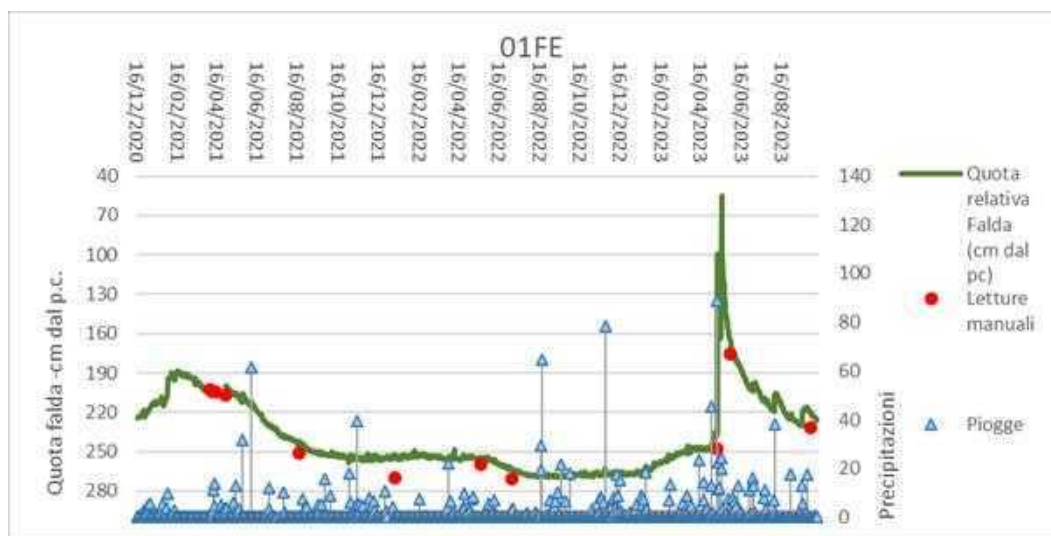


Figura 5 Andamento del tempo del livello di falda presso la Stazione 01 FE

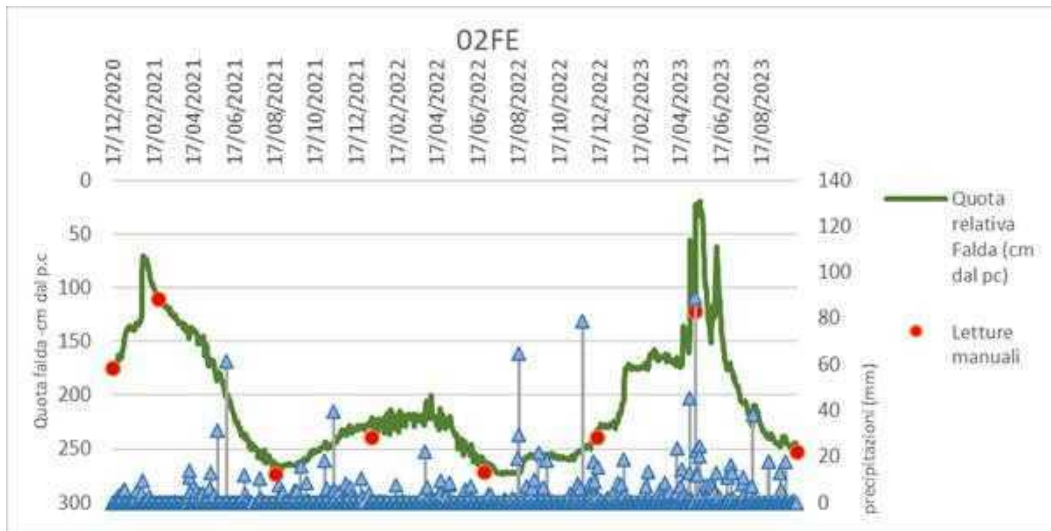


Figura 6 Andamento del tempo del livello di falda presso la Stazione 02FE

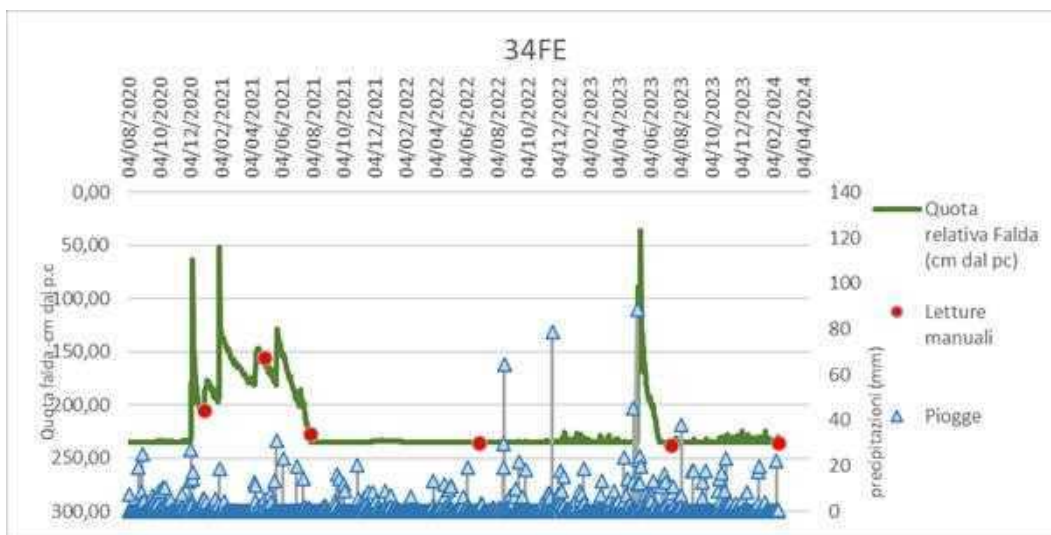


Figura 7 Andamento del tempo del livello di falda presso la Stazione 34FE

Nella *Tabella 2* sono riportati i valori di  $\text{NO}_3^-$  misurati in 3 punti di campionamento in quattro momenti distinti. È possibile notare un picco di 85 mg/l di  $\text{NO}_3^-$  nel rilievo del 27 luglio 2023.

*Tabella 2* Analisi acque di falda

Data prelievo	Stazione	H falda cm dal p.c.	Ecw campo $\mu\text{S/cm}$	Ecw Lab $\mu\text{S/cm}$	T° prelievo °C	pH log[H]	N-NO3 mg/l	NO3- mg/l
27/07/2023	34MO	177	2190	2171	20	7,03	19,20	85
05/02/2024	04FE	192	2790	2897	12,5	7,05	0,16	0,69
30/01/2024	34MO	174	3190	3265	10,6	7,65	8,57	37,94
27/05/2024	02FE	157	1432	1480	16,8	7,19	2,74	12,13

È stata determinata la **densità apparente** del terreno, parametro che descrive la densità complessiva della matrice solida includendo sia i solidi che gli spazi vuoti. Tale valore è fondamentale per valutare la compattezza del suolo e le caratteristiche di permeabilità e ritenzione idrica. Per la sua determinazione si è proceduto utilizzando cilindri in ferro (figura 8), effettuando uno scavo alle diverse profondità da considerare (20-30 cm, 30-40 cm e 40-50 cm).



Figura 8 Cilindri a volume noto per la determinazione del peso specifico apparente del terreno

Il cilindro viene inserito nel suolo utilizzando un martello con testa in polietilene per ridurre al minimo le vibrazioni, eventuale fonte di disturbo. Successivamente, il cilindro viene essiccato in stufa a 105°C per la determinazione del peso secco. Scalato il peso del cilindro, il peso netto del terreno viene rapportato al volume, determinando così il peso specifico apparente (PSA) (Tab. 3).

Tabella 3 Misurazioni effettuate per la determinazione del peso specifico apparente del suolo

cm	volume cilindro (dm <sup>3</sup> )	peso cilindro (g)	PU netto (g)	PS netto (g)	PSA (g/cm <sup>3</sup> )
20 - 30	0,70	725,00	1198,35	994,24	1,42
30 - 40	0,70	726,00	1244,53	1004,08	1,43
40 - 50	0,70	728,00	1255,58	984,64	1,41

Il parametro densità apparente del terreno ( $D_{\text{apparente}}$ ), viene mediato per le tre misurazioni effettuate e risulta essere importante per descrivere le caratteristiche idrologiche ed idrodinamiche del terreno. In base alle misurazioni effettuate, il dato medio di densità apparente riscontrato è risultato di 1,42 g cm<sup>-3</sup>, classificabile come tessitura **medio-pesante**.

È stata calcolata la porosità (P) del terreno secondo la formula:

$$P = \frac{D_{\text{reale}} - D_{\text{apparente}}}{D_{\text{reale}}} \times 100$$

Il parametro  $D_{reale}$  viene di norma fissato a  $2,60 \text{ g cm}^{-3}$  e pertanto, risolvendo il calcolo è risultata una porosità del 40%, in linea con le caratteristiche di tessitura del suolo espresse poc'anzi, ovvero **media-pesante**. Di seguito si riporta una classificazione ripresa dalla bibliografia in materia (MATTM, 2018, Manuale di autovalutazione del suolo, Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica).

*Tabella 4 Valutazione suolo in base alla densità apparente e porosità (MATTM, 2018)*

Terreno	Densità reale ( $\text{g/cm}^3$ )	Densità apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	Porosità ( $\text{cm}^3/\text{cm}^3$ )
suoli coltivati non organici, 0-30 cm:			
tessitura media-pesante	2,60	1,4 - 1,7	0,46 - 0,35
tessitura leggera	2,60	0,8 - 1,4	0,69 - 0,46
sottosuoli e roccia madre	2,65	1,5 - 1,8	0,43 - 0,32
pascoli e suoli forestali, orizzonte A	2,40	0,8 - 1,2	0,67 - 0,50
suoli torbosi	1,40	0,1 - 0,3	0,93 - 0,79

Sono state inoltre calcolate, a partire dalle caratteristiche tessiturali e di peso specifico apparente, tramite l'utilizzo di una pedofunzione di trasferimento (van Genuchten), le costanti idrologiche del terreno considerato. Tutte le caratteristiche determinate vengono di seguito riportate, unitamente al valore di umidità percentuale corrispondente e alla conseguente acqua disponibile che ne deriva.

*Tabella 5 Costanti idrologiche del terreno e relativa acqua disponibile*

Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)	PSA ( $\text{g/cm}^3$ )	Porosità	CC (%vol)	PA (%vol)	AD (%)
1	70,1	28,9	1,42	1,23	47	23	24

Considerando il posizionamento superficiale dei dreni a una profondità di 80 cm e la necessità di garantire le corrette pendenze per il convogliamento delle acque di drenaggio, è stato stabilito di collocare il bioreattore nelle immediate vicinanze del recapito di scolo, sfruttando un'area adibita al transito dei mezzi e adiacente al macero collettore, in maniera tale da ottimizzare l'intercettazione dei flussi.

Questa disposizione assicura che le acque drenate confluiscono agevolmente nel bioreattore e, successivamente, defluiscono in modo efficace all'interno del macero.

La portata massima di ciascun dreni è stata calcolata utilizzando la formula di Chezy. Tenendo conto del valore ottenuto e della dimensione medio-piccola prevista per il bioreattore, è stato deciso di convogliare la portata di quattro dreni all'interno del pozzetto di monte del bioreattore, garantendo un'efficace gestione del flusso delle acque.

#### **Descrizione/costituzione del bioreattore**

I bioreattori sono sistemi di trattamento passivo che possono essere utilizzati per rimuovere nitrati sia da acque di deflusso superficiale che da falde superficiali. Questi sistemi di trattamento si caratterizzano per costi di realizzazione relativamente bassi (poche migliaia di euro) garantendo elevati livelli di abbattimento dei nitrati contenuti nelle acque trattate. Possono essere realizzati ai margini delle aree coltivate e possono essere ricoperti in superficie con terreno, senza quindi intralciare le lavorazioni e le operazioni colturali.

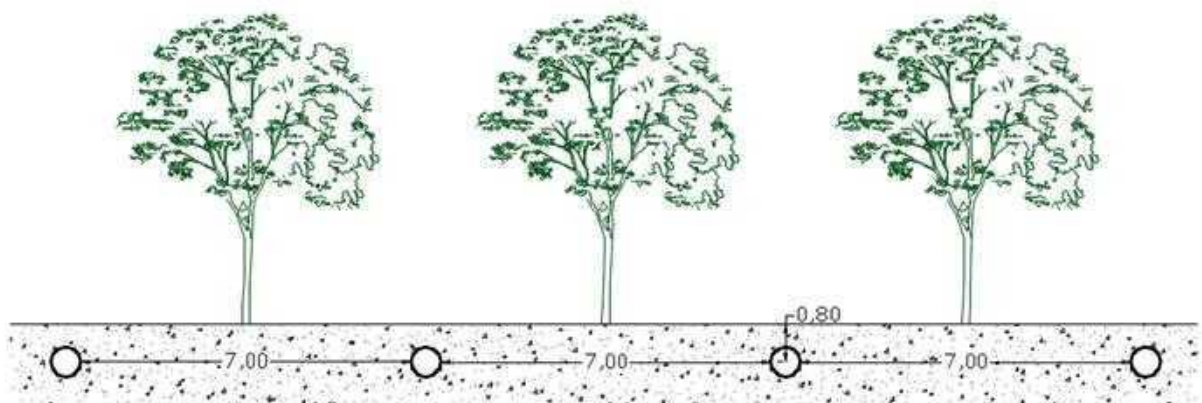
I bioreattori si basano sulla stimolazione dei naturali processi biologici degradativi e, se correttamente progettati e gestiti, possono garantire ottimi rendimenti di rimozione dei contaminanti. Nel caso di bioreattori per i nitrati, la progressiva riduzione dei nitrati si ottiene stimolando l'attività di batteri denitrificanti eterotrofi attraverso materiali organici ad elevato rapporto C:N. La biomassa costituita da colonie di batteri a metabolismo eterotrofo, naturalmente presente nel terreno e nella parte corticale del materiale di riempimento, nelle opportune condizioni di processo ( $ORP \leq 300$  mV;  $pH=5.5-8.0$ ;  $T 15-35^{\circ}C$ ;  $O_2 \leq 4.5$  mg/L) utilizza i nitrati per ossidare il substrato carbonioso, che funge sia da fonte di energia per le attività metaboliche della biomassa, sia da donatore di elettroni. La catena di reazioni, in cui intervengono enzimi catalizzatori specifici, nelle condizioni ideali di processo, converte i nitrati in azoto molecolare.

I bioreattori possono essere realizzati in-line, sfruttando le sezioni di scavo dei canali a pelo libero già esistenti, oppure off-line, realizzando un apposito scavo, opportunamente dimensionato, in aree ai margini del campo ed adiacenti al canale di recapito finale delle acque di drenaggio. In questo caso il bioreattore è costituito off-line, con intercettazione e deviazione del flusso di drenaggio verso l'impianto depurante.

Sulla base delle considerazioni agro-idrologiche precedentemente descritte, il progetto ha previsto la costituzione ex-novo di un bioreattore destinato a raccogliere le acque di drenaggio di una parte della superficie aziendale con la finalità di ridurre il carico di nitrati e fosfati e pertanto migliorare qualitativamente lo stato delle acque di drenaggio. L'intervento è stato progettato per ridurre progressivamente (nel medio periodo) le concentrazioni di nitrati in falda facendo confluire parte dei volumi drenati all'interno del bioreattore.

La superficie scolante è di circa 0,72 ha (4 filari di circa 260 m ciascuno), in cui il suolo è stato gestito con una matrice organica ad alto rilascio di nitrati (compost con fanghi), tra i confronti previsti nell'azione 2, in modo da "stressare" la tecnologia e verificarne l'efficienza nelle peggiori condizioni di dilavamento dei nitrati.

Sono stati presi in considerazione 4 dreni di DN 63 mm, ad una profondità dal piano di campagna di 80 cm. Il sistema di drenaggio è costituito da dreni tubolari interrati. Lo schema di drenaggio viene rappresentato all'interno della *figura 9* che segue.



*Figura 9 schema posizionamento del drenaggio aziendale*

È stato necessario creare le pendenze appropriate per raccogliere le acque di drenaggio, farle confluire all'interno del bioreattore e farle successivamente defluire all'interno del macero. Dopo aver verificato la sussistenza delle quote altimetriche necessarie (tabella 6), si è concordato di posizionare il bioreattore al termine del fosso di guardia e in prossimità del canale adduttore.

Tabella 6 quote dei punti di efflusso. Progressione nella direzione del bioreattore

Dreno	Quota [m]
1	2.27
2	2.30
3	2.34
4	2.37
<b>Pozzetto di monte</b>	2,20

È presente un **pozzetto di monte** all'interno del quale confluiscono i volumi di drenaggio dei 4 dreni intercettati. All'interno del pozzetto è possibile definire l'altezza alla quale viene innescato il moto dell'acqua all'interno del **corpo del bioreattore** ed infine è presente un **pozzetto di valle** all'interno del quale è definibile l'altezza di valle che genera il dislivello e pertanto il gradiente e la velocità con cui l'acqua transita nel mezzo poroso. Come mezzo poroso è stato scelto di utilizzare cippato di legno che, anche in relazione ad altri siti in cui è stato impiegato con successo, genera una biofiltrazione nelle acque di transito migliorandone la qualità.

Tutte le componenti che hanno permesso la realizzazione del manufatto vengono di seguito descritte:

- **Pozzetto di monte**

A monte del bioreattore è posizionato un pozzetto (Fig. 10), le cui dimensioni sono 80 cm sia di larghezza che in lunghezza, costituito da una luce di entrata dal collettore, una luce che porta l'acqua all'interno del bioreattore ed una terza luce che riporta l'acqua in eccesso al canale di gronda.

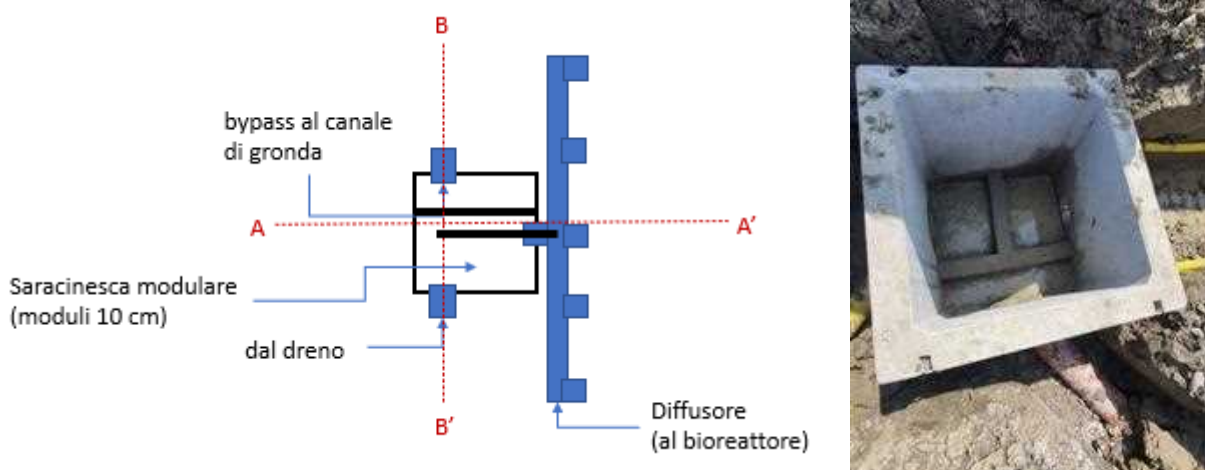


Figura 10 Pozzetto a monte del bioreattore: a sinistra uno schema con vista dall'alto e a sx il particolare costruttivo

Inoltre, all'interno del pozzetto, è presente una saracinesca ad altezza modulabile (Fig. 11), che può essere regolata fino a 50 cm.

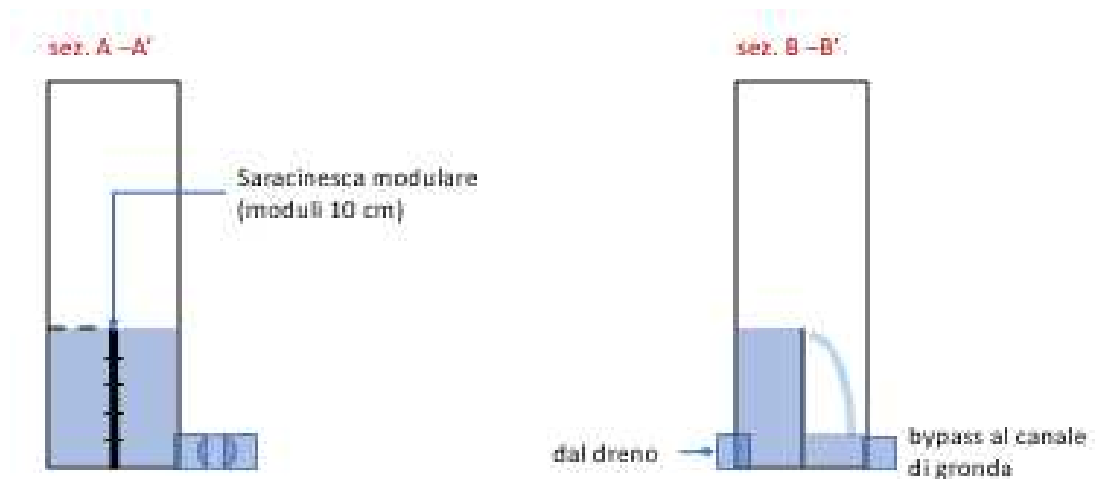


Figura 11 Sezioni trasversali del pozzetto di monte

Questa saracinesca separa la luce d'ingresso al pozzetto dal collettore alla luce di uscita (bypass) che riporta l'acqua al macero. La regolazione dell'altezza della saracinesca è fondamentale per controllare la portata dell'acqua che entra nel bioreattore. Regolando l'altezza della saracinesca, è possibile controllare la portata dell'acqua e, di conseguenza, l'efficacia della filtrazione: con una saracinesca più alta si riduce la portata, diminuendo la velocità del flusso d'acqua e aumentando il tempo di filtrazione, mentre, con una saracinesca più bassa viene incrementata la portata, incrementando la velocità del flusso d'acqua e riducendo il tempo di filtrazione. Sulla base del medesimo pozzetto è stato creato un setto per i sedimenti con un'altezza pari a 15 cm con lo scopo di fermare le particelle più grossolane in sospensione non permettendogli di seguire il flusso ed entrare all'interno del bioreattore.

### Pozzetto di valle

Il pozzetto a valle ha le stesse dimensioni del pozzetto a monte, misurando 80x80 cm, ma presenta solo due aperture: una per l'ingresso dal bioreattore al pozzetto e una per l'uscita dal pozzetto al macero adiacente. Inoltre, anche il pozzetto a valle è dotato di una saracinesca modulare che può essere regolata fino a un'altezza massima di 30 cm (Fig. 12).

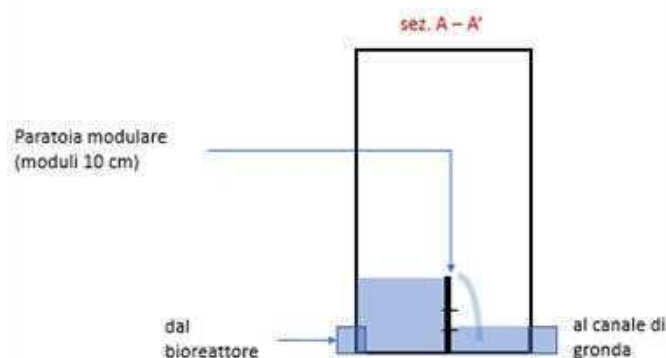


Figura 12 Sezione trasversale del pozzetto di valle



I pozzetti in entrata ed in uscita servono a regolare le portate in ingresso, oltre che il gradiente idraulico imposto fra entrata ed uscita del bioreattore. Il gradiente, insieme alla conducibilità alla saturazione del materiale drenante, determinano la velocità media di avanzamento dell'acqua e, quindi, i tempi di residenza (tempo di ritenzione idraulica) della soluzione da trattare all'interno del bioreattore. I tempi di residenza non devono essere troppo bassi per evitare che la catena di reazioni di denitrificazione si interrompa prima della completa trasformazione in azoto molecolare, né troppo alti per evitare che i batteri, consumando tutto il nitrato presente nell'acqua all'interno del bioreattore attacchino anidride carbonica e solfati con possibile produzione di metano e acido solfidrico. In questo senso, le strutture di regolazione svolgono un ruolo determinante nel controllo delle condizioni di funzionamento del bioreattore.

Una volta che il bioreattore è entrato in funzione ed il mezzo poroso all'interno si è saturato, occorrono 2-3 ore perché si creino le condizioni di anaerobiosi ideali per il processo di denitrificazione ( $OD < 0.2 \text{ mg/l}$ ).

La semplicità del principio di funzionamento di tali sistemi ha un'importante ricaduta in termini economici; essi, infatti, non richiedono particolari costi di manutenzione e di esercizio e vengono alimentati sfruttando i gradienti idraulici naturalmente presenti attraverso il sistema di drenaggio.

### Corpo del bioreattore

Alla base del bioreattore sono stati effettuati due scavi di collegamento per l'ingresso e l'uscita agli estremi del bioreattore nei quali sono stati posizionati le seguenti condotte: 3 per il pozzetto a monte (inlet, bypass e drenaggio) e 2 per il pozzetto a valle (outlet e drenaggio) (Fig. 13) Per il bioreattore è stata realizzata uno scavo (Fig. 14) di 120 cm di profondità, 1290 cm di lunghezza e 80 ÷ 100 cm di larghezza.

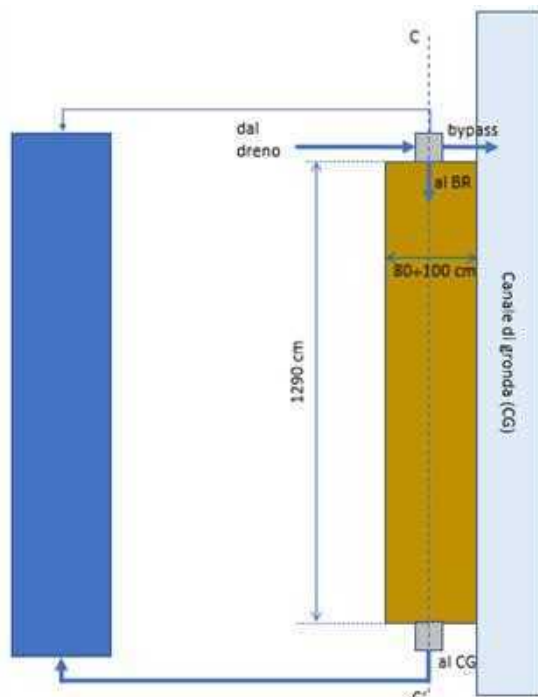


Figura 13 schema dei flussi all'interno del corpo del bioreattore



Figura 14 Scavo per la costituzione del bioreattore

È stato posizionato un dreno tra il bioreattore e l'adduttore, così come lungo gli scavi di collegamento. Questo intervento mira a controllare e dirigere eventuali infiltrazioni da diverse parti dell'impianto. Inoltre, si è proceduto con l'impermeabilizzazione dell'interno della buca (Fig. 15), insieme alla saldatura di raccordo con

i pozzetti. In questo modo, una volta riempita la buca con il mezzo poroso, il corpo del bioreattore è stato sigillato. Questa fase è cruciale per garantire che non ci siano perdite o dispersioni dal corpo del bioreattore verso l'esterno.



*Figura 15 posa tessuto impermeabilizzato per copertura corpo del bioreattore*

Lo scavo è stato riempito con cippato fino al riempimento dello scavo (Fig. 14).



*Figura 16 introduzione del materiale poroso costituente il corpo del bioreattore*

Successivamente, sono stati installati due piezometri per monitorare sia le condizioni idrogeologiche tra il pozzetto di entrata e il pozzetto di uscita, sia per il controllo periodico dei principali parametri chimico-microbiologici all'interno del bioreattore mediante campionamento. I piezometri consentono anche di effettuare verifiche periodiche della conducibilità alla saturazione ( $K_s$ ) del materiale di riempimento, che tende naturalmente a ridursi a causa dell'ostruzione dei pori. Infine, il cippato è stato ricoperto con un materiale geotessile, tessuto non tessuto (TNT).

Infine, l'intera area è stata ricoperta con terreno, completando così il processo di protezione e integrazione dell'impianto nel contesto ambientale circostante. Questo strato finale non solo migliora l'estetica del sito, ma contribuisce anche a stabilizzare le strutture sottostanti.

Di seguito viene infine riportata, all'interno della figura 17, la sezione trasversale del bioreattore, commentata nelle parti che lo compongono e rappresentata nelle condizioni di funzionamento.

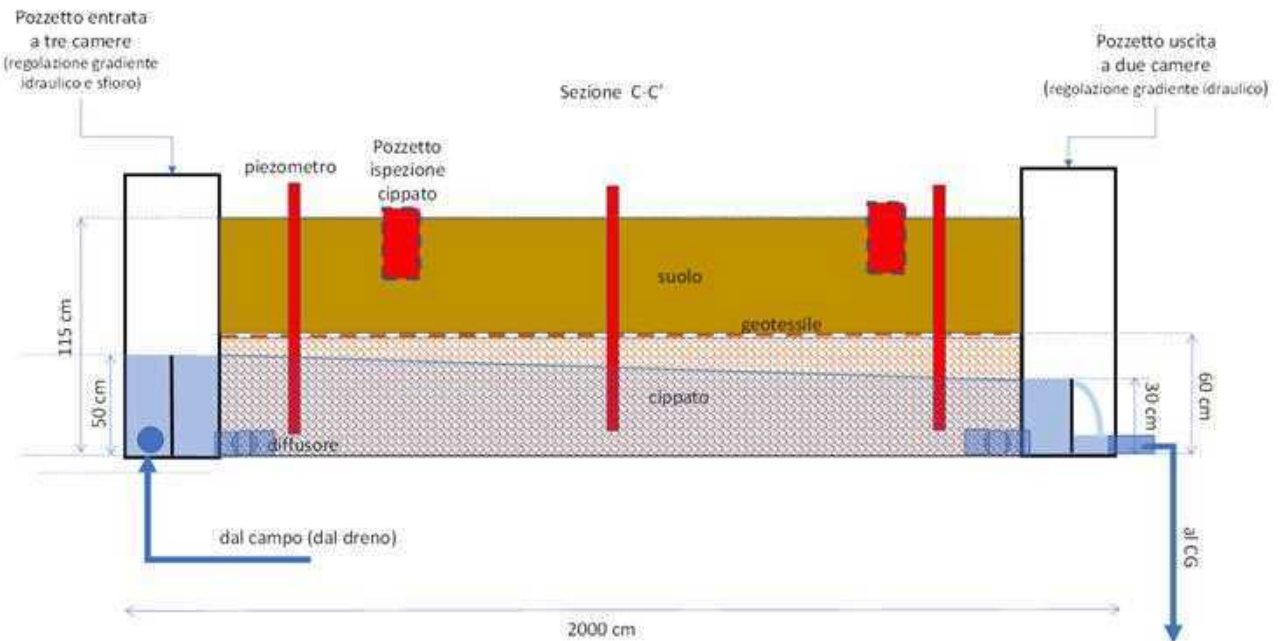


Figura 17 Sezione trasversale del bioreattore in condizioni d'esercizio

### Caratterizzazione idraulica e di efficienza di abbattimento del bioreattore

Sono state testate in campo le caratteristiche idrauliche e di efficienza di abbattimento dei nitrati simulando un evento di pioggia conseguente alla distribuzione in campo di azoto.

L'attività ha previsto innanzitutto la caratterizzazione idraulica del bioreattore per determinare il coefficiente di conducibilità idraulica, essenziale per stabilire la velocità di scorrimento dell'acqua all'interno del bioreattore e modularla secondo le necessità. La seconda fase ha consentito di misurare la capacità del bioreattore a materiale organico di abbattere le quantità di azoto in una situazione estrema, ossia in acque con alte concentrazioni di nitrati.

Sfruttando un serbatoio di 10 mc (figura 18) per effettuare il carico d'acqua all'interno del pozzetto di monte, sono state modulate le paratoie su differenti livelli in maniera tale da poter effettuare le misurazioni con differenti gradienti idraulici misurando le portate poi in uscita (fig. 19) da riferire a quelle in ingresso poiché non vi sono altri punti di uscita della portata (bioreattore impermeabile). Inoltre, all'interno della soluzione è stato inserito un quantitativo noto di Acido Nitrico, impostando la concentrazione in ingresso. L'evoluzione delle concentrazioni è stata misurata in maniera analitica (fig. 20) poi durante il percorso (pozzetto in ingresso, piezometri in successione e pozzetto in uscita) in maniera tale da verificare l'abbattimento in condizioni d'esercizio.



*Figura 18 Tank utilizzato per l'introduzione dei volumi all'interno del bioreattore*



*Figura 19 Misura in campo della portata in uscita*



*Figura 20 Misurazione delle concentrazioni in uscita con kit per indagine azoto e spettrofotometro (DR1900 Hach Lange)*

### **Caratterizzazione idraulica del bioreattore**

Nella prima parte del rilievo è stata determinata la caratterizzazione idraulica del bioreattore. Sono quindi stati effettuati diversi rilievi della portata del bioreattore con diverse altezze delle paratoie nei pozzetti di entrata e di uscita dello stesso. I rilievi sono stati così impostati: all'interno del pozzetto in entrata è stata

immessa acqua da un canale di bonifica limitrovo al bioreattore simulando quindi uno sgrondo dei dreni conseguente ad un evento piovoso intenso, mantenendo costante la portata in ingresso sono state modificate le altezze della paratoie in uscita, mantenendo costante quella in entrata (fissa a 75 cm), alzando progressivamente quelle in uscita partendo da 25cm fino ad arrivare a 45cm. Successivamente è stata effettuata una prova abbassando il livello del pozzetto in entrata e mantenendo a 45 cm quello in uscita. Attraverso la misurazione della quantità di acqua nello scarico di uscita del bioreattore in un tempo noto ne è stata calcolata quindi la portata. Per ogni livello della paratoia sono state fatte più misurazione (Tab. 7), la prima 5 minuti dopo la tracimazione dell'acqua nella paratoia del pozzetto in uscita e altre due 10 e 15 minuti successivi alla prima misurazione, in modo tale da accertarsi che le misure corrispondessero al bioreattore in pieno regime.

Tabella 7 Rilievi caratterizzazione idraulica (P1 e P2 = piezometro 1 e 2; T0, T1 e T2 = 5, 15 e 20 minuti dopo l'innalzamento della paratoia).

Ingresso	75 cm	Uscita	25 cm
	Secondi	Litri	L/S
Rilievo T0	3,39	4,7	1,39
Rilievo T1	4,11	5,6	1,36
Rilievo T2	4,12	6	1,46
		Media	1,40
P1	68,5 cm	P1	81 cm

Ingresso	75 cm	Uscita	30 cm
	Secondi	Litri	L/S
Rilievo T0	5,36	6	1,12
Rilievo T1	6,4	6,8	1,06
Rilievo T2	5,12	5,8	1,13
		Media	1,10
P1	67 cm	P1	77 cm

Ingresso	75 cm	Uscita	45 cm
	Secondi	Litri	L/S
Rilievo T0	6,21	5,5	0,89
Rilievo T1	7,07	5,2	0,74
Rilievo T2	6,48	4,9	0,76
		Media	0,79
P1	64 cm	P1	72 cm

Ingresso	85 cm	Uscita	45 cm
	Secondi	Litri	L/S
Rilievo T0	7,08	6,9	0,97
Rilievo T1	6,59	5,9	0,90
Rilievo T2	7,25	6,2	0,86
		Media	0,91
P1	-	P1	-

Per determinare la conducibilità idraulica del mezzo, ossia la portata specifica per unità di gradiente idraulico è stata utilizzata la legge di Darcy. La conducibilità idraulica esprime la facilità con cui il fluido viene trasportato negli spazi interstiziali. La legge di Darcy si esprime con la seguente formula:

$$Q = K * A * \Delta H * L$$

dove:

- Q è la portata volumetrica del fluido (m<sup>3</sup>/s),
- K è la conducibilità idraulica del mezzo (m/s),
- A è l'area della sezione trasversale del flusso (m<sup>2</sup>),
- Δh è la differenza di carico idraulico (m),
- L è la lunghezza del percorso di flusso (m).

La conducibilità idraulica, K, è stata calcolata riorganizzando l'equazione di Darcy:

$$K = Q * L * A * \Delta H$$

In pratica, abbiamo misurato la portata volumetrica  $Q$  del fluido attraverso un campione di terreno di lunghezza  $L$  e sezione trasversale  $A$ . Abbiamo inoltre misurato la differenza di carico idraulico  $\Delta h$  applicata al campione. Con queste misurazioni, siamo stati in grado di calcolare la conducibilità idraulica  $K$  (tab. 8), che è un parametro fondamentale per caratterizzare la permeabilità del bioreattore.

È stato quindi calcolato un  $K$  medio di 3,052 cm/s.

Tabella 8 Calcolo di  $K$  per ogni dislivello delle paratoie

A	1	m <sup>2</sup>
L	12,9	m
h ingresso	0,75	m
h uscita	0,25	m
Q	1,40	L/s
K	36,16	L/s*m <sup>2</sup>
	3,56	cm/s

A	1	m <sup>2</sup>
L	12,9	m
h ingresso	0,75	m
h uscita	0,35	m
Q	1,10	L/s
K	35,63	L/s*m <sup>2</sup>
	3,40	cm/s

A	1	m <sup>2</sup>
L	12,9	m
h ingresso	0,75	m
h uscita	0,45	m
Q	0,79	L/s
K	34,07	L/s*m <sup>2</sup>
	2,92	cm/s

A	1	m <sup>2</sup>
L	12,9	m
h ingresso	0,85	m
h uscita	0,45	m
Q	0,91	L/s
K	29,29	L/s*m <sup>2</sup>
	3,16	cm/s

### Caratterizzazione di efficienza di abbattimento del bioreattore

Nell'ambito della valutazione dell'efficacia del bioreattore, sono state condotte due serie di prove. La prima serie ha riguardato la caratterizzazione in condizioni normali, mentre la seconda ha mirato a testare la capacità del bioreattore in condizioni di carico elevato simulate da un evento piovoso significativo e una concimazione intensiva.

#### ➤ Valutazione dell'efficienza in Condizioni Normali

Durante la caratterizzazione idraulica del bioreattore, sono state misurate le concentrazioni di nitrati ( $\text{NO}_3^-$ ) nelle acque in ingresso e in uscita per valutare l'efficienza del bioreattore con i valori presenti nelle acque di bonifica dell'azienda. Le misurazioni sono state effettuate con il dislivello massimo tra il pozzetto di ingresso (85 cm) e quello di uscita (45 cm), corrispondente a una velocità di percorrenza dell'acqua all'interno del bioreattore di 25.8 L/s. I valori rilevati sono stati:

- **Concentrazione di Nitrati in Ingresso:** 2,72 ppm

- **Concentrazione di Nitrati in Uscita:** 2,01 ppm

Questi risultati indicano una riduzione della concentrazione di nitrati del 26.1%, confermando l'efficacia del bioreattore in condizioni normali.

➤ **Valutazione dell'efficienza in Condizioni Critiche**

Per valutare la capacità del bioreattore di gestire carichi elevati, è stato utilizzato un tank da 10.000 litri riempito con acqua di rete irrigua. La concentrazione di nitrati disciolti nell'acqua è stata portata a 72 ppm, valore che riflette i rilievi di falda del circondario, dove il 27 luglio 2023 era stato registrato un livello di 76,8 ppm.

Il valore scelto supera la concentrazione massima ammissibile di nitrati nelle acque sotterranee, fissata a 50 mg/l (Direttiva 2006/118/CE, D. Lgs. 30/2009).

Per incrementare il valore di nitrati dell'acqua di bonifica portando al valore deciso è stato utilizzato acido nitrico (HNO<sub>3</sub>) in forma liquida con purezza 65%, e densità a 20°C di 1,400-1,408 g/cm<sup>3</sup>. In funzione del risultato da raggiungere e delle caratteristiche del liquido utilizzato, è stato calcolato un volume di acido da inserire pari a 0.78 L in 10000 L di acqua (tab. 9).

*Tabella 9 Dati per calcolo volume di HNO<sub>3</sub>*

Massa molare HNO <sub>3</sub>	Massa molare NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Frazione massa di NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> in HNO <sub>3</sub>	Massa di HNO <sub>3</sub> necessaria	Massa della soluzione al 65%	Volume di HNO <sub>3</sub> da aggiungere	Concentrazione teorica raggiunta
63 g/mol	62 g/mol	0,9841	711,2 g	1094,2 g	0,78 L	70 mg/l

Utilizzando la configurazione del bioreattore dove le paratoie in entrata erano a 85 cm e in uscita erano a 45 cm l'acqua del tank è stata riversata nel pozzetto di entrata. Quando i ¾ del tank erano ormai stati riversati all'interno del pozzetto si è proceduto a effettuare i rilievi dei nitrati (fig. 16), i risultati vengono mostrati nella tabella 10.



*Figura 21 Rilievo concentrazione nitrati*

*Tabella 10 risultato concentrazioni di nitrati*

Pozzetto di ingresso	Piezometro 1	Piezometro 2	Pozzetto in uscita	Riduzione
72 ppm	65 ppm	53 ppm	32 ppm	56%

Nei due giorni successivi alla prova dinamica, sono stati effettuati ulteriori due rilievi per analizzare l'efficienza del bioreattore anche in condizioni statiche. Durante la prova dinamica del giorno precedente, non tutta l'acqua presente nel bioreattore è fuoriuscita dal secondo pozzetto per essere convogliata nel macero, rimanendo parzialmente all'interno del bioreattore stesso.

Durante questo periodo, i batteri nel bioreattore hanno continuato a svolgere la loro attività di riduzione dei nitrati. Questo è stato confermato dai due rilievi successivi, che hanno mostrato una diminuzione progressiva della concentrazione di nitrati:

- *Il giorno successivo alla prova dinamica: 19 ppm (riduzione del 73% rispetto al valore iniziale misurato durante la prova dinamica)*
- *Due giorni dopo il termine della prova dinamica: 11 ppm (riduzione dell' 84% rispetto al valore iniziale misurato durante la prova dinamica)*

Questi risultati indicano una continua riduzione della quantità di nitrati nel bioreattore anche dopo il termine della prova dinamica. Questo comportamento suggerisce che il bioreattore possa essere utilizzato non solo in modalità dinamica, ma anche in condizioni statiche. In particolare, durante periodi di pioggia che non permettono un flusso continuo di acqua dai dreni, il bioreattore potrebbe essere chiuso al pozzetto di uscita e riaperto solo quando completamente pieno.

## Conclusioni

Il presente studio ha evidenziato l'efficacia e la versatilità del bioreattore a cippato nella riduzione delle concentrazioni di nitrati in condizioni sia normali che estreme. Attraverso una serie di test idraulici e di abbattimento dei nitrati è stato possibile caratterizzare le prestazioni del bioreattore, confermando la sua capacità di trattamento dell'acqua contaminata da nitrati.

## Risultati Chiave

1. **Caratterizzazione Idraulica:** Conoscere la conducibilità idraulica (K) è essenziale per progettare e gestire efficacemente un bioreattore. Questa misura consente di determinare la velocità di percolazione dell'acqua attraverso il mezzo poroso, ottimizzando il tempo di ritenzione e migliorando l'efficienza del trattamento dei nitrati. Inoltre, permette di regolare il flusso in ingresso per evitare sovraccarichi durante eventi piovosi intensi, assicurando un trattamento costante ed efficace. La conoscenza di K aiuta anche a monitorare e mantenere la permeabilità del materiale, identificando possibili intasamenti o degrado che richiederebbero interventi di manutenzione. In sintesi, la conducibilità idraulica è cruciale per garantire la performance e la sostenibilità del bioreattore nel tempo.
2. **Efficienza di Abbattimento dei Nitrati:** In condizioni normali, il bioreattore ha ridotto la concentrazione di nitrati del 26,1%, dimostrando la sua capacità di migliorare la qualità dell'acqua in entrata e in uscita. In condizioni critiche dinamiche simulate, con concentrazioni iniziali di nitrati di 72 ppm, il bioreattore ha raggiunto una riduzione complessiva del 56%, evidenziando una notevole capacità di gestione dei carichi elevati di nitrati. Inoltre, il bioreattore ha dimostrato un'ulteriore riduzione delle concentrazioni di nitrati in condizioni statiche, con una diminuzione che ha raggiunto l'84%.

## Utilizzi e Benefici del Bioreattore

L'implementazione del bioreattore a cippato può offrire significativi benefici ambientali e operativi, tra cui:

1. **Reimmissione di Acque di Bonifica:** Il bioreattore permette di trattare l'acqua proveniente da canali di bonifica o drenaggi agricoli, riducendo significativamente le concentrazioni di nitrati prima della reimmissione nell'ambiente. Questo contribuisce a migliorare la qualità delle acque superficiali e sotterranee, mitigando il rischio di eutrofizzazione e contaminazione delle falde acquifere.



2. **Riduzione dell'Inquinamento da Nitrati:** La capacità del bioreattore di abbattere i nitrati in condizioni critiche lo rende uno strumento efficace per gestire gli eventi di pioggia intensi, che tipicamente aumentano il rischio di percolazione dei nitrati nei suoli. Questo è particolarmente rilevante nelle Zone Vulnerabili ai Nitrati (ZVN)
3. **Versatilità Operativa:** La possibilità di operare il bioreattore sia in modalità dinamica che statica offre flessibilità nella gestione del trattamento delle acque, permettendo di adattarsi a diverse condizioni meteorologiche e operative.
4. **Sostenibilità Ambientale:** L'uso di materiali naturali come il cippato di legno non solo migliora l'efficienza del bioreattore ma rappresenta anche una soluzione sostenibile e a basso impatto ambientale.

**Estensione della Ricerca:** Ulteriori studi potrebbero esplorare l'efficacia del bioreattore con diverse tipologie di suoli e con l'uso di materiali alternativi al cippato, inoltre si potrebbero studiare soluzioni con bioreattori in-line in modo da massimizzare l'intercettazione delle acque in uscita dal reticolato di canalette dell'azienda. In conclusione, il bioreattore a cippato rappresenta una soluzione promettente ed efficace per la gestione delle acque di bonifica e la riduzione dell'inquinamento da nitrati, offrendo numerosi benefici sia a livello ambientale che operativo

## **AZIONE 5 - Gestione dell'impollinazione**

L'obiettivo di questa azione è stato quello di individuare un'efficace strategia di sterilizzazione e applicazione artificiale del polline, al fine di ridurre l'incidenza del mal secco causato da *Xanthomonas campestris* pv. *juglandis*, malattia veicolata dal polline. La messa a punto di questa strategia, oltre a ridurre l'incidenza della malattia, potrebbe migliorare l'allegagione grazie ad una distribuzione mirata del polline consentendo di superare la proterandria (anticipo della fioritura maschile rispetto alla femminile), nonché possibili condizioni ambientali avverse durante la fase di recettività degli ovari.

### **1. MATERIALI E METODI**

#### ***1.1 Prelievo del polline***

Il prelievo del polline è stato eseguito su alberi adulti degli impollinatori, oltre che della varietà Chandler, presenti nelle aziende agricole Fertilia e Guidi di Codigoro (FE) al momento della maturazione delle antere degli amenti. Nel dettaglio, da diverse piante sono state prelevati circa 1 kg di amenti che una volta in laboratorio sono stati posti sotto lampada per 3 giorni al fine di favorire la deiscenza delle antere.

Contestualmente sono state selezionate delle branchette con 5-8 germogli fertili, che sono state chiuse con sacchi di carta (Fig. 1) per evitare che ricevessero polline esterno. Nel dettaglio, in entrambe le aziende sono state individuate 10 piante disposte su 2 file; su ciascuna pianta sono state isolate 4 branchette presso l'azienda Fertilia (1 era di riserva) e 3 presso l'azienda Guidi (40 e 30 branchette in totale, rispettivamente).



**Figura 1.** Branche insacchettate presso l'Az. Agr. Fertilia per prevenire l'impollinazione naturale degli ovari.

### **1.2 Sterilizzazione del polline e rilievi sulla pianta**

Dopo essere stato raccolto dalle antere il polline è stato posto in piastre Petri e sterilizzato con due diverse strategie, e confrontato con un controllo non sterilizzato.

La prima strategia testata prevedeva l'uso di ozono ( $O_3$ ): il polline è stato posto in una vasca chiusa per 1 h e 30' nella quale è stato insufflato  $O_3$  prodotto con dispositivo commerciale ( $50 \text{ mg h}^{-1}$ ).

La seconda tecnica si è basata sul trattamento con etanolo (EtOH) al 95%: il polline è stato immerso in EtOH per 20h e successivamente lasciato sotto cappa aspirante per favorire l'evaporazione dell'EtOH e l'essiccazione del polline.

Una volta sterilizzato, il polline è stato conservato a bassa temperatura ( $+4^\circ\text{C}$ ) fino al momento della distribuzione, effettuata manualmente (Fig. 2) in pieno campo sugli ovari fertili presenti nelle branchette precedentemente selezionate e isolate; per una maggiore efficacia dell'impollinazione artificiale sono stati eseguiti due passaggi col polline: il primo in data 9 maggio 2023 e il secondo il giorno 11 maggio 2023. In ciascuna branchetta insacchettata è stato conteggiato il numero di ovari impollinati. Dopo 15 giorni i sacchi sono stati rimossi ed è stato eseguito un conteggio degli ovari allegati e di quelli che presentano sintomi di antracnosi e/o batteriosi.



**Figura 2.** Impollinazione manuale

### **1.3 Saggio di germinazione**

Per la germinazione del polline è stato preparato un mezzo di crescita da Luza e Polito (1985)<sup>1</sup> in tampone McILVAINE<sup>2</sup> a pH 6,5.

Prima della germinazione, il polline è stato reidratato per 1h30' alla temperatura di 27°C ponendo piastre Petri con 1 g di polline in una vaschetta contenente un becher di acqua calda per creare un ambiente umido. Successivamente 15 mg di polline reidratato sono stati posti in piastre Petri contenenti ognuna 15 ml di terreno di germinazione e incubate al buio a 30°C. La percentuale di germinazione dei granuli pollinici è stata rilevata dopo 3 h dall'inoculo, e successivamente ogni 24 h per 4 giorni al microscopio ottico osservando 150 granuli per piastra Petri e considerando germinati i granuli aventi tubetti pollinici di lunghezza uguale o superiore al diametro del granulo (Fig. 3). Per ogni tesi sono state preparate, ad ogni osservazione, 4 piastre Petri.

<sup>1</sup> Luza, J. G., & Polito, V. S. (1985). In vitro germination and storage of English walnut pollen. *Scientia Horticulturae*, 27(3-4), 303-316.

<sup>2</sup> Il tampone McIlvaine è una soluzione tampone composta da acido citrico e idrogeno fosfato disodico, nota anche come *tampone citrato-fosfato*.



**Figura 3.** Granuli pollinici al microscopio; le frecce indicano il tubetto pollinico germinato

#### ***1.4 Saggio di sviluppo della batteriosi***

L'analisi è stata condotta su 6 campioni, ciascuno diviso in 4 repliche tecniche. Per il conteggio batterico, 10 mg di polline sono stati sospesi in 1 ml di 10 mM MgSO<sub>4</sub>. Successivamente la sospensione è stata sottoposta a 9 diluizioni seriali (x10) e per ciascuna diluizione sono state piastrate 4 gocce di 10 µL su mezzo di crescita selettivo (LBA e clicloesimide) per prevenire la crescita fungina. Il numero di colonie batteriche è stato determinato dopo incubazione a 48 ore a 27°C

## **2. RISULTATI**

### ***2.1 Effetto della sterilizzazione in campo***

La sterilizzazione del polline non ha mostrato alcun effetto sulla presenza di sintomi di mal secco sia nell'Az. Agr. Guidi che da Fertilia (Tabb. 1, 2). L'applicazione manuale di polline non ha evidenziato alcun effetto sull'allegagione degli ovari (Tabb. 1, 2).

**Tabella 1.** Effetto della sterilizzazione sull'allegagione e sulla presenza nel mallo di sintomi riconducibili ad agente biotico (noceto Az. Agric. Guidi).

Trattamento	Ovari impollinati (n branca <sup>-1</sup> )	Ovari allegati		Ovari infetti	
		n branca <sup>-1</sup>	%	n branca <sup>-1</sup>	%
Controllo	10,6	4,5	44,9	1,9	45,0
EtOH	13,3	4,3	33,9	2,1	47,3
O <sub>3</sub>	11,8	4,1	32,7	1,3	40,3
Significatività	ns	ns	ns	ns	ns

ns = effetto dei trattamenti non significativo.

**Tabella 2.** Effetto della sterilizzazione sull'allegagione e sulla presenza nel mallo di sintomi riconducibili ad agente biotico (noceto Az. Agr. Fertilia).

Trattamento	Ovari impollinati (n branca <sup>-1</sup> )	Ovari allegati		Ovari infetti	
		n branca <sup>-1</sup>	%	n branca <sup>-1</sup>	%
Controllo	8,7	4,7	56,2	0,1	0,02
EtOH	8,6	4,9	56,9	0,7	0,13
O <sub>3</sub>	10,2	5,5	55,0	0,5	0,13
Significatività	ns	ns	ns	ns	ns

ns = effetto dei trattamenti non significativo.

## 2.2 Effetto della sterilizzazione in vitro

La germinabilità del polline prelevato in entrambe le aziende, nelle prime due date di rilievo è risultata azzerata a seguito della sterilizzazione con EtOH; solo in corrispondenza dell'ultimo rilievo è emerso un leggero aumento della germinabilità che tuttavia è risultato significativamente inferiore rispetto al trattamento con O<sub>3</sub> e al controllo non sterilizzato (Tab. 3).

**Tabella 3.** Effetto della sterilizzazione sulla germinabilità (%) in vitro del polline.

Trattamento	Az. Agr. Guidi			Az. Agr. Fertilia		
	23-mag	24-mag	26-mag	23-mag	24-mag	26-mag
Controllo	5,86 a	15,5 a	8,77 a	9,26 a	17,6 a	16,5 a
EtOH	0 b	0 b	0,333 b	0 b	0 b	0,787 b
O <sub>3</sub>	11,2 a	13,1 a	8,51 a	11,6 a	20,2 a	14,2 a
Significatività	**	***	***	*	***	***

\*, \*\* e \*\*\* = effetto dei trattamenti significativo per  $P \leq 0,05$ ,  $P \leq 0,01$  e  $P \leq 0,001$ , rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK).

Nel polline dell'Az. Agr. Guidi la sterilizzazione ha indotto una riduzione significativa della quantità di *X. Campestris*, con un azzeramento della presenza (anche se non

significativamente diverso da O<sub>3</sub>) a seguito dell'applicazione di EtOH (Tab. 4). Risultato simile è stato riscontrato nel polline prelevato presso l'Az. Agr. Fertilia; in questo caso la sterilizzazione con EtOH ha indotto un azzeramento della popolazione di *X. Campestris*, significativamente inferiore rispetto a O<sub>3</sub>, che a sua volta si è distinto statisticamente dal controllo non sterilizzato (Tab. 4)

**Tabella 4.** Effetto della sterilizzazione sulla presenza di *X. campestris* sul polline sterilizzato (CFU g<sup>-1</sup> polline).

Trattamento	Az. Agr. Guidi	Az. Agr. Fertilia
Controllo	1,01*10 <sup>5</sup> a	4,31*10 <sup>5</sup> a
EtOH	0 b	0 c
O <sub>3</sub>	3,75*10 <sup>3</sup> b	2,75 *10 <sup>4</sup> b
<i>Significatività</i>	***	***

\*\*\* = effetto dei trattamenti significativo per P≤0,001, rispettivamente. Valori in colonna seguiti da lettere simili non sono tra loro diversi statisticamente (Test SNK).  
CFU = unità formanti colonia

### 3. CONSIDERAZIONI FINALI

Dalla presente sperimentazione non sono emersi risultati sull'aumento dell'allegagione e la riduzione dell'impatto di *X. campestris*. È tuttavia necessario sottolineare come le condizioni climatiche della primavera del 2023 siano state particolarmente avverse (gelate tardive, gradinate e piogge intense) e possano quindi aver influenzato l'andamento della sperimentazione.

Dai risultati dello studio condotto *in vitro*, simili per le due aziende prese in considerazione, è emerso come l'etanolo sia in grado di azzerare lo sviluppo del batterio, al contrario dell'ozono che non ha evidenziato alcuna efficacia. Tuttavia, il trattamento con etanolo ha sensibilmente ridotto la vitalità del polline che nel caso dell'ozono è stata solo leggermente ridotta rispetto al controllo non sterilizzato. I risultati ottenuti, seppur preliminari, hanno dimostrato come sia possibile, tramite sterilizzazione del polline, ridurre l'incidenza di *X. campestris*; tuttavia sono necessarie ulteriori sperimentazioni per definire meglio i protocolli operativi più efficaci.