



UNIONE EUROPEA
Fondo Europeo Agricolo
per lo Sviluppo Rurale



Regione Emilia-Romagna

L'Europa investe nelle zone rurali

TIPO DI OPERAZIONE

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

DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 754 DEL 16/05/2022

FOCUS AREA 4 B

RELAZIONE TECNICA

DOMANDA DI SOSTEGNO 5516629

DOMANDA DI PAGAMENTO 5776662

Titolo Piano	RESURGE
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	UNIVERSITA' CATTOLICA DEL SACRO CUORE
Elenco partner del Gruppo Operativo	FATTORIA COTTI SOCIETA' SEMPLICE AGRICOLA SOCIETA' AGRICOLA R.G.R. DI CAGARELLI RUGGERO, GAETANO E MARCELLO S.S. CENTRO RICERCHE PRODUZIONI ANIMALI SOC. CONS. P. A. DINAMICA S.C. A R.L. CERZOO S.R.L.

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	15
Data inizio attività	07/02/2023
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	05/08/2024

Relazione relativa al periodo di attività dal	07/02/2023	05/08/2024
Data rilascio relazione		

Autori della relazione		
telefonoemail		andrea.fiorini@unicatt.it ; vincenzo.tabaglio@unicatt.it
pec	direzione.sede-pc@pec.ucsc.it	

Sommario

1	Descrizione dello stato di avanzamento del Piano	5
1.1	Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano	5
2	Descrizione per singola azione.....	8
2.1	COOPERAZIONE – Esercizio della Cooperazione.....	8
2.1.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	8
2.1.2	PERSONALE	9
2.2	STUDI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO.....	9
2.2.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	9
2.2.2	PERSONALE	11
2.3	AZIONE 1 - Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo	11
2.3.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	12
2.3.2	PERSONALE	13
2.4	AZIONE 2 - Agrosistemi climate-smart per l'adattamento al cambiamento climatico	14
2.4.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	14
2.4.2	PERSONALE	15
2.5	AZIONE 3 - Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquamazioni 4.0.....	17
2.5.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	17
2.5.2	PERSONALE	17
2.6	AZIONE 4 - Analisi della sostenibilità economico-ambientale e sociale.....	18
2.6.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	19
2.6.2	PERSONALE	20
2.7	DISSEMINAZIONE	21
2.7.1	ATTIVITA' E RISULTATI.....	21
2.7.2	PERSONALE	23
2.7.3	SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE.....	24
2.7.4	COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI	25
2.7.5	SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE.....	25
2.8	SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA.....	26
3	CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ	26
4	ALTRE INFORMAZIONI.....	27
5	CONSIDERAZIONI FINALI.....	27
6	RELAZIONE TECNICA	28

AZIONE 1. Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo	28
Indagine bibliografica sulle dinamiche di disponibilità di N e P dei fertilizzanti	34
Mappatura iScan del terreno di prova	36
AZIONE 2. Agrosistemi <i>climate-smart</i> per l’adattamento al cambiamento climatico	40
Fertirrigazione del basilico e della barbabietola da zucchero con solfati ammoniacali di recupero	47
Fertirrigazione del basilico con solfato ammoniacale di recupero distribuito in aspersione con ala piovana (COTTI).....	48
Fertirrigazione della barbabietola da zucchero con solfato ammoniacale di recupero con sistema di irrigazione a manichette interrate SDI – Subsurface Drip Irrigation (RGR)	55
AZIONE 3. Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquefazioni 4.0	61
Mezzi tecnici per la realizzazione della prova.....	61
Risultati produttivi ed indici di efficienza d’uso dell’azoto.....	68
Indici di efficienza d’uso dell’azoto	72
Andamento del contenuto in azoto nitrico nel terreno	74
AZIONE 4. Analisi della sostenibilità economico-ambientale e sociale	75
Analisi sostenibilità economico-ambientale	75
Conclusioni.....	91
Analisi sostenibilità sociale	93
Commento sui Risultati del Sondaggio	94
Bibliografia	96

1 Descrizione dello stato di avanzamento del Piano

Nel complesso il piano ha visto realizzate tutte le azioni previste, entro le scadenze programmate. Tuttavia, si è resa necessaria una proroga di quattro mesi al fine di garantire il completamento di tutte le operazioni di formazione, raccolta dati e reportistica.

1.1 Stato di avanzamento delle azioni previste nel Piano

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività reale	Mese termine attività previsto	Mese termine attività reale
Esercizio della cooperazione	UCSC	Il Gruppo Operativo (GO) si costituisce in forma di ATS. Riunione del comitato di Piano (CP). Attività generali di coordinamento	1	1 (Feb23)	15	18 (Ago24)
Studi necessari alla realizzazione del piano	UCSC	Analisi organizzativa delle strutture coinvolte, finalizzata ad ottimizzare flussi di beni, informazioni ed a pianificare l'attività organizzativa e logistica	1	1	4	6

1	UCSC	Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo	1	1	9	9
2	UCSC	Agrosistemi climate-smart per l'adattamento al cambiamento climatico	2	2	13	13
3	UCSC	Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquamazioni 4.0	2	2	13	16
4	CRPA	Analisi della sostenibilità ambientale, economica e sociale	6	6	15	18
Divulgazione	CRPA	Il piano comprende attività di informazione, comunicazione e sensibilizzazione che vengono condotte sia attraverso azioni dirette (giornata dimostrativa e convegno conclusivo), sia attraverso azioni indirette (articoli, video e altro materiale informativo).	1	1	15	18

Formazio ne	DINAMICA	L'attività formativa si è concentrata in via prioritaria sullo svolgimento di un corso formativo organizzato da DINAMICA.	1	1	15	18
----------------	----------	---	---	---	----	----

2 Descrizione per singola azione

2.1 COOPERAZIONE – Esercizio della Cooperazione

2.1.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Esercizio della Cooperazione
Unità aziendale responsabile	UCSC
Descrizione attività	<p>Il Gruppo Operativo (GO), costituito come ATS con UCSC come capofila, ha gestito il progetto con personale tecnico e amministrativo esperto. UCSC ha coordinato il progetto e garantito la collaborazione tra tutti i partner e consulenti, assicurandosi che tutte le informazioni e risorse necessarie fossero condivise ed utilizzate efficacemente.</p> <p>Il comitato del Piano (CP), composto dai rappresentanti di UCSC e dei partner, ha tenuto tre riunioni: febbraio 2023 (inizio progetto), ottobre 2023 (metà progetto) e luglio 2024 (fine progetto, in occasione del Convegno Finale). Le riunioni sono state organizzate e coordinate da UCSC. Gli obiettivi principali della gestione sono stati:</p> <ul style="list-style-type: none">• Avvio e coordinamento del progetto, per la gestione delle attività tecniche e per il rispetto delle scadenze.• Verifica della coerenza delle attività con il Piano e l'adozione di eventuali misure correttive.• Mantenimento dei rapporti con gli uffici regionali e predisposizione della documentazione tecnica e finanziaria. <p>UCSC ha monitorato trimestralmente l'andamento del progetto e il rispetto del budget, convocando incontri di coordinamento.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi sono stati tutti quanti raggiunti in modo soddisfacente: non sono stati segnalati particolari scostamenti dal piano di lavoro iniziale.

2.1.2 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.

UCSC

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Responsabile del progetto	31,00	151	4.681,00
	Professore associato	Responsabile scientifico	48,00	20	960,00
	Totale:				5.641,00

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Impiegato	Attività CERZOO	27,00	10	270,00
	Totale:				270,00

CRPA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Tecnico	Segreteria tecnica	27,00	40	1.080,00
	Responsabile di settore	Coordinamento, supervisione attività	43,00	16	688,00
	Responsabile di settore	Responsabile amministrativa	43,00	12	516,00
	Totale:				2.284,00

2.2 STUDI NECESSARI ALLA REALIZZAZIONE DEL PIANO

2.2.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Studi necessari alla realizzazione del piano
--------	--

Unità aziendale responsabile	UCSC
Descrizione attività	<p>Analisi Organizzativa e Tecniche di Fertilizzazione</p> <p>Per ciascuna delle aziende agricole coinvolte (CERZOO, R.G.R., COTTI), sono stati raccolti dati fondamentali riguardanti superfici, colture e dotazioni. Sono state compilate schede di rilievo preliminari, che sono servite per una razionale impostazione dei trattamenti sperimentali.</p> <p>Sono state organizzate le seguenti informazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caratteristiche pedologiche principali. • Tecniche agronomiche adottate per le colture di interesse. • Tipologie di impianti irrigui, origine delle acque e volumi utilizzati. • Tecniche di fertilizzazione e tipi di concimi/ammendanti impiegati. • Gestione degli effluenti. <p>Le aziende sono state selezionate per rappresentare diverse aree regionali: Piacenza (Grana Padano, seminativi, pomodoro), Reggio Emilia (Parmigiano-Reggiano, prati, vigneto), e la zona pedecollinare di Parma (prati, pomodoro, vigneti, basilico, carico zootecnico medio-alto).</p> <p>Analisi delle tecniche per produrre ‘fertilizzanti rinnovabili’</p> <p>Per pianificare al meglio le operazioni previste nelle successive azioni 1 e 2, quest’azione preliminare è servita per capire quali tecniche di trattamento degli effluenti e digestati zootecnici potessero risultare le più idonee ed applicabili nel recuperare nutrienti e nel produrre fertilizzanti rinnovabili da impiegare in sostituzione di quelli di sintesi. Oltre alle tecniche di trattamento degli effluenti, si è ritenuto fondamentale considerare anche quelle tecniche di trattamento dell’aria, ora poco diffuse, ma che potranno diffondersi nel settore agricolo, per ridurre le emissioni di ammoniaca e di odori ed in grado di originare soluzioni liquide contenenti azoto (solfato ammonico). Per ottimizzare le attività, è stata condotta un’indagine sulle tecniche di trattamento degli effluenti e dei digestati zootecnici. L’obiettivo era identificare le tecniche più adatte per recuperare nutrienti e produrre fertilizzanti rinnovabili, con particolare attenzione all’efficienza dell’azoto e alla sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. Le tecniche sono state valutate per applicabilità, diffusione nel contesto agricolo, efficienza nel recupero di nutrienti (principalmente N e P), e</p>

	caratteristiche fisico-chimiche dei fertilizzanti risultanti. I Report tecnici ed il tool di calcolo "Biogas_N - Sistemi di gestione e valorizzazione delle frazioni azotate nei digestati: valutazione delle tecnologie e bilancio dell'azoto" (http://www.crupa.it/ngcontent.cfm?a_id=16401) sono stati alla base di questa fase di studi. Conoscenze che hanno poi permesso di raggiungere gli obiettivi prefissati in Azione 1 e 2.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi sono stati tutti quanti raggiunti in modo soddisfacente: non sono stati segnalati particolari scostamenti dal piano di lavoro iniziale

2.2.2 PERSONALE

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

UCSC

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Responsabile del progetto	31,00	71	2.201,00
	Professore associato	Responsabile scientifico	48,00	100	4.800,00
	Ricercatore	Ricercatore	31,00	140	4.340,00
Totale:					11.341,00

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Impiegato	Attività CERZOO	27,00	20	540,00
Totale:					540,00

2.3 AZIONE 1 - Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo

2.3.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione attività	<p>Gli obiettivi dell'azione 1 sono stati: (i) determinare le principali caratteristiche fisico-chimiche delle matrici fertilizzanti "rinnovabili" derivanti dal trattamento di liquami (es. liquami chiarificati, solfato ammonico, struvite); (ii) a partire dalle caratteristiche di queste matrici, conoscere le dinamiche di rilascio nel terreno agrario dei principali macronutrienti (es. N e P), driver dell'inquinamento delle acque; (iii) inferire sull'eterogeneità delle principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo "ricevente", al fine di conoscerne la reale capacità di infiltrazione/ritenzione e limitare le perdite di nutrienti nelle acque superficiali e di falda (es. lisciviazione del NO₃⁻, run-off, etc.).</p> <p>Una prima fase dell'azione 1 ha riguardato la caratterizzazione fisico-chimica dei liquami impiegati nelle prove sperimentali condotte presso l'azienda CERZOO, al fine di conoscerne il contenuto di nutrienti (N-P) e di sostanza organica (TOC). Solo la pre-caratterizzazione delle matrici fertilizzanti permette, infatti, di utilizzare al meglio il potere fertilizzante dei liquami nelle dosi e modalità più corrette, riducendo gli impatti ambientali.</p> <p>Sempre questa prima fase di Azione 1 ha visto l'individuazione, la raccolta nelle quantità necessarie e la caratterizzazione fisico-chimica dei fertilizzanti di recupero, al fine di individuare quelli più idonei da impiegare nell'Azione 2, presso le tre aziende partner (CERZOO, RGR e COTTI).</p> <p>È stata quindi condotta un'indagine bibliografica sulle dinamiche di disponibilità di N e P dei fertilizzanti, considerando ricerche precedenti, progetti dimostrativi e di ricerca, pubblicazioni scientifiche e tecnico-divulgative, supporto tecnico da parte di tutti i partner e stakeholders del progetto.</p> <p>Presso l'azienda CERZOO sono quindi state realizzate le mappe di variabilità dell'appezzamento, attraverso il sistema <i>Veris iScan</i> di ARVAttec, al fine di ottenere un quadro approfondito delle principali proprietà fisico-chimiche del terreno. Per quest'ultimo, punto non sono stati riscontrati scostamenti dal piano di lavoro.</p>

Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi sono stati tutti quanti raggiunti in modo soddisfacente: non sono stati segnalati particolari scostamenti dal piano di lavoro iniziale.
---	---

2.3.2 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.

UNICATT

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Professore associato	Responsabile scientifico	48,00	50	2.400,00
	PTA	Tecnico di laboratorio	31,00	140	4.340,00
	Contrattista	Collaboratore			5.562,54
	Contrattista	Collaboratore			12.958,71
Totale:					25.261,25

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Attività CERZOO	27,00	20	540,00
Totale:					540,00

CRPA

Cognome e nome	Mansione/qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Tecnico	Prove in campo	27,00	40	1.080,00
	Tecnico	Analisi di laboratorio	27,00	72	1.944,00
	Responsabile di	Coordinamento	43,00	16	688,00
	Ricercatore	Coordinamento attività, rilievi, elaborazioni	27,00	40	1.080,00

	Tecnico	Prove in campo	27,00	30	800,00
	Totale:				5.592,00

2.4 AZIONE 2 - Agrosistemi climate-smart per l'adattamento al cambiamento climatico

2.4.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Agrosistemi <i>climate-smart</i> per l'adattamento al cambiamento climatico
Unità aziendale responsabile	UCSC
Descrizione attività	<p>Questa azione è finalizzata a calibrare e verificare agrosistemi sostenibili e resilienti, adatti al cambiamento climatico in corso, in grado di migliorare la fertilità organica e la qualità/funzionalità del terreno agrario, e che permettano di ridurre l'impiego di input potenzialmente inquinanti per la fertilizzazione ed il controllo delle avversità. A tale scopo, sono stati individuati diversi sistemi colturali e diverse soluzioni di fertilizzazione sostenibile, che sono stati applicati nelle diverse situazioni aziendali del progetto.</p> <p>(i) Presso l'azienda CERZOO (PC), è stato considerato un agrosistema basato sulla non lavorazione integrale (<i>no-till</i>) e sull'utilizzo delle <i>cover crop</i>, associato ad un impianto di irrigazione ad ala gocciolante interrata (SDI), altamente efficiente nell'uso di acqua e fertilizzanti, con diverso interasse (70, oppure 140 cm), messo a confronto con un sistema convenzionale basato sull'aratura e sull'irrigazione per aspersione. Nel corso del 2023 la coltura seguita è stata il mais, in successione a <i>cover crop</i>.</p> <p>(ii) Anche presso l'azienda RGR (RE) è stato adottato un sistema SDI, ma con diversi tipi di fertilizzante in due appezzamenti diversi condotti a minima lavorazione: solfato ammonico di recupero, a confronto con nitrato ammonico solubile di sintesi (sempre in sub-irrigazione). Un terzo appezzamento, a lavorazione convenzionale, irrigato per aspersione e fertilizzato con concime minerale, è servito da testimone. Nel corso del 2023 la coltura di riferimento è stata la barbabietola da zucchero.</p>

	(iii) Presso l'azienda Cotti (PR), infine, le aree interessate dalla sperimentazione sono stati due appezzamenti, della stessa ampiezza, entrambi con irrigazione ad ala piovana, di cui uno (i) con distribuzione fertirrigua di solfato ammonico di recupero (tra quelli caratterizzati in azione 1) e l'altro (ii) con sola acqua irrigua e concimato convenzionalmente (concime minerale granulare) come "controllo" delle attività irrigue e di concimazione standard. In questo caso i due appezzamenti vengono gestiti in modo convenzionale, con aratura poco profonda (25 cm circa). La coltura oggetto della sperimentazione è stata quella del basilico.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi sono stati tutti quanti raggiunti in modo soddisfacente: non sono stati segnalati particolari scostamenti dal piano di lavoro iniziale (vedi Relazione Tecnica).

2.4.2 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.

UNICATT

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Responsabile del progetto	31,00	63	1.953,00
	Professore associato	Responsabile scientifico	48,00	40	1.920,00
	PTA	Tecnico di laboratorio	31,00	70	2.170,00
	Contrattista	Collaboratore			7.179,76
	Contrattista	Collaboratore			5.323,15
	Contrattista	Collaboratore			4.819,67
	Totale:				23.365,58

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Attività CERZOO	27,00	40	1.080,00
Totale:					1.080,00

CRPA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Tecnico	Prove in campo	27,00	150	4.050,00
	Tecnico	Analisi di laboratorio	27,00	226	6.102,00
	Responsabile	Coordinamento	43,00	73	3.139,00
	Ricercatore	Coordinamento attività, rilievi, elaborazioni	27,00	160	4.320,00
	Tecnico	Prove in campo, analisi di laboratorio	27,00	96	2.592,00
	Ricercatore	Prove in campo, rilievi, elaborazioni	27,00	73	1.971,00
	Ricercatore	Coordinamento attività, rilievi, elaborazioni	43,00	48	2.064,00
	Tecnico	Prove in campo, rilievi	27,00	134	3.608,00
					27.846,00

Totale

RGR

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Prove in campo, rilievo dati	19,50	160	3.120,00
Totale:					3.120,00

FATTORIA COTTI

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Prove in campo, rilievo dati	19,50	100	1.950,00
Totale:					1.950,00

2.5 AZIONE 3 - Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquamazioni 4.0

2.5.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquamazioni 4.0
Unità aziendale responsabile	UCSC
Descrizione attività	<p>L'azione 3 si compone di una serie di attività finalizzate a migliorare la gestione dei piani di fertilizzazione in agricoltura, attraverso l'utilizzo razionale dei fertilizzanti rinnovabili, in parziale (o totale) sostituzione dei fertilizzanti chimici di sintesi, grazie all'impiego di macchinari innovativi che ne permettano l'uso in copertura sui cereali a paglia e della tecnologia associabile (Agricoltura 4.0).</p> <p>In particolare, le attività dell'azione 3 si sono concentrate sugli appezzamenti precedentemente mappati per la variabilità del terreno presso CERZOO (Azione 1), e hanno visto l'impiego di un carrobotte semovente con pneumatici a bassa pressione (per minimizzare il compattamento del suolo), dotato di interruttore a dischi per la distribuzione con minimo interrimento (5-6 cm) del liquame/fertilizzante rinnovabile in copertura all'orzo (intervento in fase di fine accostamento; fine febbraio/inizio marzo 2023), e provvisto di tecnologia per la distribuzione a rateo variabile. Il liquame aziendale (separato liquido) è stato distribuito con tre diverse modalità: (i) tal quale (matrice di riferimento), (ii) addizionato di inibitore della nitrificazione e, infine, (iii) addizionato di solfato ammonico. A confronto, è stato poi utilizzato un concime di sintesi (calcio ammonio nitrato, 27 N), quale strategia di fertilizzazione convenzionale.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi progettuali sono stati tutti raggiunti, senza aver riscontrato particolari problematiche operative (vedi Relazione Tecnica).</p> <p>Dai trattamenti in prova è stata esclusa la correzione del liquame con la struvite: questa pratica non si è resa necessaria per i terreni dell'azienda CERZOO in quanto caratterizzati da ricche dotazioni in fosforo assimilabile (32 mg kg⁻¹ di P Olsen nello strato 0-30 cm).</p>

2.5.2 PERSONALE

UNICATT

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Responsabile del progetto	31,00	77	2.387,00
	Professore associato	Responsabile scientifico	48,00	50	2.400,00
	Ricercatore	Ricercatore	31,00	80	2.480,00
	Ricercatore	Ricercatore	31,00	140	4.340,00
	PTA	Tecnico di laboratorio	31,00	70	2.170,00
	Contrattista	Collaboratore			20.377,68
	Totale:				34.154,68

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Attività CERZOO	27,00	60	1.620,00
	Totale:				1.620,00

CRPA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Coordinamento attività, rilievi, elaborazioni	27,00	31	848,00
	Tecnico	Prove in campo, rilievi	27,00	42	1.132,00
	Ricercatore	Prove in campo, rilievi, elaborazioni	27,00	48	1.296,00
	Totale:				3.276,00

2.6 AZIONE 4 - Analisi della sostenibilità economico-ambientale e sociale

2.6.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Analisi della sostenibilità economico-ambientale e sociale
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione attività	<p>L'Azione 4 ha valutato gli impatti economici, ambientali e sociali delle soluzioni innovative di RESURGE. Le analisi condotte in questa azione hanno utilizzato come input i risultati sperimentali derivati dalle azioni precedenti (azione 1, 2, e 3) e le informazioni e valori rilevati nell'azione Studi. L'analisi economico-ambientale, condotta da CRPA con il supporto di UCSC e delle aziende partner, ha confrontato le nuove tecniche agricole con quelle convenzionali, utilizzando la metodologia LCA (<i>Life Cycle Assessment</i>) per stimare l'impatto ambientale (gas serra, acidificazione, eutrofizzazione, consumo di risorse non rinnovabili). Gli impatti sono stati stimati in riferimento alla produzione complessiva (espressa come produzione vegetale per ettaro) ed anche rapportati alla superficie coltivata (ha). Parallelamente, è stata valutata la redditività economica, analizzando i costi di produzione e utilizzo dei fertilizzanti rinnovabili rispetto a quelli sintetici, tenendo conto dei costi operativi e dei consumi energetici. Per l'esecuzione dell'analisi economica si è ipotizzato che i risultati sperimentali ottenuti sugli appezzamenti pilota possano essere estesi su superfici a scala reale aziendale.</p> <p>L'analisi della sostenibilità sociale ha indagato la percezione dei giovani consumatori (studenti) sugli effetti delle innovazioni di RESURGE, attraverso una Survey svolta in collaborazione con l'Istituto Tecnico Agrario Statale Raineri-Marcora di Piacenza. I questionari hanno esplorato la percezione degli studenti su salute, sicurezza, inclusione sociale e affidabilità delle tecniche agro-alimentari sostenibili.</p> <p>Questa azione ha fornito una visione integrata degli impatti delle innovazioni di RESURGE, evidenziando i benefici potenziali della loro adozione su larga scala.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Gli obiettivi sono stati tutti quanti raggiunti in modo soddisfacente: non sono stati segnalati particolari scostamenti dal piano di lavoro iniziale (vedi Relazione Tecnica).

2.6.2 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.

UCSC

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Responsabile del progetto	31,00	45	1.395,00
	Contrattista	Collaboratore			2.339,09
	Totale:				3.734,09

CERZOO

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Attività CERZOO	27,00	60	1.620,00
	Totale:				1.620,00

CRPA

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Ricercatore	Coordinamento attività, rilievi, elaborazioni	27,00 43,00	16 30	438,00 1.290,00
	Ricercatore	Analisi dati, elaborazioni	27,00	163	4.401,00
	Ricercatore	Analisi dati, elaborazioni	43,00	79	3.397,00
	Ricercatore	Prove in campo, rilievi, elaborazioni	27,00	33	891,00
	Tecnico	Prove in campo, rilievi	27,00	87	2.344,00
	Totale:				12.761,00

RGR

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Prove in campo, rilievo dati	19,50	68	1.326,00

Totale:	1.326,00
---------	----------

FATTORIA COTTI

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Costo orario	Ore	Costo
	Operaio	Prove in campo, rilievo dati	19,50	42	819,00
Totale:					819,00

2.7 DISSEMINAZIONE

2.7.1 ATTIVITA' E RISULTATI

Azione	Disseminazione
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione attività	<p>CRPA, in stretta collaborazione con tutti i partner del piano, ha messo in atto azioni dirette e indirette volte a rendere fruibili al maggior numero di persone possibile i risultati raggiunti dal progetto.</p> <p>Nei primi mesi di avvio del piano è stata ideata una linea grafica comune per rendere uniforme e riconoscibile il progetto in tutti i prodotti divulgativi.</p> <p>Sul sito web dei Gruppi Operativi per l'Innovazione https://goi.crpa.it/ è stata attivata una pagina dedicata, con le attività e gli obiettivi di RESURGE, le fonti di finanziamento del GOI, i partner e man mano integrata con tutti i prodotti divulgativi realizzati (https://goi.crpa.it/ngcontent.cfm?a_id=24946&tt=t_bt_app1_www) e link al sito di UNICATT https://piacenza.unicatt.it/facolta/agraria-la-ricerca-progetti-di-sviluppo-rurale.</p> <p>È stato realizzato e stampato un roll up da utilizzare durante gli eventi divulgativi (https://goi.crpa.it/media/documents/resurge_www/RS_Resurge_rollup_003_LQ-RGB.pdf?v=20240111).</p> <p>Sono stati pubblicati n. 2 articoli tecnico-divulgativi su riviste di settore + n. 1 articolo (extra, non previsto):</p>

- *Efficacia fertirrigua confermata per l'azoto «recuperato»*, di F. Ardeni, F. Verzellesi, A. Zanaroli, G. Moscatelli, F. Capra, M. Lommi, V. Tabaglio, A. Fiorini; uscito su L'Informatore Agrario n. 18-2024;
- *Su orzo e mais da trinciato usiamo i liquami di stalla*, di Federico Capra, Andrea Ferrarini, Federico Ardeni, Michela Lommi, Michele Croci, Giacomo Mortella, Nicolaj Franceschi, Stefano Amaducci, Vincenzo Tabaglio, Andrea Fiorini – UNICATT; uscito su Terra è Vita n. 23-2024;
- *L'agricoltura guarda avanti con il progetto Resurge*, di Claudia Molinari; uscito su Libertà, 17/07/2024.

Sono state realizzate di n. 5 video-pillole caricate sul sito e diffuse sui social:

- videopillola-1: <https://www.youtube.com/watch?v=tugTaROOfRM>
- videopillola-2: <https://www.youtube.com/watch?v=5kucgmzcAzs>
- videopillola-3: <https://www.youtube.com/watch?v=LMeIeu-udME>
- videopillola-4: <https://www.youtube.com/watch?v=zgnboiUxYLc>
- videopillola-5: https://www.youtube.com/watch?v=7iQ_3Y-nLcU

È stato prodotto un videoclip in italiano, da cui si è ricavata una versione in inglese che descrive i risultati del progetto:

- video in italiano: <https://www.youtube.com/watch?v=Z9rIJPzNE6Q>
- video in inglese: <https://www.youtube.com/watch?v=ASEhPoyurPQ>.

A conclusione del progetto, sono stati organizzati un convegno ed una visita guidata, realizzati entrambi presso il CERZOO di Piacenza, il 9 luglio 2024. L'invito agli eventi è stato diffuso tramite la piattaforma aziendale CRM ad oltre 7.000 portatori di interesse tra allevatori di bovini e suini, agricoltori, impianti di biogas, associazioni di categoria.

Per pubblicizzare convegno e visita guidata, è stato inviato un comunicato stampa con l'anticipazione di qualche risultato del progetto a oltre 400 contatti tra giornalisti e organi della comunicazione.

Ai partecipanti ai due eventi è stata distribuita una cartellina personalizzata con gli articoli pubblicati.

Di seguito le presentazioni:

- L'innovazione, la formazione e la consulenza per il settore agricolo ed agroalimentare dell'Emilia-Romagna – Patrizia Alberti - Regione Emilia-Romagna
(https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/Resurge/presentazione-CF/RESURGE_VG_CF_PC_09072024_Alberti.pdf?v=20240725);
- Analisi ambientale – CRPA
(https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/Resurge/presentazione-CF/RESURGE_VG_CF_PC_09072024_Pignedoli.pdf?v=20240725);

	<ul style="list-style-type: none"> · Sub-irrigazione e solfato ammonico – UNICATT (https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/Resurge/presentazioni-CF/RESURGE_VG_CF_PC_09072024_Ardenti.pdf?v=20240729); · Liquami 4.0: inibitore e rateo variabile – UNICATT https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/Resurge/presentazioni-CF/RESURGE_Presentazione_Capra.pdf?v=20240902; · Fertirrigazione del basilico e della barbabietola da zucchero con solfati ammoniacali di recupero – CRPA https://goi.crupa.it/media/documents/goi_www/Resurge/presentazioni-CF/Mantovi_Zanaroli_RESURGE_presentatione.pdf?v=20240902. <hr/> <p>Durante il convegno finale sono state fatte le riprese per la realizzazione di un servizio televisivo, andato in onda dal 14/07/2024 con successive repliche su varie emittenti a copertura regionale (https://www.youtube.com/watch?v=Vp1wAfHt4gl).</p> <p>Infine, si è data informazione della conclusione del progetto con una news sul sito di CRPA (https://www.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=33367&tt=crpa_www&sp=crpa) e attraverso la newsletter CRPA Informa n. 13 – agosto 2024.</p> <p>Le iniziative intraprese nell’ambito del progetto sono state ulteriormente diffuse anche sui social X e LinkedIn.</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Le attività previste sul piano sono state tutte completate.</p> <p>Per i dettagli tecnici specifici si rimanda ai materiali disponibili nella pagina dedicata sul sito goi.crupa.it (https://goi.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=24946&tt=t_bt_app1_www)</p> <hr/>

2.7.2 PERSONALE

2.7.4 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

CONSULENZE - PERSONE FISICHE

CRPA

Nominativo del	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	1.620,00	definizione linea grafica di progetto, supporto grafico per eventi, materiale illustrativo e divulgativo, leaflet, opuscolo, editing grafico	1.620,00
		comunicati stampa, articoli, riviste del settore, rapporto coi media	4.104,00
Totale:			5.724,00

CONSULENZE – SOCIETÀ

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

2.7.5 SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE

CRPA

Fornitore	Descrizione	Costo
Gourmet di Luca de Marco & C.	Servizio catering: welcome coffee	380,00
I Pasticci di Simona	Servizio catering: light lunch	550,00
	Attività di diffusione: videopillole	
	Attività di diffusione: Realizzazione videoclip	
Agricoltura è vita soc. coop	Servizio televisivo	700,00
TOTALE		5.760,00

2.8 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA

In fase di proposta, per le attività di formazione, era stato presentato (ed approvato) il corso di formazione n° 5518597 “Pratiche agricole efficienti e clima-intelligenti per una gestione sostenibile del suolo e delle risorse, e per la riduzione del rilascio di inquinanti in falda”, con aliquota al 100%.

Tuttavia, durante lo svolgimento del progetto, al fine di garantire un maggior coinvolgimento degli agricoltori e somministrare un’attività di formazione più densa di spunti e idee innovative agli stessi agricoltori, sulla scia dell’esperienza precedente del GOI SOS_AQUAE, si è ritenuto altamente formativo la presentazione del viaggio studio 5703071 “Approcci avanzati per la produzione di fertilizzanti rinnovabili e le loro applicazioni innovative in agricoltura”. Dopo opportuna approvazione da parte degli organi preposti, tale viaggio ha garantito un miglioramento dell’esperienza didattica e con visite in campo in strutture d’eccellenza a livello Europeo legate al progetto GOI. Di seguito vengono riportati i dettagli tecnici ed economici del viaggio studio:

A	B	C	D	E	F
	ANNO	ID PROPOSTA	NR PARTECIPANTI	COSTO UNITARIO	COSTO TOTALE
1	2024	5703071	14	1.154,2	16.158,80

3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL’ATTIVITÀ

Lunghezza max 1 pagina

Criticità tecnico-scientifiche	
Criticità gestionali (ad es. difficoltà con i fornitori, nel reperimento delle risorse umane, ecc.)	
Criticità finanziarie	

4 - ALTRE INFORMAZIONI

5 - CONSIDERAZIONI FINALI

6 - RELAZIONE TECNICA

AZIONE 1. Caratterizzazione delle matrici fertilizzanti e mappatura di precisione del suolo

L'azione 1 si compone di una serie di attività finalizzate alla riduzione del rilascio di inquinanti verso i corpi idrici superficiali e di falda con l'obiettivo di: (i) determinare le principali caratteristiche fisico-chimiche delle matrici fertilizzanti "rinnovabili" derivati dal trattamento di liquami (es. liquami chiarificati, solfato ammonico, struvite); (ii) a partire dalle caratteristiche di queste matrici, conoscere le dinamiche di rilascio nel terreno agrario dei principali macronutrienti (es. N e P), driver dell'inquinamento delle acque; (iii) inferire sull'eterogeneità delle principali caratteristiche fisico-chimiche del suolo "ricevente", al fine di conoscerne la capacità di infiltrazione/ritenzione e limitare le perdite di nutrienti nelle acque.

L'azione 1 si è articolata nelle seguenti fasi:

1. Liquami, Solfato ammonico e Struvite: determinazione delle proprietà fisico-chimiche;
2. Indagine bibliografica sulle dinamiche di disponibilità di N e P dei fertilizzanti;
3. Mappatura *iScan* del terreno di prova.

Liquami, Solfato ammonico e Struvite: determinazione delle proprietà fisico-chimiche

Le matrici utilizzate sono state le seguenti: Effluenti d'allevamento chiarificati ([1] derivati da processi di separazione solido-liquido), soluzione di solfato ammonico di recupero prodotta ([2] da impianti di strippaggio dell'azoto ammoniacale su digestati zootecnici, [3] da processi di trattamento dell'evaporato contenente ammoniaca prodotto da essiccatori di digestati e compost, [4] da trattamenti di lavaggio dell'aria di porcilaie o impianti agricoli di compostaggio delle deiezioni avicole) e [5] struvite (prodotta per cristallizzazione e precipitazione di fosfato ammonio magnesiacico idrato da liquami e digestati in un impianto prototipale sviluppato dal GOI Struvite). Questi materiali sono stati recuperati, campionati ed analizzati dal punto di vista fisico-chimico-microbiologico, avendo come riferimento le analisi richieste dal nuovo regolamento europeo sui fertilizzanti: REGOLAMENTO (UE) 2019/1009 del 5 giugno 2019 (applicato a decorrere dal 16 luglio 2022), che stabilisce le norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti.

In Tabella 1 si elencano, per ciascuna delle 5 matrici fertilizzanti di recupero del progetto RESURGE, le analisi -fisico-chimiche-microbiologiche eseguite. Le analisi di laboratorio sono state a carico di CRPA.

Per ogni tipologia di matrice fertilizzante sono stati individuati ed analizzati 3 prodotti (15 prodotti fertilizzanti in totale) e tra questi sono stati individuati quelli che meglio si prestavano per la fertilizzazione dei campi sperimentali presso CERZOO, RGR e COTTI (Azione 2).

La crescente disponibilità di fertilizzanti “rinnovabili” derivanti dai processi di trattamento dei liquami e arie comporta la necessità di conoscerne le caratteristiche, al fine di impiegarne al meglio il potere fertilizzante.

Tabella 1. Matrici fertilizzanti di recupero oggetto di caratterizzazione e parametri -fisico- chimico- microbiologici indagati per ciascuna matrice.

	Matrice	Parametri analitici indagati
1	Liquami chiarificati	Solidi totali – Solidi volatili – Carbonio organico totale – pH – Azoto totale – Azoto ammoniacale – Fosforo totale
2	Solfato ammonico da strippaggio PFC1(C)(I)(b)(I)*	Solidi totali – Solidi totali sospesi – Carbonio organico totale – pH – Azoto totale – Azoto ammoniacale – Azoto nitrico – Zolfo (S)
3	Solfato ammonico da essiccazione PFC1(C)(I)(b)(I)*	Solidi totali – Solidi totali sospesi – Carbonio organico totale – pH – Azoto totale – Azoto ammoniacale – Azoto nitrico – Zolfo (S)
4	Solfato ammonico da lavaggio aria PFC1(C)(I)(b)(I)*	Solidi totali – Solidi totali sospesi – Carbonio organico totale – pH – Azoto totale – Azoto ammoniacale – Azoto nitrico – Zolfo (S)
5	Struvite da trattamento digestato suinicolo con sistema prototipale GO Struvite CMC 12**	Solidi totali – Carbonio organico totale – pH – Azoto totale – Fosforo totale – Magnesio – Metalli – E. coli e Salmonella

(*) classificazione come da REGOLAMENTO (UE) 2019/1009.

(**) classificazione come da REGOLAMENTO DELEGATO (UE) 2021/2086 del 5 luglio 2021 che ha modificato gli allegati II e IV del REGOLAMENTO (UE) 2019/1009 del 5 giugno 2019.

In tabella 2 si riportano le caratteristiche fisico-chimiche delle matrici fertilizzanti applicate ai campi sperimentali presso CERZOO. Si evidenzia come i liquami chiarificati utilizzati nelle diverse epoche siano caratterizzati da un basso tenore di sostanza secca (ST, solidi totali) e da un contenuto di azoto (N) che per oltre il 50% risulta essere nella forma ammoniacale prontamente disponibile, caratteristiche tipiche delle frazioni chiarificate post-trattamento di separazione solido-liquido. Interessante e significativo il tenore di azoto che si raggiunge (4.17 kg t^{-1} rispetto a 1.68 kg t^{-1}) additivando il liquame col solfato ammonico di recupero, dosando 35 L di solfato ammonico ad ogni metro cubo di liquame distribuito.

Tabella 2. Composizione fisico-chimica delle matrici fertilizzanti impiegate nelle prove condotte presso CERZOO

CS	Epoca	Matrice	pH	ST	SV	NTK	N-NH ₄ ⁺	TOC		Ptot
			[-]	[%tq]	[%ST]	[g kg ⁻¹ tq]	[%NTK]	[%ST]	C/N	[mg kg ⁻¹ tq]
Azienda CERZOO	Copertura dell'orzo di primo raccolto	Liquame chiarificato	7.00	2.38	71.9	1.68	60.3	46.5	6.59	306
		Liquame chiarificato + inibitore della nitrificazione	7.26	2.28	72.9	1.63	61.5	47.2	6.60	290
		Liquame + solfato ammonico	7.26	3.29	76.6	4.17	78.4	33.5	3.59	295
	Pre-semina mais di secondo raccolto	Liquame chiarificato	7.14	2.84	65.1	1.99	62.6	64.3	9.17	433
	Copertura mais di secondo raccolto	Liquame chiarificato	7.32	3.31	67.6	1.83	51.4	44.2	7.9	386
		Liquame chiarificato + inibitore della nitrificazione	7.65	2.32	62.9	1.46	63.5	39.7	6.4	262

In tabella 3 si riportano le caratteristiche fisico-chimiche dei 3 solfati ammonici derivanti da strippaggio dell'azoto ammoniacale da digestato. Il solfato ammonico denominato "Martino Rossi" è stato quello impiegato nelle prove condotte sia presso CERZOO che presso COTTI sul basilico, in quanto caratterizzato dal miglior tenore di azoto e, non secondario, iscritto al registro dei fertilizzanti sia il prodotto che il produttore, secondo la normativa italiana D.Lgs. 75/2010 ed europea REGOLAMENTO (UE) 2019/1009.

Tabella 3. Caratterizzazione analitica dei solfati ammonici da strippaggio

		Solfato ammonico Martino Rossi	Solfato ammonico da impianto biogas 1	Solfato ammonico da impianto biogas 2
pH	[-]	4.27	7.38	3.56
ST	[g/kg tq]	367.4	297.68	325.65
	[%tq]	36.74	29.768	32.565
NTK	[mg/kg tq]	76745	63518	67652
	% in peso	7.7	6.4	6.8
	[%ST]	20.9	21.3	20.8
N-NH ₄ ⁺	[mg/kg tq]	76745	62446	66368
	[%NTK]	100.0	98.3	98.1
TOC	[%ST]	2.58	2.24	1.09
	% in peso	0.95	0.67	0.35
	C/N	0.123	0.105	0.052
N-NO ₃ ⁻	[mg/kg tq]	NR	NR	NR
SO ₄ ²⁻	[mg/kg tq]	464507	182061	177789
	SO ₄ -/N	6.05	2.87	2.63
S	[mg/kg tq]	154836	60687	59263
	mg/kg s.s.	421436	203867	181984

In tabella 4 si riportano le caratteristiche dei solfati ammonici prodotti dal processo di essiccazione: i primi due da essiccazione del digestato, il terzo da essiccazione di pellet prodotto da un impianto di compostaggio di lettiere avicole. Se si esclude il campione "digestato 1", gli altri due hanno un ottimo tenore di azoto (>6% e come richiesto dalla normativa italiana). Da notare che queste tipologie di solfati da essiccazione sono caratterizzati mediamente da un maggiore tenore di carbonio organico totale (TOC), espresso come % in peso, rispetto ai solfati ammonici da strippaggio.

In tabella 5 si riportano le caratteristiche dei solfati ammonici derivati dal trattamento dell'aria estratta: nel primo caso dai capannoni di compostaggio di lettiere avicole, nei restanti due casi dal trattamento dell'aria interna delle porcilaie. In entrambi i casi la finalità del trattamento consiste nel depurare il flusso d'aria dall'ammoniaca presente, attraverso il lavaggio in controcorrente in scrubber acido con formazione del solfato d'ammonio. Il solfato ammonico denominato "Solfato ammonico da compostaggio" è stato quello impiegato nelle prove condotte sulla barbabetola presso RGR.

Tabella 4. Caratterizzazione analitica dei solfati ammoniacali da essiccazione

		Solfato ammonico da essiccazione digestato 1	Solfato ammonico da essiccazione digestato 2	Solfato ammonico da essiccazione pellet lettiera avicola
pH	[-]	2.43	1.29	7.6
ST	[g/kg tq]	174.54	348.16	336.25
	[%tq]	17.45	34.82	33.63
NTK	[mg/kg tq]	36175	65712	61354
	% in peso	3.6	6.6	6.1
	[%ST]	20.7	18.9	18.2
N-NH ₄ ⁺	[mg/kg tq]	35137	65339	60372
	[%NTK]	97.1	99.4	98.4
TOC	[%ST]	2.70	3.52	3.20
	% in peso	0.47	1.23	1.08
	C/N	0.13	0.19	0.18
N-NO ₃ ⁻	[mg/kg tq]	NR	NR	NR
SO ₄ ⁻	[mg/kg tq]	109407	151778	222825
	SO ₄ -/N	3.02	2.31	3.63
S	[mg/kg tq]	36469	50593	74275
	mg/kg s.s.	131847	182909	268529

Tabella 5. Caratterizzazione analitica dei solfati ammoniacali da trattamento delle arie al fine di ridurre le emissioni ammoniacali da impianti agro-zootecnici

		Solfato ammonico da compostaggio	Solfato ammonico da ricovero suinicolo 1	Solfato ammonico da ricovero suinicolo 2
pH	[-]	7.6	0.31	3.42
ST	[g/kg tq]	291.9	423.5	262.0
	[%tq]	29.19	42.35	26.20
NTK	[mg/kg tq]	61354	64332	48875
	% in peso	6.1	6.4	4.9
	[%ST]	21.0	15.2	18.7
N-NH ₄ ⁺	[mg/kg tq]	60372	63709	48786
	[%NTK]	98.4	99.0	99.8
TOC	[%ST]	1.61	3.25	4.63
	% in peso	0.47	1.38	1.21
	C/N	0.08	0.21	0.25
N-NO ₃ ⁻	[mg/kg tq]	7.3	153.7	61.8
SO ₄ ⁻	[mg/kg tq]	259980	336534	199291
	SO ₄ -/N	4.24	5.23	4.08
S	[mg/kg tq]	86660	112178	66430
	mg/kg s.s.	296862	264871	253561

In tabella 6 si riportano le caratteristiche chimico-fisiche-microbiologiche della matrice fertilizzante a base di struvite recuperata. In questo caso il regolamento europeo richiede le analisi dei metalli pesanti e della carica batterica, come riportato in tabella. Nella colonna a destra i parametri e limiti che il prodotto deve rispettare per il REGOLAMENTO (UE) 2019/1009.

Tabella 6. Caratterizzazione analitica della struvite (fosfato ammonio magnesiaco esaidrato)

		Struvite da GO STRUVITE	Struvite da depuratore	Struvite da impianto biogas	Limiti RG. (UE) 1019/1009
pH	[-]	9.4	8.67	8.49	-
ST	[g/kg tq]	122.5	461.3	489.3	-
	[%tq]	12.2	46.1	48.9	
NTK	[mg/kg tq]	8035	55115	45788	-
	% in peso	0.8	5.5	4.6	-
	[%ST]	6.56	11.95	9.36	-
TOC	[%ST]	30.9	3.8	7.0	-
	% in peso	3.78	1.77	3.41	3%
	C/N	4.71	0.32	0.75	-
P tot	[mg/kg tq]	4657	139157	115422	-
	[mg/kg ST]	38019	301650	235902	-
	% in peso	0.5	13.9	11.5	7% (16% P ₂ O ₅)
	[%ST]	3.80	30.16	23.59	-
SV	[g/kg tq]	61.8	87.4	91.5	-
	[%ST]	50.4	18.9	18.7	-
Mg	[mg/kg tq]	4001	115029	98102	
	[mg/kg ST]	32662	249348	200502	-
	[%ST]	3.27	24.93	20.05	-
Ni	[mg/kg tq]	1.06	24.91	7.99	-
	[mg/kg ST]	8.69	54	16.33	100
Cu	[mg/kg tq]	34.53	18.4	10.99	-
	[mg/kg ST]	281.91	39.88	22.46	600
Zn	[mg/kg tq]	129.66	37.11	35.28	-
	[mg/kg ST]	1058	80.45	72.1	500
Cr totale	[mg/kg tq]	2.83	61.67	20.62	-
	[mg/kg ST]	23.13	133.68	42.15	-
Cd	[mg/kg ST]	<0.2	1.09	0.43	3
Hg	[mg/kg ST]	<0.2	<0.2	<0.2	1
Pb	[mg/kg tq]	0.47	13.42	3.03	-
	[mg/kg ST]	3.87	29.09	6.19	120
Escherichia coli	UFC/g	<10	<10	<10	<1000
Salmonella	/25 g	assente	assente	assente	assente

Indagine bibliografica sulle dinamiche di disponibilità di N e P dei fertilizzanti

Sempre nella cornice dell'azione 1, è stata realizzata un'Indagine bibliografica sulle dinamiche di disponibilità di N e P dei fertilizzanti.

Introduzione

L'obiettivo principale di questa fase progettuale è approfondire la comprensione delle dinamiche di disponibilità dei principali nutrienti, in particolare l'azoto (N) e il fosforo (P), nei fertilizzanti rinnovabili derivati dal trattamento di liquami. Questa fase rappresenta un passaggio cruciale per lo sviluppo di strategie di fertilizzazione più sostenibili su ampia scala, in grado di aumentare l'efficienza d'uso dei nutrienti e minimizzare l'impatto ambientale, in particolare la contaminazione delle acque superficiali e di falda.

Contesto e Importanza dell'Indagine Bibliografica

La crescente disponibilità di fertilizzanti rinnovabili, come il solfato ammonico, la struvite e i liquami chiarificati, rappresenta una significativa opportunità per migliorare la sostenibilità dell'agricoltura. Tuttavia, l'efficacia agronomica di questi fertilizzanti dipende in larga misura dalla loro capacità di rilasciare i nutrienti nel terreno in modo che siano prontamente disponibili per le piante, ma con un rischio ridotto di perdite per lisciviazione e/o run-off. Comprendere le dinamiche di rilascio e disponibilità di N e P è quindi fondamentale per ottimizzare l'impiego di questi fertilizzanti e sviluppare piani di concimazione che ne massimizzino l'efficacia e riducano al minimo le perdite ambientali.

Metodologia dell'Indagine Bibliografica

L'indagine è stata condotta attraverso una revisione della letteratura scientifica e tecnica esistente, incluse pubblicazioni *peer-reviewed*, rapporti tecnici, e documentazione di progetti dimostrativi e di ricerca, condotti in ambito regionale. Sono stati presi in considerazione studi che hanno analizzato fertilizzanti rinnovabili simili a quelli oggetto del progetto, con particolare attenzione alle dinamiche di rilascio di N e P in diverse condizioni pedoclimatiche e gestionali.

Risultati dell'Indagine

1. Solfato Ammonico

Il solfato ammonico è un fertilizzante azotato ampiamente utilizzato, che offre anche una significativa quantità di zolfo (S). La letteratura indica che il rilascio di N sotto forma di ammonio (NH_4^+) è relativamente rapido (2-3 giorni), con una buona disponibilità per le piante subito dopo l'applicazione¹. Tuttavia, in suoli con pH neutro o basico, l'ammonio può essere rapidamente convertito in nitrato (NO_3^-) attraverso il processo di nitrificazione, aumentando il rischio di lisciviazione (+20-25% rispetto a suoli con pH sub-acido), soprattutto in condizioni di elevata piovosità o di abbondanti irrigazioni².

Un aspetto critico per l'uso sostenibile del solfato ammonico è quindi la gestione delle condizioni del suolo per controllare la nitrificazione e la conseguente lisciviazione di nitrati³. Studi suggeriscono che l'inibizione della nitrificazione o l'applicazione in banda possono ridurre significativamente le

perdite di N (fino a un 30%, con apporti inferiori a 150 kg N ha⁻¹) e migliorare l'efficienza d'uso del fertilizzante⁴.

2. Struvite

La struvite è un fosfato di ammonio e magnesio, spesso recuperato da effluenti di trattamento delle acque reflue. La struvite è considerata una fonte di fosforo a lento rilascio, il che la rende particolarmente interessante in termini di riduzione del rischio di lisciviazione e *run-off* di P⁵. La letteratura mostra che la disponibilità di P da struvite è influenzata da vari fattori, tra cui il pH del suolo, la presenza di microbiota specifico, e la granulometria della struvite stessa⁶.

In condizioni di pH neutro o leggermente acido, la struvite tende a rilasciare P in modo graduale, garantendo una disponibilità prolungata nel tempo, che coincide meglio con le esigenze nutrizionali delle colture. Tuttavia, in suoli alcalini, il rilascio di P può essere limitato, richiedendo strategie di gestione specifiche, come l'uso di acidi organici o microrganismi promotori del rilascio di fosforo⁷.

3. Liquami Chiarificati

I liquami chiarificati rappresentano una fonte importante sia di N che di P, ma la loro composizione può variare notevolmente a seconda del processo di trattamento utilizzato. La disponibilità di N dai liquami chiarificati è generalmente alta, ma la frazione ammoniacale può rapidamente volatilizzarsi o nitrificarsi, con conseguente rischio di lisciviazione di nitrati⁸. Il P, invece, è spesso legato a particelle solide (i.e., sostanza organica), rendendone il rilascio meno immediato rispetto ai fertilizzanti minerali⁹.

Gli studi indicano che l'integrazione di liquami chiarificati con altri fertilizzanti organici o minerali può migliorare l'efficienza d'uso di entrambi i nutrienti, riducendo al contempo le perdite ambientali¹⁰. Inoltre, tecniche di applicazione localizzata e l'uso di coperture vegetali possono ulteriormente limitare le perdite di nutrienti¹¹.

4. Dinamiche di N e P nei Suoli Riceventi

L'efficacia dei fertilizzanti rinnovabili è strettamente legata alle caratteristiche fisico-chimiche del suolo ricevente. La capacità di ritenzione di N e P dipende da fattori come la tessitura del suolo, il contenuto di sostanza organica, la capacità di scambio cationico (CSC) ed il pH¹². Suoli sabbiosi, ad esempio, presentano un rischio maggiore di lisciviazione di N e P rispetto a suoli argillosi o limosi, che offrono una maggiore capacità di ritenzione¹³.

La letteratura evidenzia come la gestione della fertilizzazione dovrebbe essere sito-specifica, tenendo conto delle variazioni spaziali nelle proprietà del suolo. Mappe di variabilità del suolo, ottenute attraverso tecniche di agricoltura di precisione, sono strumenti necessari per ottimizzare l'applicazione dei fertilizzanti rinnovabili, favorendo una distribuzione che massimizzi l'efficienza nutrizionale, minimizzando le perdite ambientali¹⁴.

Discussione e Implicazioni per la Pratica Agronomica

I risultati dell'indagine bibliografica sottolineano l'importanza di una gestione agronomica mirata per l'uso efficace dei fertilizzanti rinnovabili. La disponibilità di N e P non è solo funzione delle caratteristiche del fertilizzante stesso, ma anche delle interazioni complesse con il suolo e le condizioni ambientali. Strategie di gestione integrate, che combinano l'uso di inibitori della

nitrificazione, tecniche di applicazione localizzate, e la gestione della copertura vegetale, possono migliorare l'efficienza d'uso dei nutrienti e ridurre le perdite ambientali.

Inoltre, l'uso di tecniche di mappatura del suolo può facilitare una gestione di precisione dei fertilizzanti, adattando le dosi e i tempi di applicazione alle specifiche condizioni delle singole zone del campo. Questo approccio non solo migliora l'efficienza agronomica, ma contribuisce anche alla protezione delle risorse idriche, riducendo l'apporto di nutrienti in eccesso nei corpi idrici superficiali e di falda.

Conclusioni

L'indagine bibliografica ha fornito una solida base di conoscenze sulle dinamiche di disponibilità di N e P nei fertilizzanti rinnovabili, evidenziando l'importanza di una gestione agronomica sito- e coltura-specifica. Questi risultati saranno fondamentali per la successiva fase del progetto, che prevede la definizione di piani di concimazione sostenibili, in grado di massimizzare l'efficacia dei fertilizzanti rinnovabili e minimizzare il loro impatto ambientale.

Mappatura iScan del terreno di prova

Da ultimo, sono state realizzate delle mappe di variabilità del terreno in prova attraverso un sistema *on-the-go*, con lo strumento *iScan* di Veris Technologies.

I parametri considerati nella realizzazione della scansione sono stati la granulometria del suolo (sabbia, limo, e argilla), la capacità di scambio cationico (CSC) e la concentrazione di carbonio organico, da cui derivare quella della sostanza organica.

Il contenuto in sabbia è risultato decisamente basso – in linea con la classe tessiturale preponderante aziendale (franco-limoso-argilloso), ma omogeneo, oscillando tra un minimo dell'8% ed un massimo del 10% (Figura 1). Anche la frazione argillosa risulta molto omogenea in tutto l'appezzamento (43.5 – 45.0%), mentre il limo è la frazione relativamente più variabile (45 – 49%) (Figura 1).

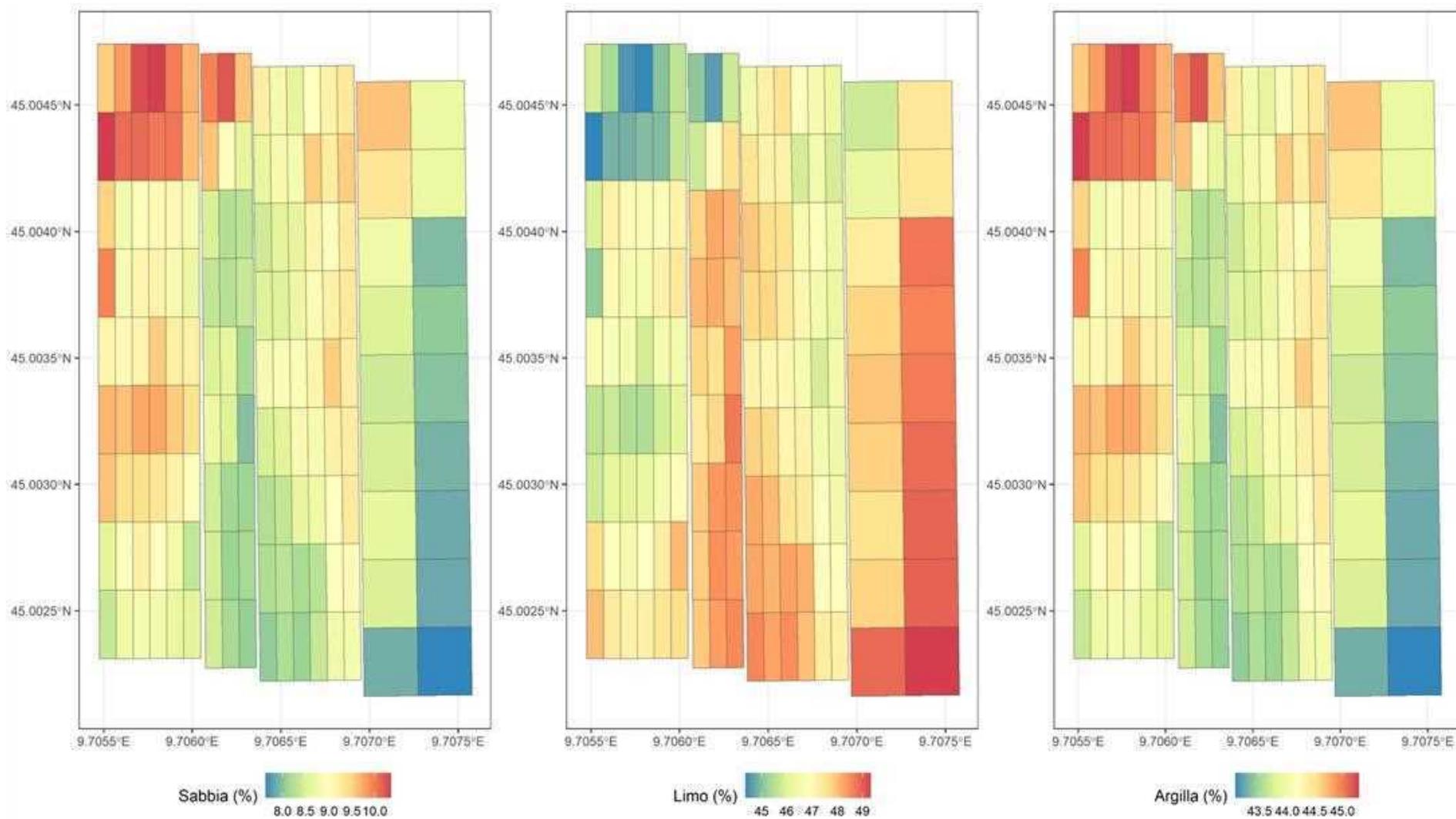


Figura 1. Andamento delle frazioni granulometriche all'interno dell'appezzamento in prova per l'azione 3, presso l'azienda CERZOO

I parametri di fertilità fisico-chimica, CSC e sostanza organica suggeriscono poi una stretta correlazione con il tenore in argilla, secondo un gradiente calante da nord-ovest verso sud-est, e con una fascia a fertilità leggermente più elevata a ridosso del confine tra il settore dedicato alla concimazione con liquame additivato con solfato ammonico e concime minerale (Figura 2).

In termini assoluti, il range di variazione per questi due parametri si è rivelato molto ridotto, mantenendosi inoltre su valori medio-elevati per entrambi (tra 27 e 29 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ per la CSC, e tra 2.8 e 3.1% per la sostanza organica). Il contenuto in azoto totale (Figura 2), invece, non ricalca gli andamenti appena descritti per gli altri parametri: qui le concentrazioni sono infatti maggiormente transitorie, essendo ovviamente legate alle dinamiche di concimazione durante la stagione colturale precedente, a differenza della sostanza organica, i cui ritmi di accumulo sono invece da ricondurre a tempistiche pluriennali, così come le eventuali variazioni della CSC.

Nel complesso, tali parametri restituiscono il quadro di uno status di buona fertilità nutritiva per l'appezzamento.

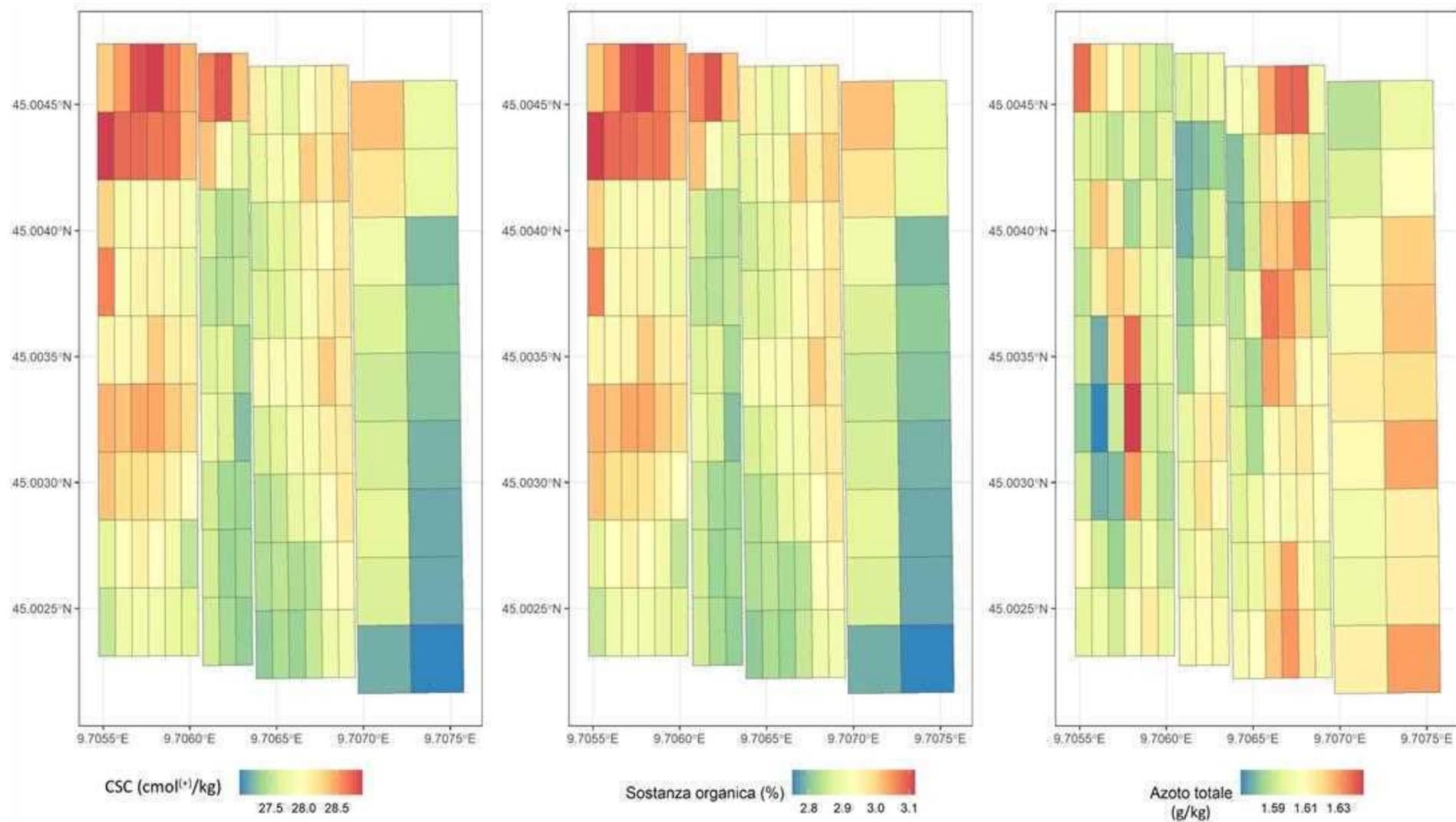


Figura 2. Andamento dei principali parametri di fertilità chimica del terreno (CSC, Sostanza organica e azoto totale) all'interno dell'appezzamento in prova per l'azione 3, presso l'azienda CERZOO.

AZIONE 2. Agrosistemi *climate-smart* per l'adattamento al cambiamento climatico

Presso l'Azienda Sperimentale CERZOO della Facoltà di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza-Cremona è stato installato un impianto SDI (*Sub-surface drip irrigation*) su un appezzamento di terreno gestito con il metodo del *no-till* e l'utilizzo di *cover crop* invernali. L'obiettivo dell'installazione era testare le migliori modalità di posa in un tipico terreno emiliano (franco-limoso-argilloso). A tal fine, sono stati realizzati due settori con differenti interassi tra le ali gocciolanti: 70 cm (SDI70) e 140 cm (SDI140). Questo impianto è stato impiegato all'interno delle attività progettuali, abbinato alla fertirrigazione con solfato ammonico su mais da granella. Inoltre, per massimizzare l'efficienza nell'utilizzo del fertilizzante rinnovabile e minimizzare le perdite di azoto (N) nelle acque, sono state somministrate due diverse dosi di concime per ciascuna delle due distanze tra le ali: il 100% del fabbisogno di N (stimato secondo il bilancio) e l'80% (in linea con gli obiettivi della strategia *Farm-to-Fork*). Il sistema SDI abbinato alla fertirrigazione con solfato ammonico è stato confrontato con un sistema tradizionale basato su lavorazioni intense del suolo, come aratura ed erpicatura (*conventional tillage* – CT), e sull'irrigazione per aspersione (irrigatore con recupero a motore). L'impostazione del campo sperimentale è rappresentata in figura 3.

La gestione agronomica del campo sperimentale ha previsto l'apporto di circa 260 mm di acqua di

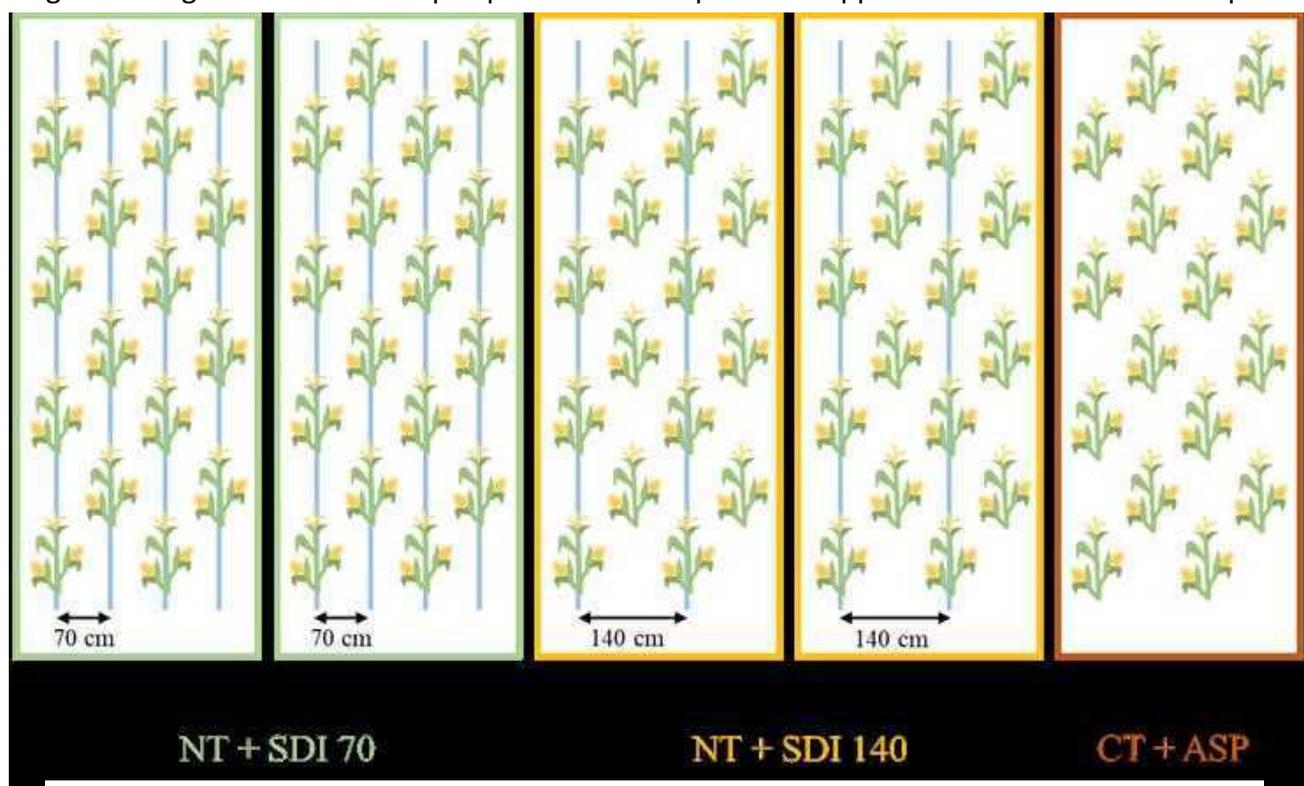


Figura 3. Impostazione del campo sperimentale focalizzato sull'utilizzo di solfato ammonico in sub-irrigazione su mais da granella.

irrigazione nel trattamento CT-Aspersione e di circa 220 mm nei trattamenti SDI (tabella 7). La riduzione dell'apporto idrico nei trattamenti SDI è stata adottata per sfruttare la minore evaporazione garantita da questo tipo di impianto. Somministrando l'acqua in profondità nel terreno, è possibile ottenere efficienze di utilizzo superiori al 90%, permettendo così di ridurre gli apporti rispetto a sistemi tradizionali.

Durante la stagione colturale è stato costantemente aggiornato un bilancio idrico, che ha consentito il calcolo accurato dei fabbisogni idrici di ciascun trattamento. In tabella 7 sono riportati, inoltre, gli erbicidi applicati in ogni trattamento e le relative dosi di distribuzione.

Trattamento	Apporti totali	Erbicidi applicati
CT-Aspersione	260 mm	Roundup Platinum (1.5 L ha ⁻¹) + Neat (1.5 L ha ⁻¹) + Banvel (0.5 L ha ⁻¹)
NT-SDI70	220 mm	Roundup Platinum (1.5 L ha ⁻¹) + Neat (1.5 L ha ⁻¹) + Banvel (0.5 L ha ⁻¹)
NT-SDI140	220 mm	Roundup Platinum (1.5 L ha ⁻¹) + Neat (1.5 L ha ⁻¹) + Banvel (0.5 L ha ⁻¹)

Tabella 7. Apporti idrici e trattamenti fitosanitari realizzati per la conduzione della prova presso CERZOO

I parametri misurati durante la stagione colturale includono le performance produttive del mais (produzione di granella e di biomassa, oltre che le asportazioni di azoto, l'umidità del suolo, la dinamica dei nitrati e del carbonio nel terreno, e il grado di sviluppo delle specie avventizie.

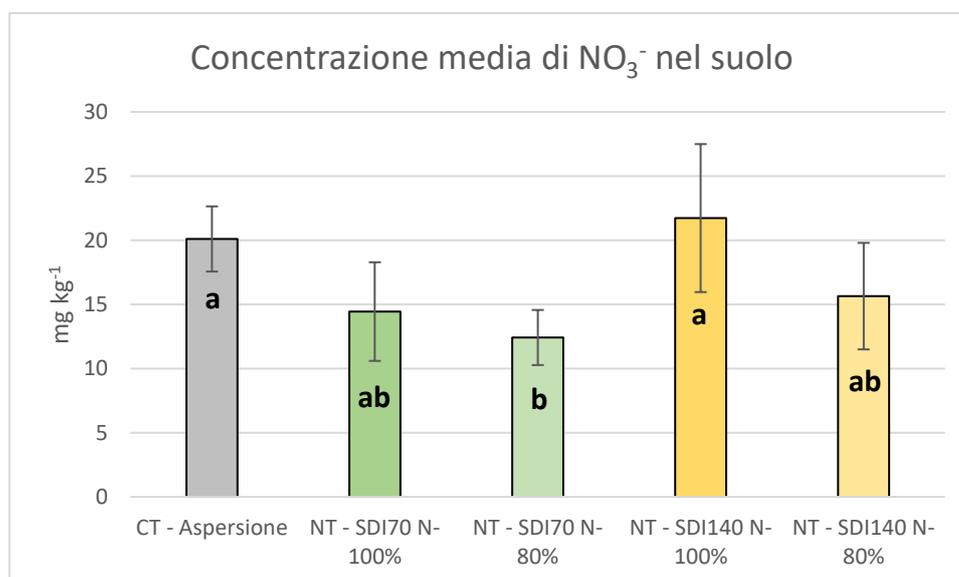


Figura 4. Concentrazione media NO₃⁻ nel suolo durante la stagione colturale del mais.

La figura 4 mostra il contenuto medio di nitrati nel suolo durante l'intera stagione colturale del mais. Tra i trattamenti, quello irrigato mediante aspersione (20.0 mg kg⁻¹) e quello SDI140 con fertilizzazione al 100% (21.7 mg kg⁻¹) presentano i valori medi più elevati di nitrati nel suolo. Al contrario, gli altri trattamenti mostrano valori più contenuti, in particolare il trattamento SDI70 con fertilizzazione ridotta all'80%, che risulta infatti statisticamente diverso. La concimazione tramite sub-irrigazione è stata suddivisa in diversi interventi (6-7), permettendo di distribuire l'apporto di

azoto nel tempo e favorendo un più efficiente assorbimento da parte della coltura. Al contrario, nel caso dell'aspersione, la concimazione è stata effettuata in due interventi con dosi più elevate, il che ha favorito l'accumulo di nitrati nel suolo e ridotto l'assorbimento da parte della coltura. Inoltre, nei due diversi trattamenti SDI, l'interasse ridotto a 70 cm tra le ali gocciolanti ha permesso un'applicazione dell'azoto più omogenea nello spazio (in corrispondenza di ogni ala gocciolante), riducendo le perdite e favorendo un miglior assorbimento da parte della coltura.

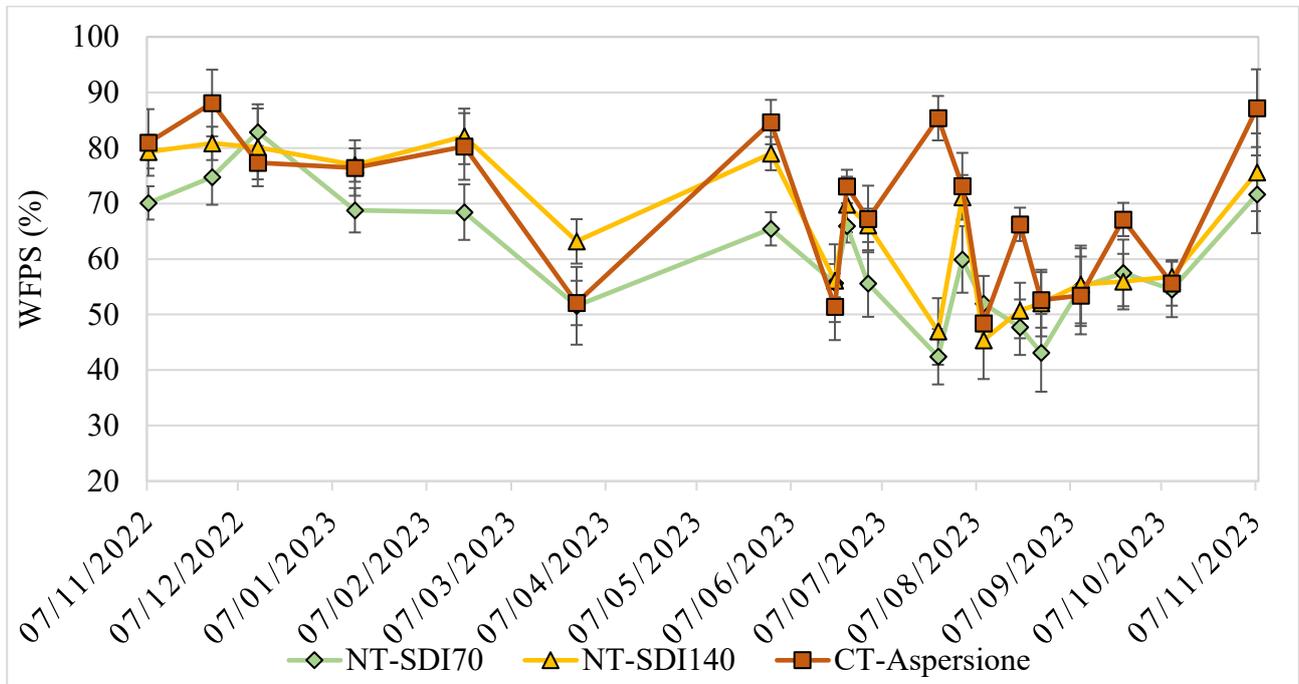


Figura 5. Andamento della porosità satura del suolo (Water-Filled Pore Space).

L'andamento dell'umidità del suolo, espressa come spazio poroso occupato dall'acqua, è illustrato in figura 5. Analogamente a quanto osservato per il contenuto di nitrati, il tenore idrico del suolo è risultato mediamente più elevato nel trattamento irrigato ad aspersione. Questo è dovuto principalmente ai maggiori volumi idrici totali applicati durante la stagione colturale e alla minore frequenza degli interventi irrigui, caratterizzati però da quantità d'acqua più elevate. Ciò ha portato a momenti in cui l'umidità del suolo ha raggiunto livelli particolarmente elevati, come l'85% registrato il 25/07/2023. Si conferma inoltre la migliore distribuzione spaziale delle risorse nel trattamento SDI70, grazie alla minore distanza tra le ali gocciolanti, che ha permesso un'irrigazione più uniforme ed ha evitato la creazione di "hot-spots" con alti valori di umidità, come nel caso di SDI140.

Tabella 8. Densità apparente, concentrazione di carbonio e stock di carbonio del suolo.

Trattamento	Densità apparente (g cm ⁻³)	Concentrazione di C (g kg ⁻¹)	Stock di C (Mg ha ⁻¹)
CT – Aspersione	1.37 b	11.6 b	18.5 b
NT-SDI	1.45 a	13.6 a	21.7 a

Al termine dell'annata agraria 2023, sono state analizzate alcune caratteristiche fisico-chimiche dei terreni oggetto di studio. In particolare, sono stati determinati la densità apparente, la concentrazione e lo stock di carbonio nel suolo (tabella 8). Le analisi hanno evidenziato che il *no-till*, abbinato ad un sistema di irrigazione efficiente, può incrementare sia la concentrazione, sia lo stock di carbonio nel suolo. Questo è attribuibile ai maggiori input di materiale organico (ad esempio, attraverso le *cover crop*) ed al minore disturbo del suolo, che riduce la mineralizzazione della sostanza organica. Tuttavia, è importante segnalare l'aumento del valore di densità apparente nel trattamento NT-SDI, il che potrebbe indicare un certo livello di compattamento del terreno.

Nella seguente tabella (9) sono riportate le caratteristiche fisico-chimico-biologiche dell'acqua di irrigazione utilizzata presso il sito sperimentale.

Tabella 9. Caratteristiche dell'acqua di irrigazione utilizzata presso il sito sperimentale.

Parametro	Valore (mg L⁻¹)	Note
Durezza totale	335 (35.5° F)	Carbonati di calcio
Durezza permanente	10.85	
Indice di Kubel	3.6	Sostanze organiche
Bicarbonati	366	
Residuo fisso	402	Sostanze inorganiche
Solidi sospesi	0.2	
Ammonio	< 0.04	
Nitrato	83	
Nitrito	< 0.01	
Cloruro	23.2	
Solfato	44.8	
Parametro	Valore (µg L⁻¹)	Note
Ferro	5	
Manganese	117	
Parametro	Valore (unità di pH)	Note
pH	7.6	
Parametro	Valore (µS cm⁻¹)	Note
Conduttività	778	A 20 °C
Parametro	Valore (UFC 100 mL⁻¹)	Note
Batteri coliformi	0	A 37 °C
Escherichia coli	0	
Enterococchi	0	

In figura 6 viene riportata la produzione di granella e di biomassa in sostanza secca del mais durante l'annata 2023 nei vari trattamenti studiati.

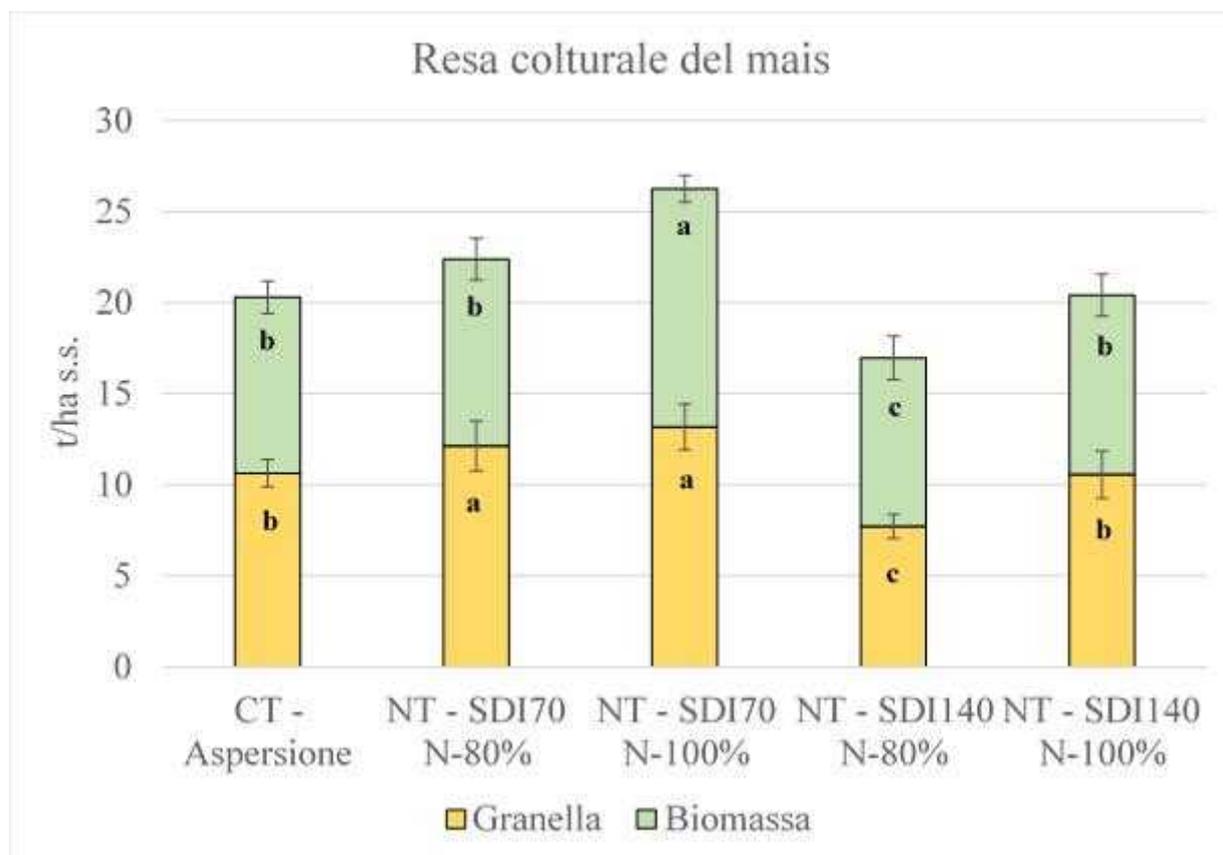


Figura 6. Risultati produttivi del mais presso l'azienda CERZOO in funzione della diversa tesi fertirrigua.

La tesi che ha permesso di ottenere la resa più elevata di granella è risultata essere SDI con manichette distanti 70 cm al 100% di dose fertilizzante (13.2 t ha⁻¹). Essa, infatti, ha garantito rese statisticamente superiori del 25% rispetto al sistema tradizionale CT con aspersione (10.6 t ha⁻¹). Occorre segnalare la buona performance della tesi SDI70 all'80% di dose fertilizzante che ha ottenuto una resa leggermente inferiore rispetto alla dose piena di fertilizzante (12.1 t ha⁻¹), ma non statisticamente differente dai due sistemi sopracitati. SDI140 ha mostrato rese più contenute, sia nella variante con 100% della dose di fertilizzante (10.6 t ha⁻¹), sia in quella con l'80% della dose (7.7 t ha⁻¹). In termini di biomassa, i risultati sono allineati con quanto già visto per la granella: SDI70 con 100% della dose di fertilizzante risulta essere la tesi più produttiva, mentre SDI140 all'80% della dose di fertilizzante ha ridotto la produzione di biomassa rispetto alla tesi CT irrigata per aspersione.

I benefici del sistema SDI sono da attribuire alla miglior distribuzione spaziale e temporale di acqua ed azoto. Essi, infatti, vengono distribuiti in più interventi frazionati e in vicinanza dell'apparato radicale delle colture, limitando le perdite (per lisciviazione e/o emissione) e favorendo l'assorbimento, specialmente con interasse a 70 cm. Infatti, in questo caso ogni manichetta è posizionata al di sotto di ogni fila colturale del mais, permettendo una distribuzione omogenea delle risorse nello spazio. Al contrario, nel caso dell'interasse a 140 cm l'applicazione di acqua e fertilizzante avviene ogni due file colturali, causando una distribuzione maggiormente disomogenea e limitando così la produzione della coltura. Infine, nel caso dell'irrigazione per aspersione, l'acqua

viene applicata ogni 10-14 giorni in quantità considerevoli, il che aumenta le perdite per evaporazione. Inoltre, la fertilizzazione azotata è concentrata in 1/2 interventi, creando spesso uno sfasamento tra la disponibilità di nutrienti e la richiesta delle colture, favorendo perdite ed inefficienze.

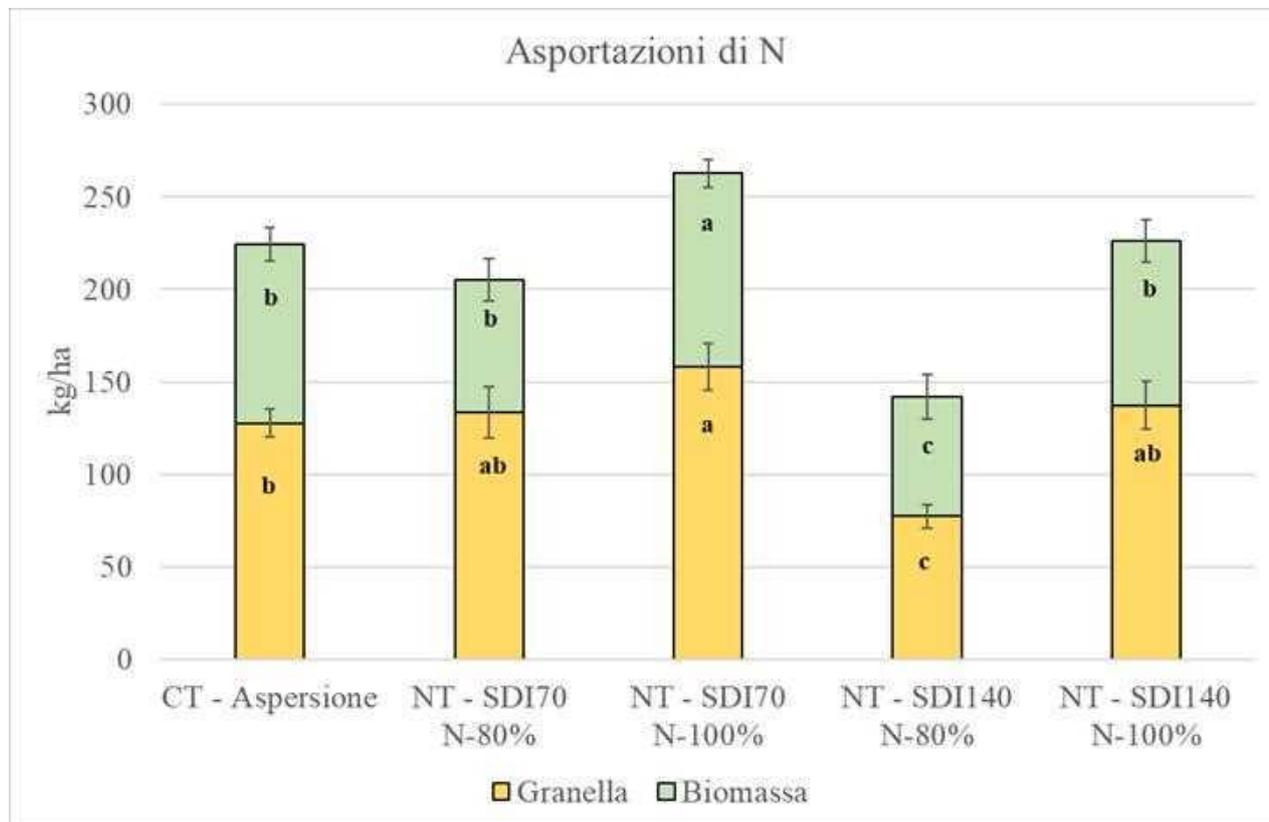


Figura 7. Asportazioni azotate del mais presso l'azienda CERZOO in funzione della diversa tesi fertirrigua.

Le asportazioni di azoto nella granella e nella biomassa del mais seguono, in linea di massima, gli stessi andamenti osservati per le produzioni (figura 7). Il trattamento con le asportazioni di azoto più elevate è risultato essere SDI70 al 100% di fertilizzazione, con oltre 250 kg di N asportati per ettaro, un valore statisticamente superiore rispetto all'aspersione. È importante sottolineare le buone performance anche del trattamento SDI70 con concimazione ridotta all'80%, che ha asportato poco più di 200 kg di N per ettaro. Le asportazioni più basse sono state rilevate nel trattamento SDI140 con concimazione ridotta, con circa 150 kg di N per ettaro. Le ragioni di questi risultati sono riconducibili agli stessi fattori già discussi in relazione alle produzioni: una migliore distribuzione temporale delle risorse e maggiori efficienze nel caso del sistema SDI rispetto all'aspersione, oltre a una migliore distribuzione spaziale delle risorse nel confronto tra SDI70 e SDI140.

Il grafico della figura 8 mostra il grado di sviluppo delle specie avventizie nei diversi trattamenti fertirrigui. In particolare, tutte le tesi SDI hanno evidenziato una presenza di erbe infestanti nettamente inferiore rispetto al trattamento ad aspersione, il quale ha visto una produzione di biomassa delle infestanti di circa 135 kg di sostanza secca ad ettaro. La sub-irrigazione riesce a ridurre lo sviluppo delle specie avventizie distribuendo le risorse (acqua e fertilizzanti) in profondità nel terreno, dove solo gli apparati radicali delle colture possono beneficiarne. Infatti, le specie

infestanti sono generalmente caratterizzate da apparati radicali piuttosto superficiali, traendo quindi un vantaggio limitato da irrigazioni e fertilizzazioni che avvengono in profondità nel suolo.

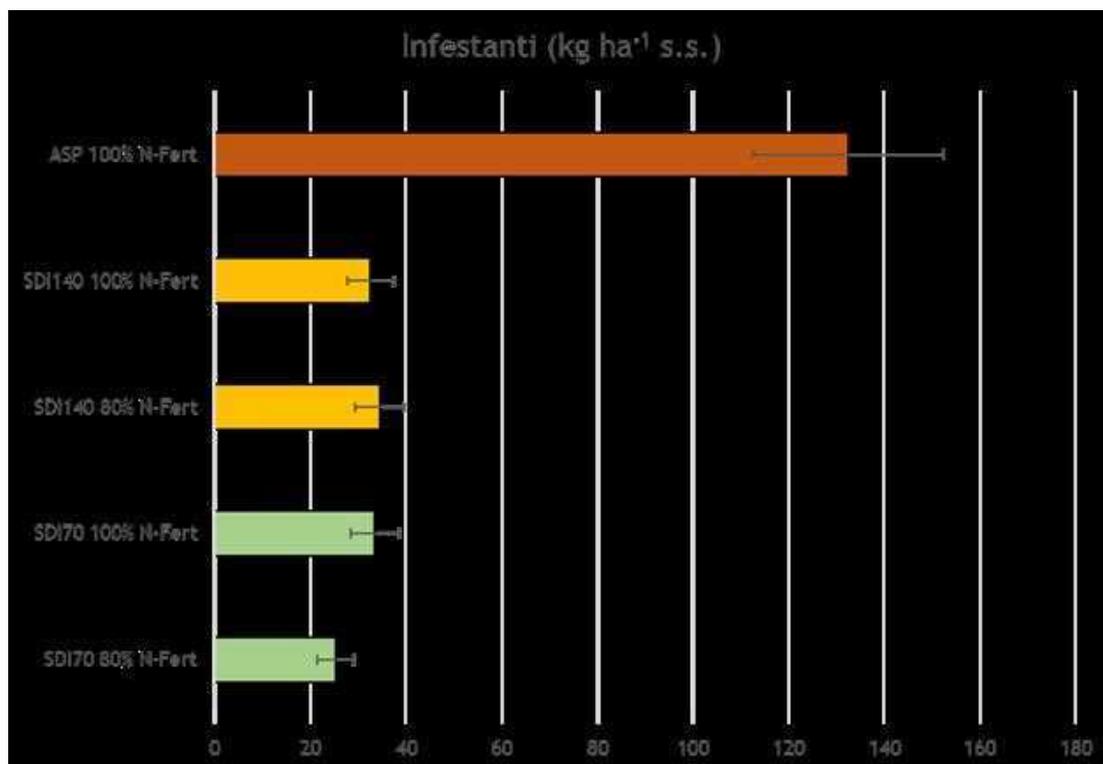


Figura 8. Produzioni in biomassa di infestanti in funzione delle diverse tesi fertirrigue

Fertirrigazione del basilico e della barbabietola da zucchero con solfati ammoniacali di recupero

Fertilizzanti rinnovabili e di recupero, quali soluzioni liquide di solfato ammonico provenienti dal trattamento con tecnologie di strippaggio dell'azoto degli effluenti e digestati (prove su basilico presso azienda COTTI) e solfati ammoniacali liquidi provenienti dal trattamento di arie allo scopo di ridurre le emissioni ammoniacali dal settore agro-zootecnico (prove su barbabietola presso azienda RGR), sono stati testati a tutto campo e valutate le loro prestazioni nutrizionali rispetto all'impiego di concimi industriali di sintesi.

L'applicazione di questi fertilizzanti di recupero è stata abbinata ad innovativi sistemi di distribuzione che ne hanno permesso un loro utilizzo efficiente in fertirrigazione con sistemi di irrigazione a goccia con manichette interrato (Subsurface Drip Irrigation - SDI) e ad aspersione attraverso ala piovana.

Gli obiettivi delle attività presso RGR (Reggio Emilia) e Cotti (Parma) sono stati:

- Ottimizzare l'efficienza d'uso dei nutrienti e promuovere l'utilizzo di fonti fertilizzanti di recupero, quali il solfato ammonico in forma liquida derivante (i) da strippaggio del digestato o (ii) dal trattamento dell'ammoniaca da impianti agro-zootecnici (compostaggio lettiere avicole e trattamento aria porcilaie);

- Sviluppare e dimostrare pratiche di concimazione sostenibili ed innovative mediante fertirrigazione con ali gocciolanti interrate e con ala piovana, utilizzando fertilizzanti rinnovabili di recupero;
- Incrementare la sostenibilità ambientale delle produzioni agricole nell’ottica del *nutrient recovery and reuse*, al contempo riducendo le perdite di nutrienti verso le acque sotterranee e superficiali.

Fertirrigazione del basilico con solfato ammonico di recupero distribuito in aspersione con ala piovana (COTTI)

Presso l’azienda Fattoria Cotti, sita a Pilastro di Langhirano (Parma), l’attività sperimentale ha riguardato il basilico coltivato in pieno campo e l’applicazione di solfato ammonico di recupero in fertirrigazione con un sistema ad ala piovana (tesi aspersione-SA) – (figure 10, 11, 12 e 13). La tesi fertirrigua innovativa (aspersione-SA) è stata posta a confronto con un sistema tradizionale (controllo-NA), in cui è stata effettuata la concimazione a pieno campo con nitrato ammonico granulare a inizio ciclo e dopo ogni taglio, seguito da irrigazione con ala piovana.

Le attività sperimentali hanno riguardato la predisposizione ed il monitoraggio di due appezzamenti da 1.000 m² cadauno, al fine di indagare le efficienze di utilizzo dell’azoto fornito coi diversi fertilizzanti da parte della coltura (figura 9).

La tesi SA ha visto l’applicazione di una soluzione di solfato ammonico di recupero, derivante dal trattamento di strippaggio del digestato, caratterizzata da un tenore di azoto pari al 7.5% (75 kg N m⁻³) distribuito in miscela all’acqua irrigua.

Per concimare la tesi NA è stato impiegato un concime convenzionale (nitrato ammonico granulare, 24% N), distribuito ad inizio ciclo colturale e dopo ogni taglio.



Figura 9. Schema prove sul basilico - Fattoria Cotti

La semina del basilico è avvenuta il 28 aprile 2024.

Il campionamento dei terreni nel profilo tra 0 e 30 cm in tre momenti (27/04/2023, 07/08/2023 e 05/10/2023) ha permesso di monitorare la dinamica dei nitrati in tre periodi cruciali della coltivazione: prima della semina, al massimo sviluppo e al termine della coltura, quando l'eventuale presenza elevata di nitrati nel terreno risulta essere un indicatore di potenziale lisciviazione, in quanto non più asportabili dalle piante.

Ogni apporto fertilizzante è stato rilevato e quantificata la dose di azoto distribuita.



Figura 10. Ala piovana impiegata sia per la fertirrigazione che per le operazioni di irrigazione



Figura 11. Primo piano dell'ala piovana e degli ugelli aspersori



Figura 12. Panoramica del campo sperimentale e del cantiere di fertirrigazione - COTTI



Figura 13. Sistema di iniezione della soluzione di solfato ammonico nella linea di irrigazione

In totale sono state effettuate tre raccolte di basilico (24 giugno, 18 luglio e 7 agosto) – (figure 14 e 15) e quantificata la produzione di biomassa vegetale fresca asportata, quella in sostanza secca e la qualità del prodotto attraverso campionamento, con saggi parcellari di 1 m², e caratterizzazione chimica per valutare le performance produttive delle due tesi. Per ciascuna delle due tesi e per ciascun taglio sono stati eseguiti campionamenti ed analisi in triplice replica.

I due appezzamenti sono stati gestiti in modo identico per quanto riguarda tutte le altre lavorazioni, con aratura poco profonda (25 cm circa).



Figura 14. Operazioni di campionamento del basilico



Figura 15. Momento della raccolta di un taglio del basilico effettuata alle prime luci dell'alba.

In tutti e tre i tagli e anche nel totale, la resa di basilico è risultata superiore nella tesi innovativa aspersione-SA (67.7 t/ha t.q. e 6.7 t/ha s.s.) rispetto alla tesi controllo-NA (59.2 t/ha tal quale e 6.0 t/ha sostanza secca) (tabella 10 e figura 16). L'azoto asportato dalle 3 produzioni di basilico per la tesi SA è risultato maggiore rispetto a quello asportato dalla tesi NA (+10%).

Questi dati dimostrano una maggiore efficienza d'uso dell'azoto fornito da solfato ammonico di recupero (78% dell'azoto apportato è risultato asportato dalla coltura), rispetto a quello fornito con concime minerale convenzionale (il 69% dell'azoto apportato è risultato asportato dalla coltura).

Tabella 10. Sintesi dei principali risultati delle prove sul basilico: irrigazioni, apporto azotato da concimazione, rese produttive ed azoto asportato dalla coltura

TESI:	SA	NA
Irrigazioni Totali (n°)	12	12
Volumi irrigui totali (mm)	320	320
Fertilizzazione con letame bovino (autunno 2022)	1	1
Apporto Azoto col letame (kg/ha)	150	150
Concimazioni minerali in copertura	2	2
Apporto Azoto minerale (kg/ha)	141	150
Produzione totale dei 3 tagli di basilico (t/ha t.q.)	67.7	59.2
Produzione totale dei 3 tagli di basilico (t/ha s.s.)	6.7	6.0
Azoto asportato con la coltura (kg N/ha)	227	206
Contenuto proteico del basilico (% s.s.)	21.2%	21.5%

SA = fertirrigazione per aspersione con solfato ammonico di recupero (titolo N: 7.5%);

NA = fertilizzazione con nitrato ammonico granulare di sintesi (titolo N: 24%);

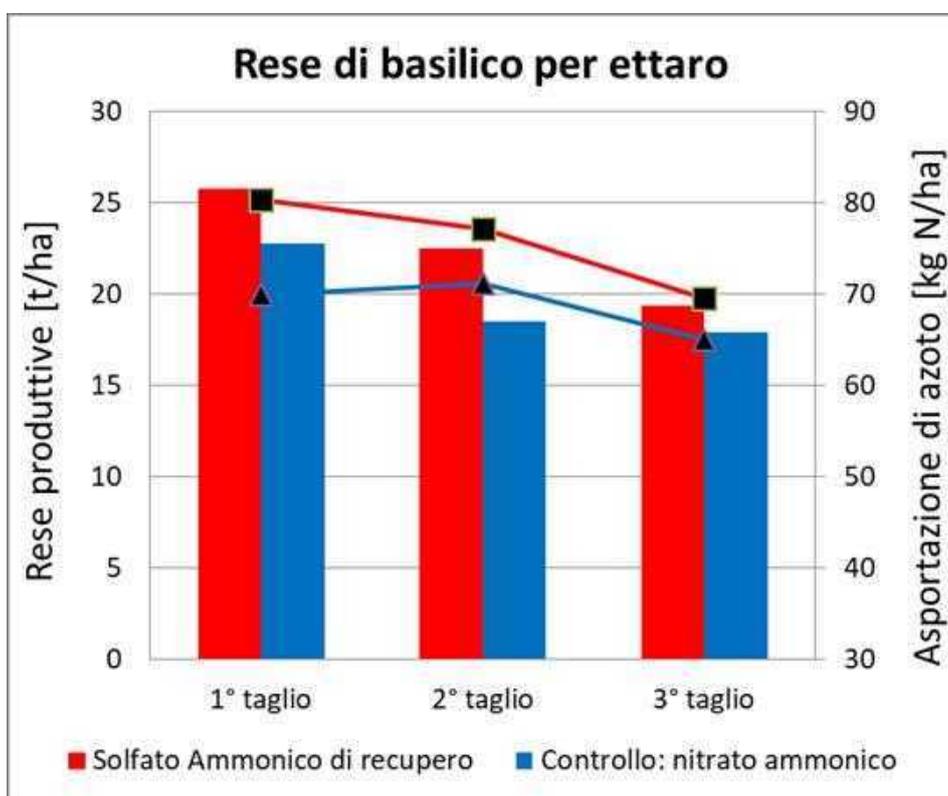


Figura 16. Rese produttive di basilico fresco (t/ha) ed asportazione di azoto (kg N/ha) da parte della coltura in occasione dei 3 raccolti.

Questi risultati possono essere ricondotti a una maggiore efficienza di assorbimento dell'azoto da parte della coltura grazie all'apporto fogliare operato nella tesi Aspersione-SA, che ha limitato le perdite nel suolo, tipici della fertilizzazione granulare tradizionale. Inoltre, il solfato ammonico, con la sua discreta concentrazione di zolfo e moderata acidità, distribuito contestualmente all'acqua irrigua, può aver operato un certo tipo di controllo delle avversità fungine, che possono sorgere in seguito alla bagnatura fogliare in un sistema di irrigazione per aspersione.

Dai valori di concentrazione dei nitrati nel suolo nei campioni di terreno campionati in triplice replica nei 3 momenti precedentemente descritti (figura 17), si evince un trend similare tra le due tesi e si dimostra che l'utilizzo di solfato ammonico in fertirrigazione non comporta alcuna problematica di lisciviazione nitrati rispetto all'uso di un concime granulare di sintesi.

La concentrazione di nitrati nel profilo 0-30 cm (espressa come azoto nitrico: $N-NO_3^-$) per entrambe le tesi non è mai risultata superiore a 20 mg $N-NO_3^-$ /kg ST (valori soglia indicati da ERSAF Lombardia: mg $N-NO_3^-$ /kg ST <20 normale, 20-45 attenzione, >45 alto). Da evidenziare il trend decrescente nel tempo.

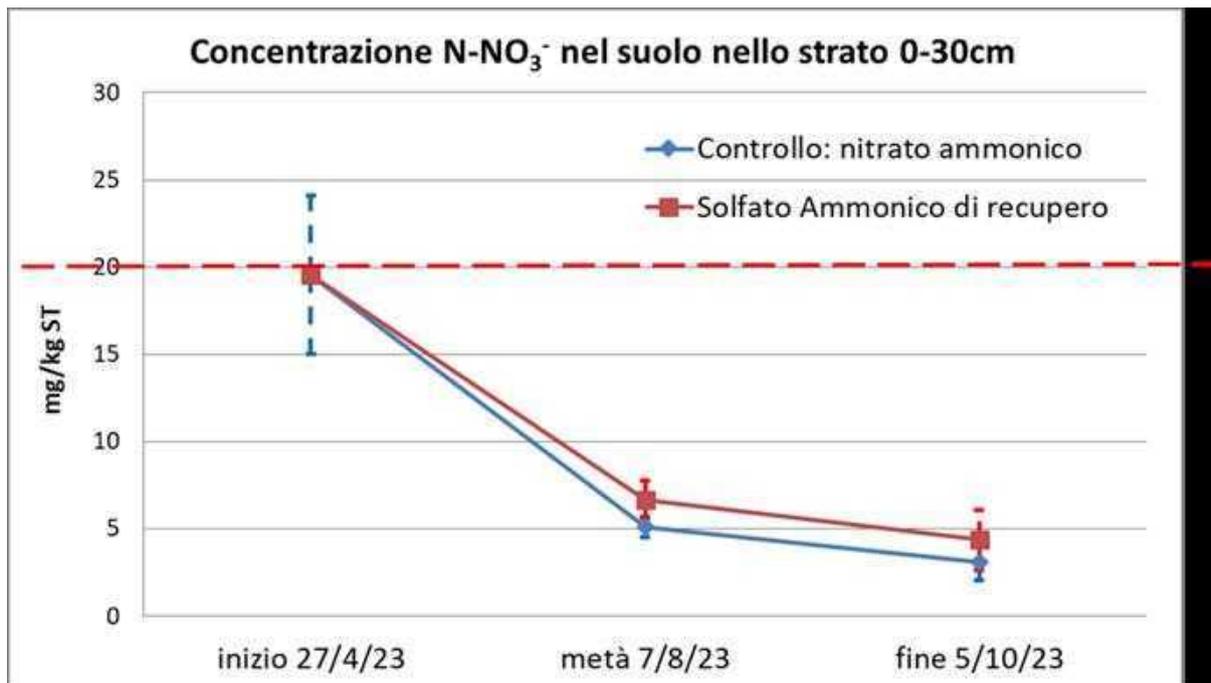


Figura 17. Andamento della concentrazione in azoto nitrico nel terreno

Fertirrigazione della barbabietola da zucchero con solfato ammonico di recupero con sistema di irrigazione a manichette interrato SDI – Subsurface Drip Irrigation (RGR)

La prova, allestita presso l'azienda agricola RGR di San Martino in Rio (Reggio Emilia), ha previsto la coltivazione di barbabietola da zucchero destinata alla produzione di biogas su un appezzamento dotato di impianto SDI (con interasse di 100 cm e profondità di interrimento delle ali gocciolanti pari a 25-30 cm) utilizzato con due modalità di fertirrigazione (figura 18): la prima impiega il solfato ammonico di recupero (SDI-SA), la seconda il nitrato ammonico di sintesi (SDI-NA). Inoltre, le due tesi fertirrigue sono state messe a confronto con la gestione tradizionale basata su irrigazione per aspersione e nitrato ammonico granulare (tesi tradizionale). I 3 appezzamenti erano caratterizzati da una superficie di 1 ha cadauno.

La preparazione del letto di semina nell'appezzamento dotato di impianto SDI è stata eseguita in minima lavorazione, mentre nella gestione convenzionale, tramite aratura ed erpicature di affinamento.



Figura 18. Schema prove sulla barbabietola - Soc. Agr. R.G.R.

Lo schema sperimentale è risultato il seguente:

- La tesi SDI + SA: sub-irrigazione (impianto SDI con interasse 100 cm) con iniezione di solfato ammonico di recupero (in forma liquida, prodotto dal trattamento dell'aria di impianto di compostaggio lettiere avicole (N 6.1%);
- Tesi SDI + NA: sub-irrigazione (impianto SDI con interasse 100 cm) con iniezione di nitrato ammonico di sintesi alta solubilità per fertirrigazione (N 34%);
- Testimone: gestione tradizionale basata su irrigazione per aspersione mediante irrigatore semovente e concimi granulari di sintesi (nitrato ammonico e urea).

L'operazione di semina delle barbabietole è avvenuta il 3 marzo 2023.

Le attività hanno previsto il rilievo degli apporti fertilizzanti, il campionamento dei terreni, delle acque irrigue e la caratterizzazione quali-quantitativa delle produzioni vegetali relativamente a: produzione fresca, produzione in sostanza secca, caratterizzazione chimica e grado zuccherino (figura 21).

La raccolta delle barbabietole, con cantiere a due fasi, è avvenuta il 21 settembre 2023 (figura 22).



Figura 19. Motopompa e sistema di filtrazione ed iniezione del solfato ammonico in miscela all'acqua irrigua nelle ali gocciolanti (foto di sinistra) e soluzione di solfato ammonico di recupero impiegata come fertilizzante (foto di destra)

Le produzioni di radici di barbabietole fertilizzate con solfato ammonico di recupero (SDI-SA) sono risultate elevate e simili a quelle della tesi controllo (Controllo-NA), sia in termini di sostanza secca (SDI-SA: 14.3 t/ha e Controllo-NA: 14.8 t/ha), sia di grado zuccherino (15.3 °Brix e 16 °Brix, rispettivamente) (tabella 11 e figura 23). La tesi SDI-NA fertilizzata convenzionalmente ha dimostrato una minor resa (12.9 t/ha) ed un grado zuccherino simile (15.0 °Brix).

L'efficienza di utilizzo dell'azoto per la tesi fertilizzata con solfato ammonico di recupero è risultata leggermente superiore rispetto a quella fertilizzata con concime convenzionale di sintesi quale il

nitrato ammonico solubile (80% vs 76%). Leggermente inferiore invece il contenuto proteico delle barbabietole della tesi SA rispetto a quelle della tesi NA (7.3% s.s. vs 8.0% s.s.).

Ciò costituisce un risultato incoraggiante, considerando che la minima lavorazione nel caso della tesi SDI-SA può rappresentare in certi casi una sfida per il corretto sviluppo radicale della barbabietola. Al contrario, la tesi SDI-NA ha determinato risultati inferiori rispetto alle altre tesi (12.9 t/ha, con 15 °Brix). La buona performance del sistema SDI-SA può essere attribuita alla combinazione fra un metodo irriguo efficiente e un concime totalmente ammoniacale e quindi relativamente più assorbito da parte del vegetale, rispetto al nitrato ammonico.

Tabella 11. Sintesi dei principali risultati delle prove su barbabietola: apporto azotato da concimazione, rese produttive ed azoto asportato dalla coltura

TESI:	SDI + SA	SDI +NA
Produzione barbabietola (t/ha t.q.)	88.0 (*)	82.2 (*)
Produzione barbabietola (t/ha s.s.)	14.3 (*)	12.9 (*)
Apporto Azoto con le fertilizzazioni (kg/ha)	167	164
Azoto asportato con la barbabietola (kg N/ha)	133	125
Efficienza di asportazione dell'azoto (%)	80	76
Contenuto proteico della barbabietola (% s.s.)	7.3	8.0
Grado zuccherino (°brix)	15.3	15.0

SDI + SA: sub-fertirrigazione con iniezione di solfato ammonico di recupero (titolo N: 6.1%);

SDI + NA: Controllo: sub-fertirrigazione con iniezione di nitrato ammonico solubile di sintesi (titolo N: 34%);

() produzione a minore tenore di secco (16%) rispetto a produzioni di barbabietola a titolo per zuccherificio caratterizzate da un tenore di secco superiore al 20%.*



Figura 20. Campo sperimentale – RGR



Figura 21. Operazioni di campionamento delle barbabietole e dei terreni



Figura 22. Raccolta delle barbabietole

Il campionamento dei terreni nel profilo 0 a 30 cm in tre momenti (16/02/2023, 04/08/2023 e 05/10/2023) ha permesso di monitorare la dinamica dei nitrati in periodi cruciali della coltivazione: prima della semina, al massimo sviluppo ed una volta terminata la coltura quando la presenza elevata i nitrati nel terreno risulta essere un indicatore di potenziale lisciviazione in quanto non più asportabili dalle piante.

Dai valori di concentrazione dei nitrati nel suolo nei campioni di terreno campionati in triplice replica nei 3 momenti precedentemente descritti (figura 24) si evince che l'uso di solfato ammonico in fertirrigazione in ali gocciolanti non comporta alcuna problematica di lisciviazione nitrati rispetto all'uso di un concime di sintesi. La concentrazione di nitrati nel profilo 0-30 cm (espressa come azoto nitrico: $N-NO_3^-$) non è mai risultata superiore a 20 mg $N-NO_3^-$ /kg ST (valori soglia indicati da ERSAF Lombardia: mg $N-NO_3^-$ /kg ST <20 normale, 20-45 attenzione, >45 alto).

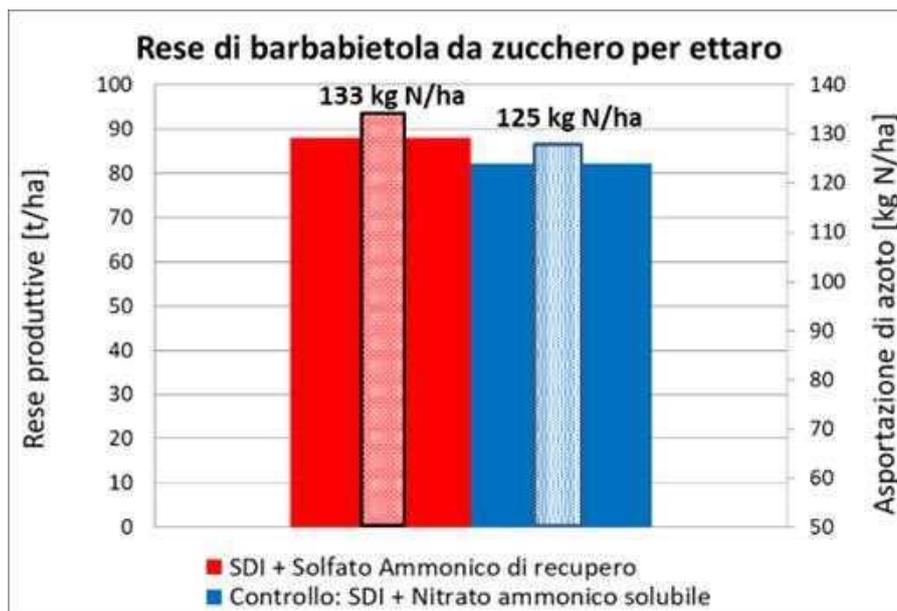


Figura 23. Rese produttive tal quali di barbabietola (t/ha) ed asportazione di azoto (kgN/ha) da parte della coltura

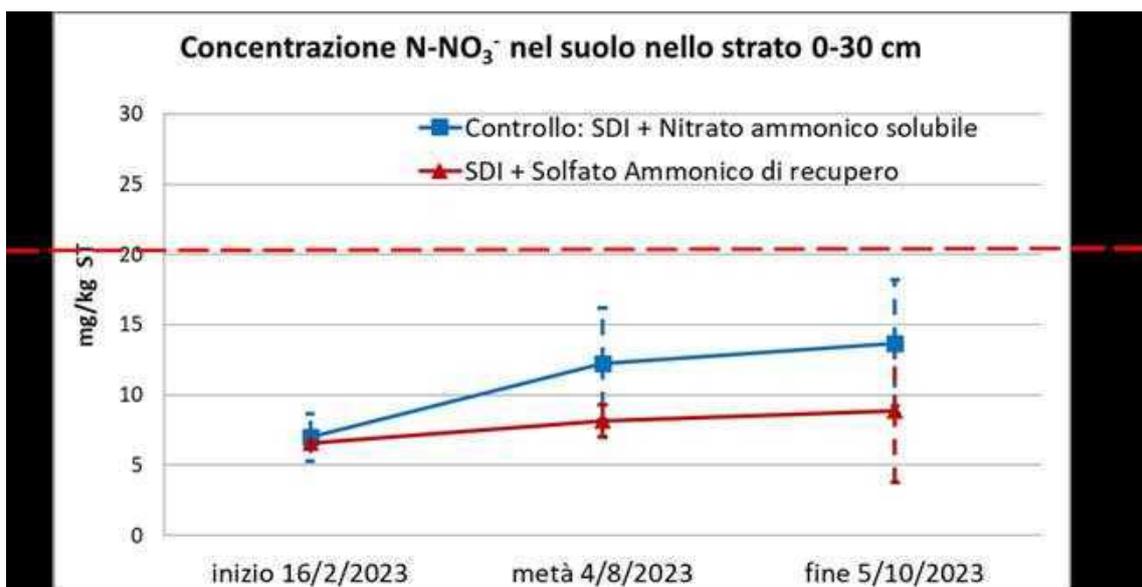


Figura 24. Dinamica dei nitrati nel terreno

Tabella 12. Analisi fisico-chimiche delle acque irrigue

	pH	NTK	N-NH ₄ ⁺	Cond.	Ptot	COD	NO ₃ ⁻	BOD	SST
	[-]	[mg/l]	[mg/l]	[mS/cm]	[mg/l]	[mg O ₂ /l]	[mg/l]	[mg O ₂ /l]	[g/l]
08/06/2023	7.59	3.7	1.4	1.4	0.6	37.4	4.3	4	0.052
21/06/2023	8.69	1.5	0.4	1.1	1.1	37.0	4.8	4	0.135

Le acque irrigue prelevate dal canale di bonifica erano di buona qualità e con un ridotto contenuto di nutrienti (N-P).

In conclusione, il solfato ammonico - prodotto dal trattamento dell'aria di impianti agro-zootecnici (es. compostaggio lettiera avicole o porcilaie) o dal trattamento di effluenti e digestati agro-zootecnici (strippaggio) - può essere una fonte sostenibile di azoto per le aziende agricole da un lato, con possibilità di delocalizzare il surplus di azoto per le aziende zootecniche e impianti di biogas dall'altro, promuovendo in pieno un'economia circolare ed efficiente dei nutrienti.

L'impiego di fertilizzanti di recupero su barbabietola e basilico non ha comportato alcuna diminuzione delle rese produttive, tanto meno della qualità delle produzioni agricole, rispetto all'impiego di fertilizzanti di sintesi. L'utilizzo di solfato ammonico di recupero sul basilico ha, al contrario, aumentato la resa in tutti i tagli.

L'uso di fertilizzanti di recupero non ha evidenziato alcuna criticità nell'incremento della concentrazione dei nitrati nel terreno rispetto all'uso dei concimi chimici ad alta efficienza.

Grazie a queste tecniche è possibile ridurre l'impatto ambientale delle produzioni e la dipendenza dai concimi chimici di sintesi. Inoltre, i risultati mostrano come tali tecniche siano coniugabili con pratiche di agricoltura conservativa.

AZIONE 3. Strategie innovative di utilizzo dei reflui: le Liquamazioni 4.0

Mezzi tecnici per la realizzazione della prova.

Presso l’Azienda Sperimentale CERZOO della Facoltà di Scienze Agrarie, Alimentari e Ambientali, (San Bonico, Piacenza), nella cornice dell’azione 3, il progetto RESURGE ha messo in atto una sperimentazione di pieno campo, focalizzata sull’utilizzo dei reflui zootecnici a rateo variabile. Nonostante il progetto prevedesse di condurre le prove sulla sola coltura di primo raccolto, ovvero l’orzo da insilato, visto l’interesse scientifico (ed i quesiti ulteriori) mosso dai risultati sperimentali su questa prima coltura, si è optato per allargare temporalmente l’investigazione sperimentale ad una seconda coltura, in rapida successione, ovvero il mais di secondo raccolto, sempre da silo e destinato all’alimentazione del bestiame aziendale. Per tale aggiunta non si è richiesta alcuna variazione di costi e finanziamenti supplementari.

Nel complesso, l’appezzamento in prova insiste su un terreno dalla tessitura franco-argilloso-limosa, con pH di 6.8 e un tenore di sostanza organica del 2.3%.

La fertilizzazione di entrambe le colture è stata incentrata sul recupero del refluo chiarificato aziendale, stabilendo diversi trattamenti a partire dalla dose calcolata col metodo del bilancio, come da Tabella 13.

Coltura	Tesi di concimazione	Concimazione azotata		
		Dose rispetto al bilancio %	Apporto di fondo kg N ha ⁻¹	Apporto in copertura kg N ha ⁻¹
Orzo	Controllo (no azoto in copertura)	0	68	0
	Liquame chiarificato	60	68	59
		100	68	97
		120	68	118
		Liquame chiarificato + inibitore N	60	68
	Liquame chiarificato + solfato ammonico	100	68	95
		120	68	114
		60	68	60
		100	68	98
		120	68	120
Fertilizzante minerale (calcio amm. nitr. 27 N)		100	68	55
Mais	Controllo (no azoto in copertura)	0	100	0
	Liquame chiarificato	60	100	91
		100	100	151
		120	100	181
	Liquame chiarificato + inibitore N	60	100	91
		100	100	151
		120	100	181
	Fertilizzante minerale (urea 46 N)	100	100	125

Tabella 13. Tesi in prova e dosi azotate apportate.

Nel dettaglio, le tesi “innovative” sono accumulate dall’uso di liquame bovino, separato liquido, in copertura a orzo e, successivamente, mais. Tuttavia, ad una prima tesi “innovativa” basata sull’uso del solo liquame separato liquido [Liquame chiarificato], sono state affiancate altre due tesi, sempre basate sull’uso di liquame, ma con l’aggiunta di: (i) inibitore della nitrificazione [Liquame chiarificato + inibitore N], per ritardare il tasso di liberazione del nitrato a partire dall’azoto ammoniacale dei liquami, e (ii) solfato ammonico [Liquame chiarificato + solfato ammonico], per ottenere un fertilizzante rinnovabile più concentrato rispetto al semplice liquame bovino (0.8-1% N vs. 0.2-0.3% N). Quest’ultima tesi innovativa che rappresenta il liquame arricchito ha visto l’aggiunta del solo solfato ammonico (e non di struvite), grazie alle concentrazioni di P assimilabile del terreno di prova che si sono dimostrate già largamente superiori alle disponibilità pedologiche (P Olsen = 32 mg kg⁻¹, vs soglie di adeguatezza di mais e orzo = 8 mg kg⁻¹).

Inoltre, mentre la tesi “Controllo (no azoto in copertura)” permette di evidenziare la produttività di orzo e di mais con il solo apporto di fondo, la tesi “Fertilizzazione minerale al 100% del bilancio” è il riferimento contro il quale testare se una riduzione del 40% o del 20% o, al contrario, un incremento del 20% rispetto alla dose da bilancio porti a risultati migliori.

Le diverse tesi sono state disposte nell’appezzamento sperimentale, seguendo un reticolo costruito con l’obiettivo di collocare il maggior numero possibile di replicati per ciascun trattamento (Figura 25).

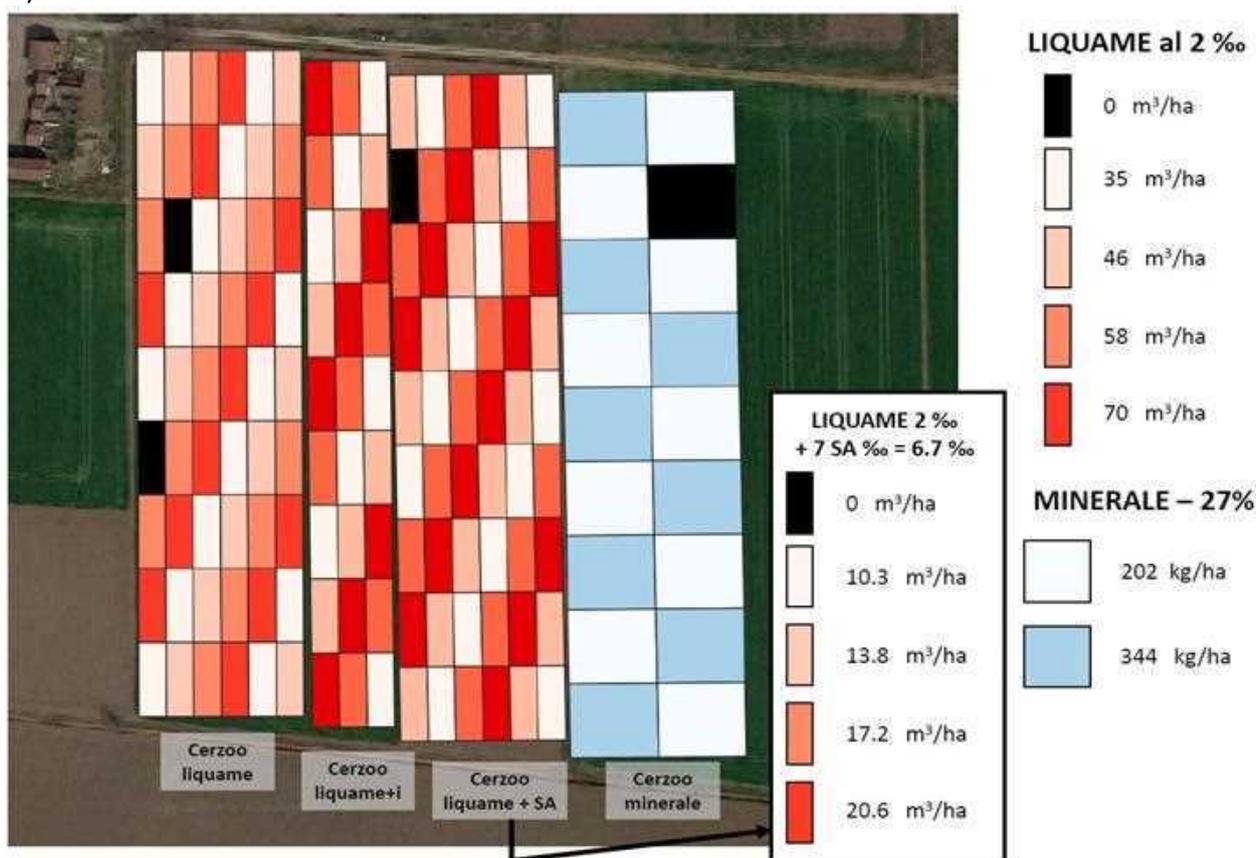


Figura 25. Disposizione dei trattamenti sperimentali all’interno dell’appezzamento

Le diverse operazioni colturali sono state realizzate con attrezzature capaci di distribuire il liquame a rateo variabile (RV) e . Nello specifico, per la distribuzione del liquame a RV è stato utilizzato il carrobotte semovente Vervaet Hydro Trike XL (figura 26).



Figura 26. Vervaet XL al momento della fertilizzazione di copertura su orzo di primo raccolto.

La sua configurazione a tre assi permette un'ottimale distribuzione della massa per ridurre al minimo il calpestamento, nonostante i 20 m³ di liquame, ulteriormente mitigabile con la regolazione della pressione degli pneumatici e l'allargamento dell'assale centrale per aumentare l'area di appoggio. La pompa del liquame viene azionata da un motore idraulico controllato dal sensore di velocità della macchina, in azione coordinata con le mappe di prescrizione caricate.

Per le tesi che prevedevano l'aggiunta dell'inibitore della nitrificazione al liquame chiarificato, il dosaggio di quest'ultimo è avvenuto attraverso un sistema automatizzato, in grado di erogare in modo costante 36 mL di inibitore per metro cubo di liquame in distribuzione.

In abbinamento alla botte semovente, sono stati utilizzati diversi strumenti di distribuzione del refluo. In occasione della liquamazione dell'orzo a fine accostamento (febbraio 2023), su Vervaet è stata montata una barra dotata di 52 dischi di iniezione, spazati 18 cm e lavoranti ad una profondità di 3-5 cm, senza meccanismi di chiusura del solco (Figura 27).



Figura 27. Dettaglio del disco di taglio e della scarpetta di iniezione del liquame nel solco.

La fertilizzazione chimica dell'orzo è invece stata realizzata distribuendo calcio ammonio nitrato (27 N), sempre a rateo variabile, con uno spandiconcime centrifugo.

È doveroso riportare che, la tesi "innovativa" Liquame chiarificato + solfato ammonico ha fatto registrare rese di campo mediamente molto più basse rispetto alle altre tesi in prova (figura 28a-b). Questo è stato l'effetto di una forte infestazione di specie avventizie, localizzata nel "parcellone" in questione. Considerando che detta riduzione di resa non può essere imputabile al trattamento sperimentale e che l'inserimento dei relativi valori in analisi della varianza avrebbe costituito un artefatto ("bias") metodologico fuorviante l'interpretazione dei risultati, si è deciso di eliminare il trattamento in questione della successiva analisi dati (LCA compresa), nonché dal portfolio trattamenti in prova per il mais di secondo raccolto.

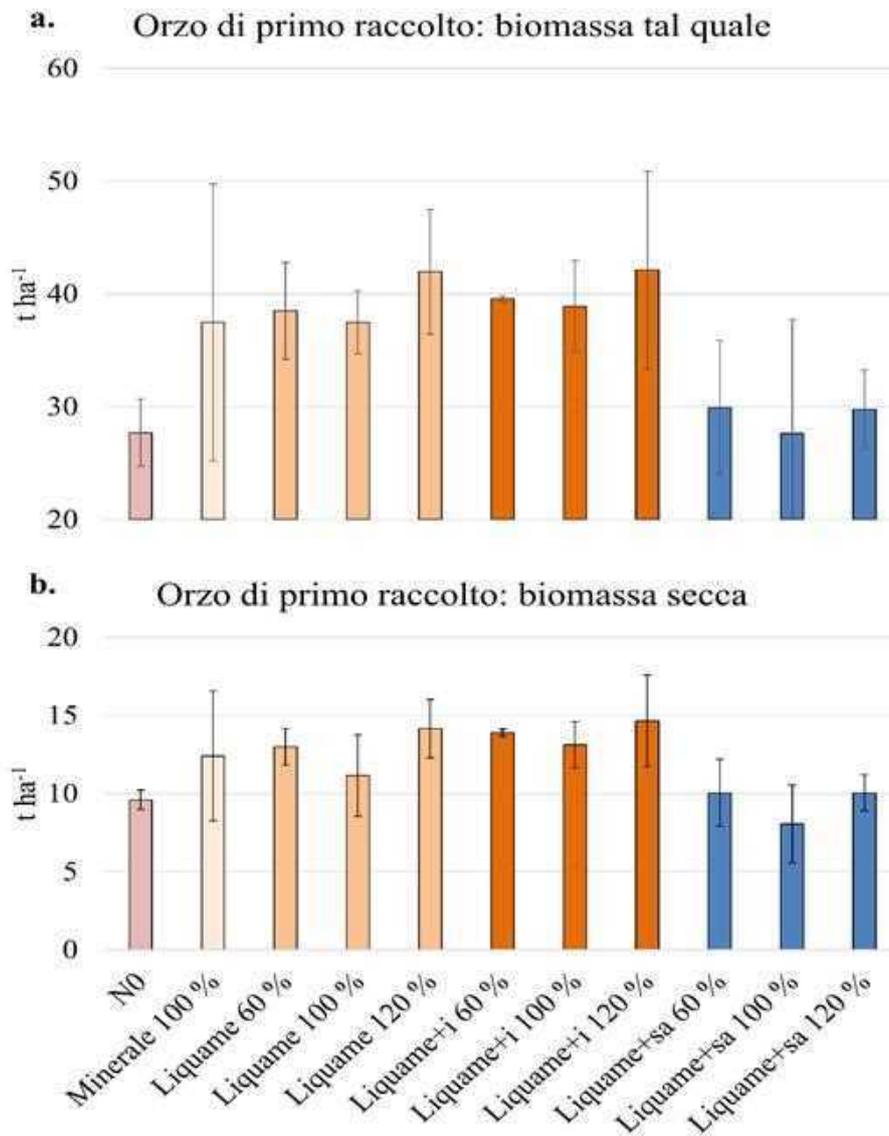


Figura 28a-b. Produzione di foraggio tal quale (a) e in sostanza secca (b) dell'orzo da trinciato per tutti i trattamenti in prova. In blu sono evidenziate le tesi fertilizzate col liquame addizionato di solfato ammonico.

La liquamazione del mais, invece, è stata effettuata contestualmente alla lavorazione del terreno, utilizzando un ripuntatore *strip-tiller*, in configurazione telescopica con 8 elementi distanziati di 75

cm (figura 29), in grado di lavorare una banda di terreno larga 20 cm ad una profondità di 30 cm, e di iniettare il liquame a 15 e 30 cm, con un rateo fisso di $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, corrispondenti a 100 kg N ha^{-1} .



Figura 29. Iniezione a doppia profondità di liquame separato sulle stoppie d'orzo in pre-semina del mais di secondo raccolto.

È stato quindi seminato l'ibrido LG31630 a $8.2 \text{ piante m}^{-2}$ con un sistema di posizionamento RTK, in grado di sovrapporsi con esattezza alle bande precedentemente lavorate con *strip-tiller* (figura 30).



Figura 30. Semina del mais con sistema di posizionamento RTK per seguire le linee dello *strip-tiller*.

Come ultima configurazione, Vervet è stato equipaggiato con una sarchiatrice ad 8 elementi con interfila di 75 cm (figura 31), con iniettori ad ancore, in grado di posizionare il liquame a 10-15 cm di profondità.



Figura 31. Dettaglio dell'apparato di iniezione del liquame in copertura sul mais.

Inoltre, è stata cambiata anche la gommatura, passata da ruote singole ad ampia superficie d'appoggio, a ruote gemellate, in grado di scavallare le piante di mais allo stadio di quinta-sesta foglia (figura 32).



Figura 32. Dettaglio della configurazione a ruote sfalsate per permettere il passaggio nel mais senza calpestarlo.

Infine, per completare la concimazione minerale a rateo variabile è stata distribuita urea in abbinamento alla sarchiatura.

Tutte le operazioni svolte sono state realizzate a partire dalle mappe di prescrizione appositamente progettate sulla base dei rilievi pedo-agronomici precedenti.

Risultati produttivi ed indici di efficienza d'uso dell'azoto

Le rese dell'orzo e del mais, sia in termini di sostanza fresca che secca, sono state ricavate da mappe di resa registrate dalla trincia durante la raccolta, attraverso la misura istantanea e georeferenziata della biomassa ad opera delle celle di carico. L'umidità è stata determinata con un rilevatore NIR, calibrato per questo parametro.

I dati raccolti sono stati analizzati con una tecnica geostatistica chiamata *cokriging*, che consente di capire come le diverse modalità di fertilizzazione, interagendo con le caratteristiche del terreno, come la tessitura e la sostanza organica, influenzano la produzione delle colture.

Questo approccio ha permesso di ottenere, sia una valutazione delle diverse aree omogenee dell'appezzamento (approccio *open field*), sia un'analisi più classica, specificatamente ascrivibile ai trattamenti della prova, attraverso l'analisi dei confronti "a coppie" (*pairwise*).

Per le rese, si è scelto di riportare la mediana per ciascun trattamento, in quanto – a differenza della media – è meno influenzata da valori estremi o anomali, fornendo una rappresentazione più robusta dei risultati ottenuti.

Nello specifico, per l'orzo da trinciato, ad esclusione del controllo non fertilizzato, le rese sono andate da un minimo di 37.5 ad un massimo di 42.1 t ha⁻¹ di foraggio tal quale per le tesi "minerale 100%" e "liquame + inibitore 120%", rispettivamente (figura 33a), potendosi quindi valutare come

del tutto soddisfacenti e in media con i risultati dell'areale. In termini di sostanza secca, invece, queste rese sono corrisposte a 12.4 e a 14.6 t ha⁻¹, rispettivamente (figura 33b), senza differenze statisticamente significative. Il contenuto di sostanza secca delle varie tesi è risultato molto omogeneo, fra il 33 ed il 34%.

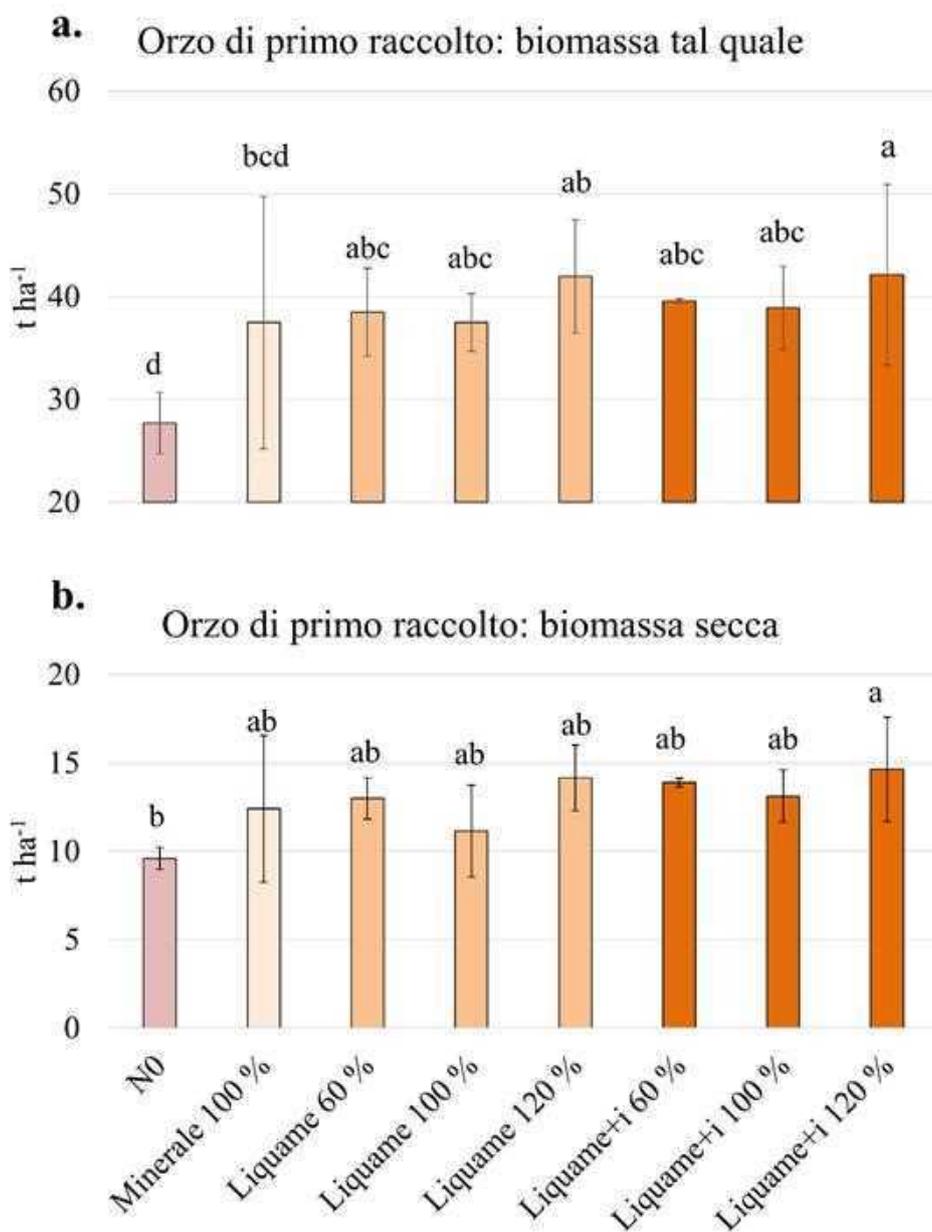


Figura 33a-b. Produzione di foraggio tal quale (a) e in sostanza secca (b) dell'orzo da trinciato. A lettere uguali corrispondono medie significativamente non differenti al test di Sidak ($\alpha = 0.05$).

La sostanziale equivalenza di risultati fra le tesi di concimazione può essere fatta risalire all'annata particolarmente scarsa di precipitazioni autunno-primaverili (figura 34), essendo verosimile che i

fertilizzanti siano stati poco dilavati e che quindi abbiano potuto produrre un effetto nutritivo efficace lungo tutta la stagione colturale.

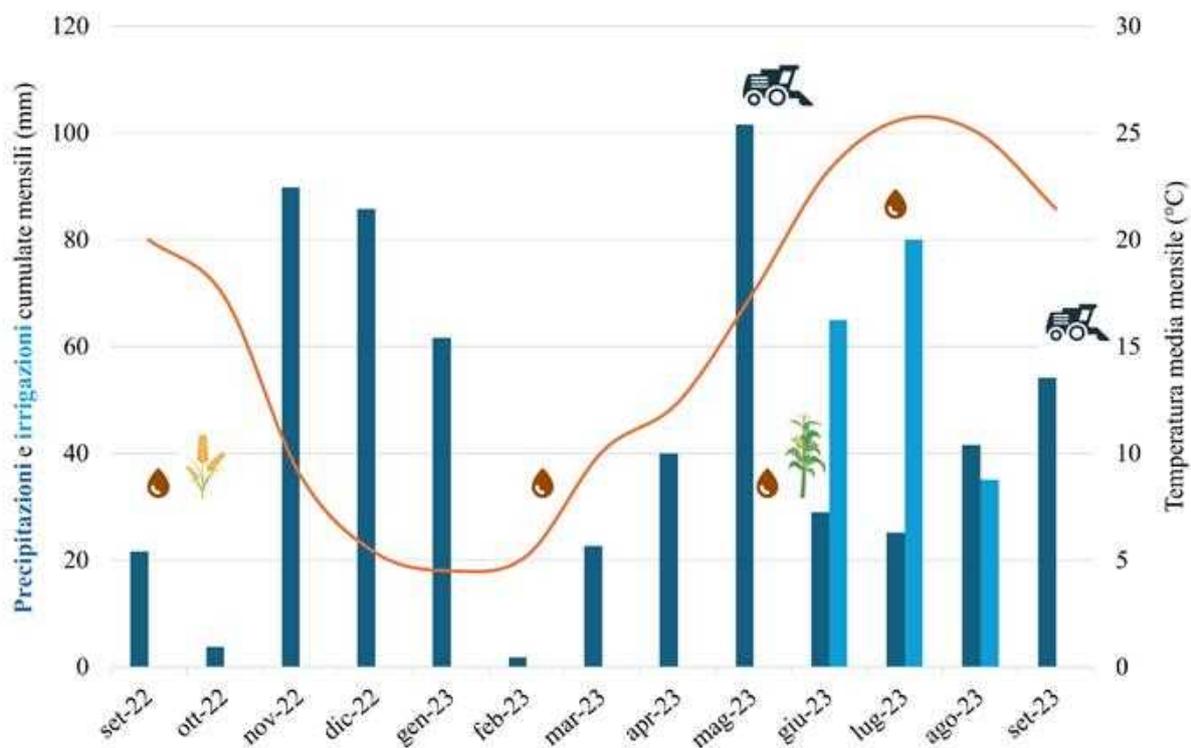


Figura 34. Andamento termo-pluviometrico per le stagioni colturali di orzo e mais da trinciato nella prova a strip till.

All'interno di questo quadro di relativa uniformità, risultano comunque di notevole interesse i risultati ottenuti dalle tesi con riduzione del 40% nella dose azotata in copertura, con e senza aggiunta di inibitore della nitrificazione, poiché indicano che i 125-127 kg ha⁻¹ di azoto complessivamente distribuiti sono stati sufficienti a garantire i fabbisogni nutritivi della coltura, suggerendo una possibile taratura al ribasso della dose scaturita dal bilancio azotato.

Va poi osservato che le elevate precipitazioni di maggio, a ridosso della trinciatura dell'orzo (figura 34) avevano determinato un significativo allettamento della coltura, portando ad una riduzione delle rese, soprattutto per le tesi a concimazione minerale, per quella con liquame a dose piena e per quella aumentata del 20%.

Per il mais di secondo raccolto, invece, partendo da un minimo di 32.7 t ha⁻¹ di foraggio tal quale nella tesi senza concimazione (N0), non ci sono stati risultati particolarmente promettenti per la tesi "liquame+120%" con 32.7 t ha⁻¹, mentre la controparte senza aggiunta dell'inibitore, "liquame 120%" è risultata la tesi più produttiva, con 56.0 t ha⁻¹ di biomassa (figura 35a). Un andamento simile, anche se livellato al ribasso su una sostanza secca media del 33%, è stato osservato anche per la produzione di foraggio in sostanza secca (figura 35b).

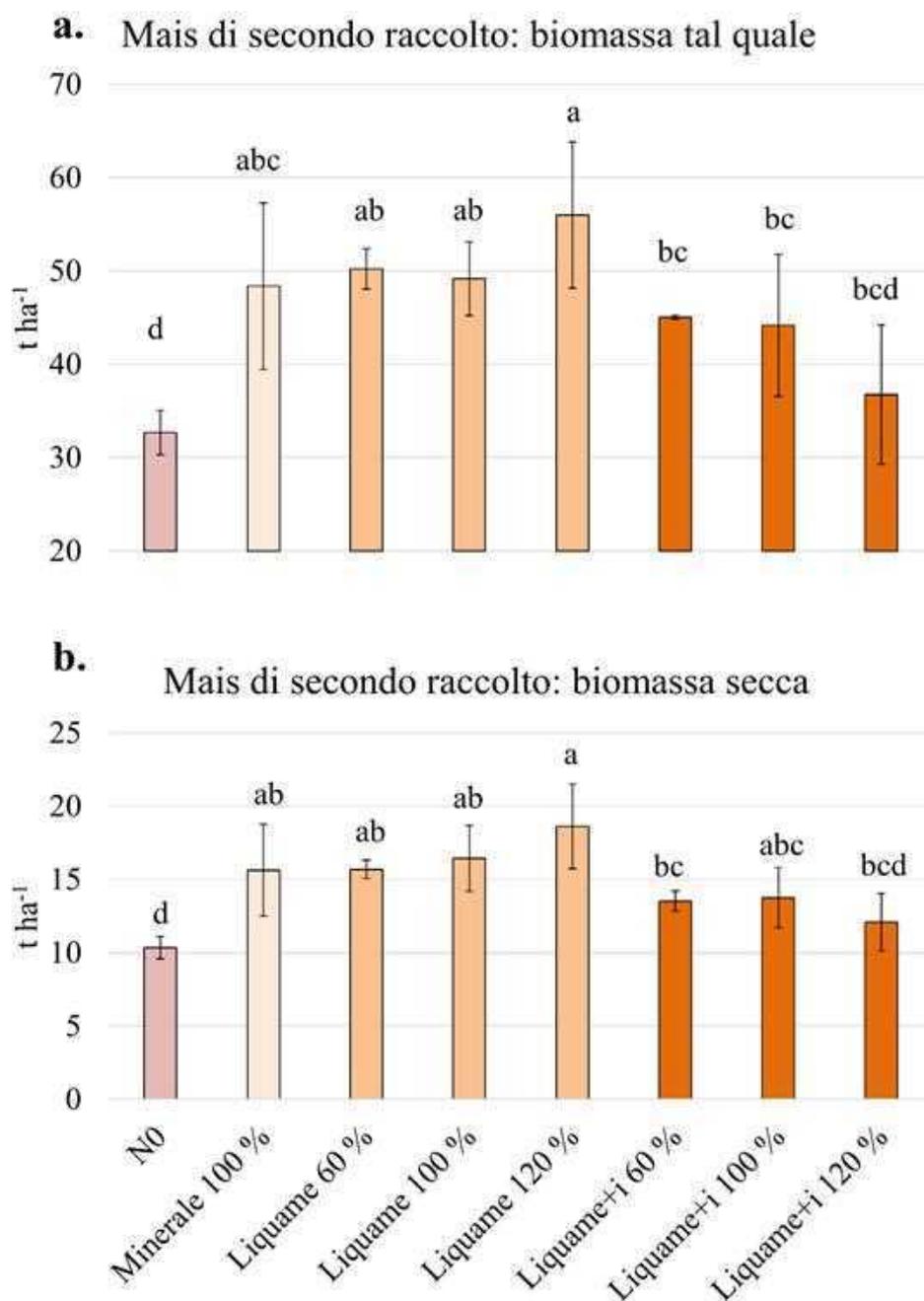


Figura 35a-b. Produzione di foraggio tal quale (a) e in sostanza secca (b) del mais da trinciato. A lettere uguali corrispondono medie significativamente non differenti al test di Sidak ($\alpha = 0.05$).

Nelle nostre condizioni sperimentali, l'impiego dell'inibitore di nitrificazione potrebbe aver ritardato eccessivamente la conversione dello ione ammonio a nitrato, così da comportare un'insufficiente disponibilità di azoto per soddisfare interamente il fabbisogno di una coltura dal veloce ritmo di crescita, come quella di un mais di secondo raccolto, compromettendone parzialmente la resa.

Inoltre, l'interramento in copertura a 10-15 cm di profondità di un refluo a basso contenuto in sostanza secca, quindi molto più mobile nel profilo, può aver promosso la sua migrazione verso strati sottostanti al primo livello di arborescenza radicale del mais. In queste condizioni, è lecito domandarsi se l'aggiunta dell'inibitore non possa essere più fruttuosa se realizzata nella

liquamazione in pre-semina, piuttosto che in copertura, lasciando maggior tempo alla sostanza organica di essere mineralizzata e di rendersi disponibile in maniera sincrona con i maggiori assorbimenti di nutrienti da parte della coltura.

Nella valutazione complessiva della prova, pur necessitando di ulteriori conferme sperimentali, non va tuttavia trascurato l'impatto positivo che ha l'inibizione della nitrificazione sulla riduzione delle emissioni di protossido di azoto e sulla lisciviazione del nitrato, quindi sulle perdite di nutrienti e di conseguenza sulla migliore efficienza d'uso dei reflui zootecnici.

In conclusione, il dato che emerge con maggior forza dalla sperimentazione è la differente risposta colturale delle due foraggere (in interazione con l'andamento meteorologico) all'applicazione dell'inibitore di nitrificazione addizionato ai reflui zootecnici: dato il particolare andamento termo-pluviometrico dell'annata si è evidenziato un chiaro vantaggio nel caso dell'orzo ed una parziale penalizzazione per il mais di secondo raccolto.

Una volta di più, si conferma la necessità di calibrare accuratamente le strategie di distribuzione dei reflui con le esigenze nutritive delle diverse fasi colturali e considerando dinamicamente gli andamenti meteorologici, tenendo in considerazione i risvolti ambientali, da cui ormai non si può prescindere, soprattutto nell'intento di integrare le tecniche di agricoltura di precisione.

Indici di efficienza d'uso dell'azoto

Per stimare l'efficienza d'uso dell'azoto da parte delle colture di orzo e mais sono stati adottati tre indici: la *Nitrogen Uptake Efficiency* (NUpE), data dal rapporto tra le asportazioni azotate della coltura e gli apporti azotati, che costituisce propriamente un indice di efficienza di assorbimento dell'azoto distribuito da parte della coltura in atto; la *Nitrogen Utilization Efficiency* (NUtE), ossia il rapporto tra la biomassa secca prodotta e le asportazioni azotate della pianta, ad indicare l'efficienza di conversione dell'azoto asportato in prodotto agrario; e, infine, la *Nitrogen Use Efficiency* (NUE) propriamente detta, data dalla moltiplicazione dei primi due e quindi espressa dal rapporto tra la biomassa secca prodotta e le unità azotate apportate.

Per l'orzo, all'aumentare degli apporti azotati, gli indici hanno mantenuto un tipico andamento decrescente (figura 36): se si esclude la tesi a zero fertilizzazione, il miglior compromesso è stato raggiunto con una riduzione del 40% della fertilizzazione in copertura che, da un lato, ha mostrato delle rese statisticamente non differenti dalla fertilizzazione a piena dose – ma anche accresciuta di un 20% - e, d'altra parte, ha permesso di ottenere, almeno tendenzialmente, le migliori performance in termini di NUpE, NUtE e NUE per tutte e tre le declinazioni di distribuzione del liquame (da solo, con inibitore e con solfato ammonico).

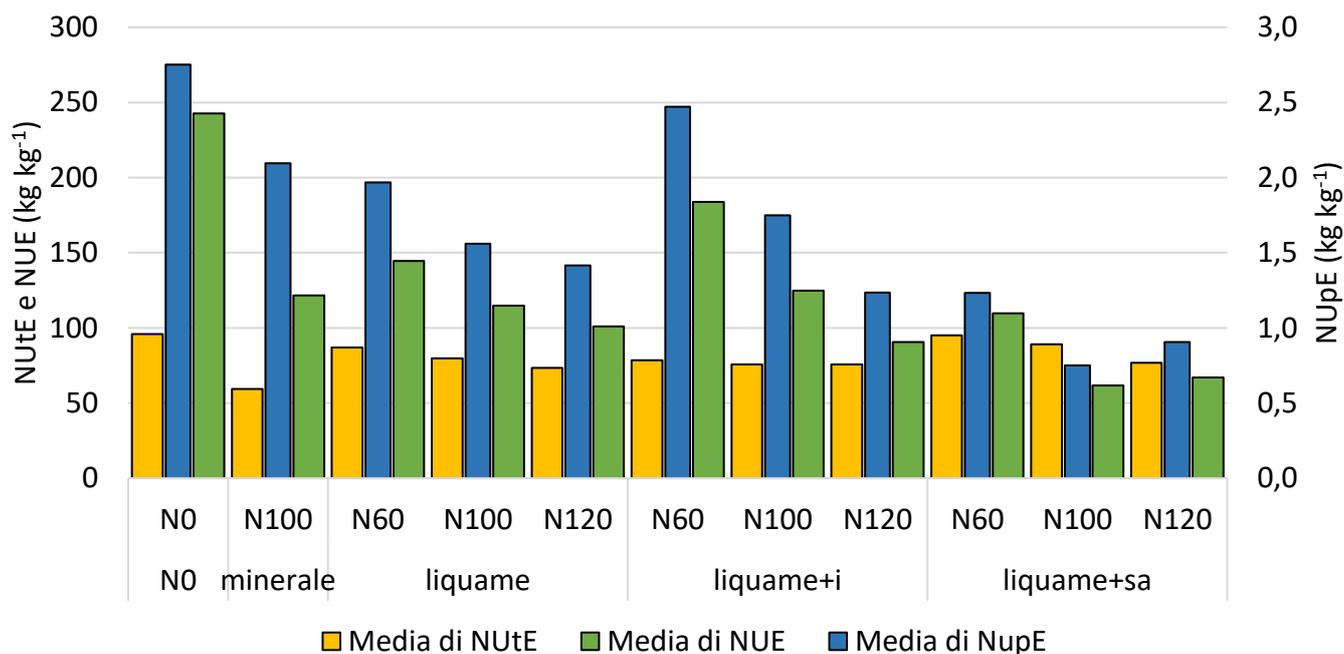


Figura 36. Indici di efficienza d'uso dell'azoto per l'orzo da insilato

Gli indici di efficienza d'uso dell'azoto per il mais (figura 37), hanno poi mantenuto in larga parte lo stesso andamento riscontrato per la precedente coltura d'orzo, con l'esclusione della tesi "liquame + solfato ammonico", eliminata dai trattamenti in esame.

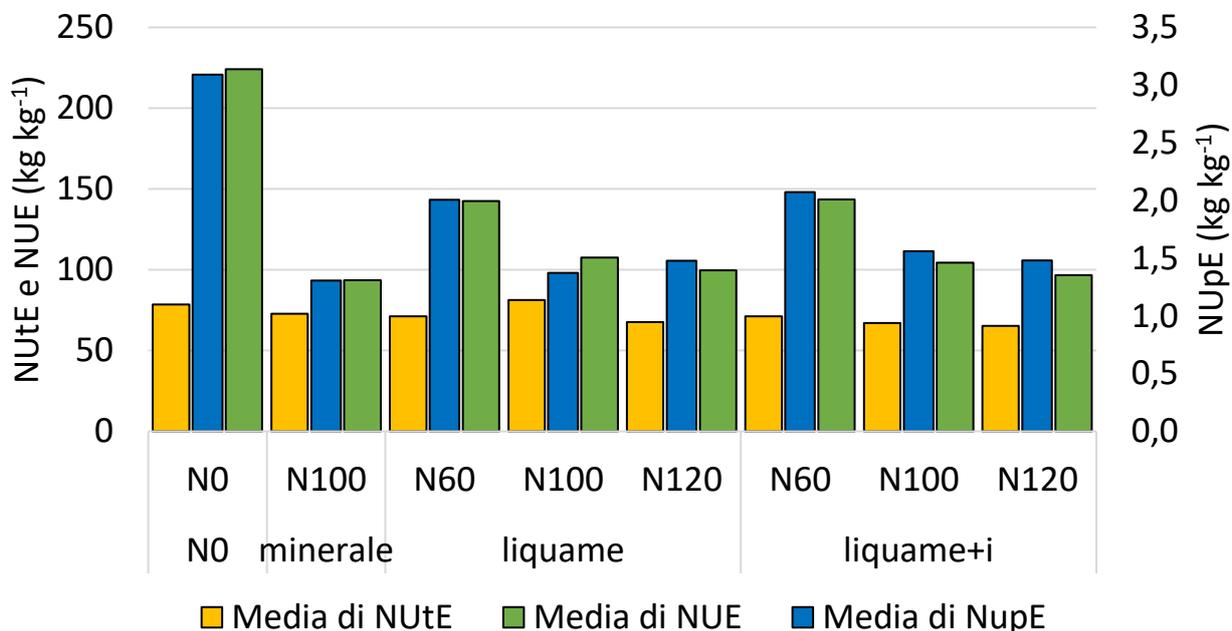


Figura 37. Indici di efficienza d'uso dell'azoto per il mais da insilato

Ancora una volta risalta la prevalenza della tesi N60, sia su "liquame" che "liquame + inibitore", dove, anche con una riduzione del 40% degli apporti azotati in copertura, non sono state neppure riscontrate significative riduzioni nelle rese (figura 35).

Andamento del contenuto in azoto nitrico nel terreno

Nel corso della sperimentazione è stato monitorato il contenuto in azoto nitrico del suolo. Nel complesso sono stati eseguiti otto campionamenti, di cui cinque durante la stagione dell'orzo e tre durante quella del mais di secondo raccolto (Figura 38).

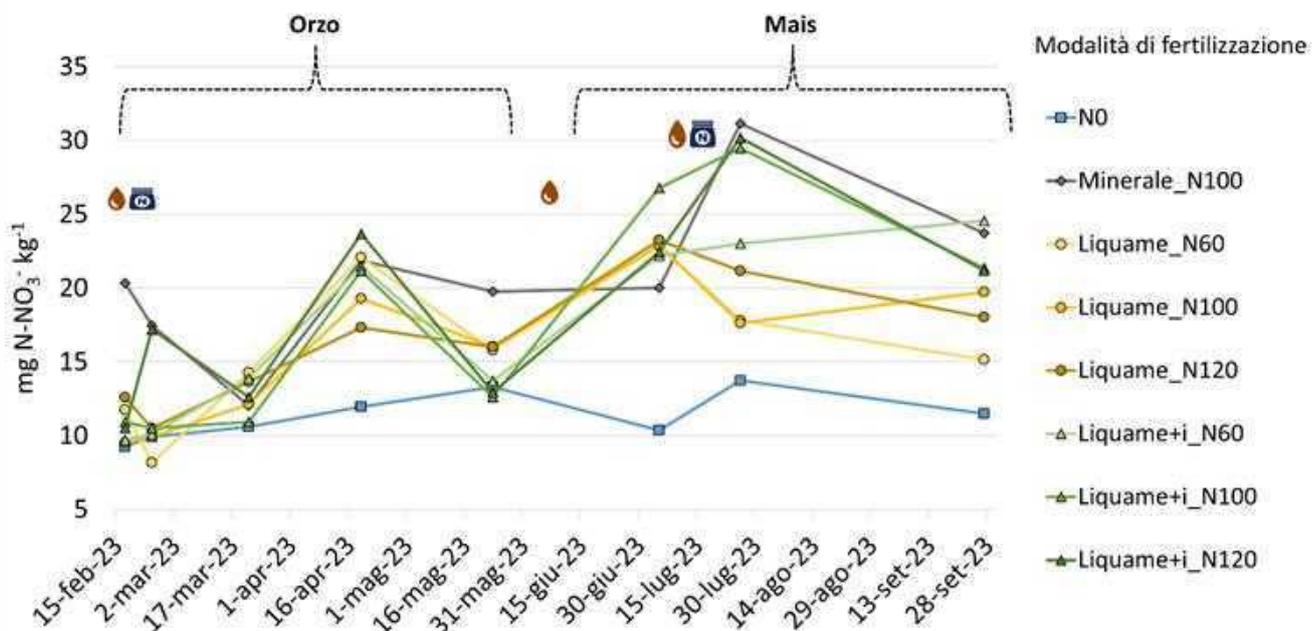


Figura 38. Andamento del contenuto in azoto nitrico nel terreno durante la prova, presso l'azienda CERZOO. Sono evidenziati i periodi di coltivazione di orzo di primo e mais di secondo raccolto

Immediatamente in seguito alla distribuzione di calcio ammonio nitrato per la fertilizzazione di copertura dell'orzo (15 febbraio), sulla tesi minerale, si è registrato un picco immediato di azoto nitrico che è poi andato calando: verosimilmente, tale quota va attribuita alla componente nitrica del fertilizzante minerale, mentre i reflui hanno dovuto verosimilmente attendere la mineralizzazione di una frazione di azoto organico: in effetti, un primo picco è stato rilevato il 19 aprile, dopo 32 mm di pioggia caduti nella settimana antecedente, con un massimo di 23.7 mg kg⁻¹ per la tesi liquame + inibitore e maggiorata del 20% per poi ridiscendere verso tenori più contenuti in prossimità della raccolta dell'orzo, ad esclusione della fertilizzazione minerale che si è mantenuta su tenori attorno ai 20 mg kg⁻¹.

Con la liquamazione di fondo per il mais di secondo raccolto, le concentrazioni di azoto nitrico sono salite ulteriormente, verosimilmente anche in seguito alla decomposizione dei residui colturali dell'orzo. Dopo la fertilizzazione di copertura del mais, invece, mentre l'apporto di liquame semplice sembra aver esaurito il potenziale nei primi giorni successivi alla distribuzione, il contributo dell'inibitore della nitrificazione, può aver ritardato la discesa nel picco di nitrato, raggiungendo livelli paragonabili al fertilizzante minerale, attorno al 26 luglio, per poi ridiscendere in prossimità della raccolta. A questo punto, i valori più bassi sono stati registrati nella tesi "liquame" con riduzione del 40% dell'azoto in copertura.

Il contenuto in azoto nitrico della tesi a zero fertilizzazione si è mantenuto tra i 10 e i 15 mg kg⁻¹ per tutto l'arco di monitoraggio, sia durante la stagione dell'orzo che quella del mais.

AZIONE 4. Analisi della sostenibilità economico-ambientale e sociale

Analisi sostenibilità economico-ambientale

È stata valutata la sostenibilità ambientale mettendo a confronto i sistemi di gestione e coltivazione convenzionali con le agro-tecniche innovative sviluppate dal progetto. L'analisi è stata effettuata utilizzando la metodologia LCA (*Life Cycle Assessment*) [LCA, norme ISO della serie 14040 - 14044] che stima l'impatto ambientale del processo in esame durante tutto il suo ciclo di vita. Le diverse categorie di impatto considerate sono quelle più rilevanti per i processi agricoli, ovvero gas serra, acidificazione, eutrofizzazione, consumo di risorse non rinnovabili.

Per la stima degli impatti è stata applicata la metodologia: EPD 2018 (*Environmental Product Declaration*) e considerate le categorie di impatto previste dal progetto: gas serra, acidificazione, eutrofizzazione, consumo di risorse non rinnovabili.

Le principali categorie di impatto prese in considerazione sono state:

Global Warming Potential (GWP): unità di misura: kg CO₂ equivalente (kg CO₂ eq)

Descrizione: Misura il contributo all'effetto serra dovuto alle emissioni di gas serra.

Acidification Potential (AP): unità di misura: kg SO₂ equivalente (kg SO₂ eq)

Descrizione: Misura il potenziale di acidificazione dei suoli e delle acque, che può portare a fenomeni come le piogge acide.

Eutrophication Potential (EP): unità di misura: kg PO₄³⁻ equivalente (kg PO₄³⁻ eq)

Descrizione: Misura il potenziale di eutrofizzazione, che può causare la crescita eccessiva di alghe nei corpi idrici, riducendo l'ossigeno disponibile per altre forme di vita.

Abiotic Depletion Potential for Fossil Fuels (ADP fossil): unità di misura: MJ (MegaJoule)

Descrizione: Misura il consumo di risorse fossili come petrolio, gas naturale e carbone.

Metodologia LCA

La analisi LCA richiede che siano chiaramente individuati l'obiettivo e i confini dello studio, definendo anzitutto l'unità di riferimento rispetto alla quale vengono valutati gli impatti. Nel nostro studio sono state considerate due diverse unità di riferimento: l'ettaro di superficie coltivata e la resa produttiva delle colture.

I confini del sistema analizzato hanno incluso tutti gli input di materiali necessari alle coltivazioni negli anni della prova (sementi, fertilizzanti, agrofarmaci, mezzi tecnici, energia, etc.) e si sono fermati al cancello della produzione aziendale (*cradle-to-gate*) senza considerare i processi a valle, quali trasporti ed eventuale trasformazione dei prodotti.

Nel calcolo delle categorie di impatto sono state considerate le operazioni che avvengono in campagna, quali i consumi di carburanti e le emissioni di N₂O dovute alle fertilizzazioni azotate organiche e minerali, sia le emissioni dovute alla produzione dei mezzi tecnici impiegati: i carburanti, i fertilizzanti chimici, gli erbicidi, le sementi.

Il programma OpenLCA e la banca dati Agribalyse sono stati utilizzati per la quantificazione degli impatti dei processi "secondari", quei processi produttivi, cioè, per i quali non è possibile raccogliere i dati direttamente.

Sono state considerate le emissioni derivanti dalla produzione del seme utilizzato per le semine, dalla produzione dei concimi e degli erbicidi e dalle emissioni in campo dirette ed indirette dei concimi sia organici che minerali.

Le emissioni di protossido di azoto dovute all'utilizzo dei fertilizzanti sia di sintesi che organici sono state calcolate come emissioni dirette ed indirette, secondo la metodologia IPCC 2006.

Le emissioni dirette sono emissioni di N-N₂O prodotto a seguito della somministrazione nel terreno di azoto contenuto nei concimi minerali e organici mentre le emissioni indirette derivano dalle deposizioni di N-N₂O dovute a deposizioni atmosferiche di NH₃ e NO_x e dalle emissioni di N-N₂O derivanti da ruscellamento e percolazione di composti azotati. In particolare, le emissioni dirette di N₂O dalle fertilizzazioni sono pari al 1% dell'azoto distribuito con i fertilizzanti organici e minerali e riportato al suolo dai residui colturali;

Le emissioni indirette di N₂O dalle fertilizzazioni sono state stimate utilizzando la metodologia IPCC 2019 (Refinement to the 2006 IPCC), che considera le emissioni indirette di N-N₂O pari al 1% delle perdite di N sotto forma di emissioni di NH₃+NO, dovute ai fertilizzanti azotati applicati (sia minerali che organici), e pari al 1.1% delle perdite di N sotto forma di rilasci azotati come percolazione + ruscellamento. Per il fosforo è stata considerata una percentuale di lisciviazione del 3%.

Nel caso dei fertilizzanti di sintesi alle emissioni di N₂O che avvengono in campo a seguito del loro utilizzo vanno aggiunte le emissioni dovute alla loro produzione. Per la quantificazione delle emissioni alla produzione ci siamo avvalsi, come indicato in precedenza, dei dati contenuti nella banca dati Agribalyse. Per i casi in cui è stato applicato un inibitore della nitrificazione (Instinct di Corteva dosato a 1.7 L ha⁻¹) è stata applicata una riduzione del 16% della lisciviazione del nitrato e del 50% delle emissioni di protossido di azoto^{15,16}.

Gli inibitori della nitrificazione rappresentano uno strumento efficace per migliorare l'efficienza dell'uso dell'azoto nei sistemi agricoli e ridurre l'impatto ambientale associato alla lisciviazione e alla volatilizzazione. Tuttavia, l'efficacia specifica può variare in base a una serie di fattori, e quindi è importante considerare le condizioni specifiche di applicazione e le pratiche agricole locali quando si valuta l'uso di questi prodotti.

Parallelamente all'analisi ambientale, è stata effettuata l'analisi economica dei diversi scenari proposti al fine di valutare la redditività nell'utilizzare fertilizzanti rinnovabili e di recupero rispetto a fertilizzanti commerciali di sintesi, considerando sia i costi legati alla loro produzione che al loro utilizzo. I costi sono espressi in €/t di produzione vegetale e €/ha. Si sono stimati i costi dei mezzi tecnici e delle diverse lavorazioni del terreno rilevati nelle prove agronomiche. In particolare, i consumi di carburante e i costi di esercizio delle macchine agricole, i costi di sementi, concimi di sintesi, pesticidi ecc.

Metodologia Economia

La metodologia adottata per l'analisi economica ha previsto il calcolo del costo di esercizio delle operazioni agricole. Il costo di esercizio delle macchine agricole risulta formato da due componenti: le voci di spesa fisse indipendenti dall'utilizzo e le voci di spesa variabili legate all'impiego. Nella componente fissa sono comprese la reintegrazione del capitale investito, gli interessi (costo d'uso

del capitale), le spese inerenti le assicurazioni, il ricovero. La componente variabile comprende: riparazioni, manutenzioni, consumo di materiali, manodopera addetta alla conduzione e al servizio della macchina. I materiali di consumo includono i carburanti e i lubrificanti, le spese per sementi, concimi e agrofarmaci.

Reintegrazione

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

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

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

Il valore a nuovo è stato stimato in base ai prezzi di mercato. Per il valore di recupero si è considerato un deprezzamento annuale del 20% per le macchine semoventi e del 10% per le operatrici. La durata (vita utile) delle macchine è stata stimata in 12 anni.

Interessi

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

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

Dove: A = valore a nuovo; R = valore di recupero; r = saggio di interesse. (è stato applicato un saggio del 4.5%).

Manutenzioni e riparazioni

Per le manutenzioni è stata considerata 1 ora di manutenzione ogni 20 ore di utilizzo trattori e operatrici, 1 ora ogni 10 ore di lavoro per le macchine per la lavorazione del terreno.

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

Carburanti e lubrificanti

Il consumo di carburante è stato stimato utilizzando l'equazione di Grisso et al. (2004)¹⁷:

$$Q = (0.22 R + 0.096) (1 - (-0.0045 R \text{ Nred} + 0.00877 \text{ Nred})) \text{ Ppdp}$$

dove:

Q = quantità di gasolio consumata in l/h;

R = rapporto tra potenza alla presa di potenza (pdp) equivalente e potenza alla velocità nominale alla presa di potenza;

Nred = riduzione in percentuale (%) della valvola di regolazione della mandata (si è ipotizzata una riduzione del 20% rispetto alla massima mandata);

Ppdp = potenza del motore in kW misurata alla presa di potenza (si è assunto un rendimento alla presa di potenza del 90%).

$$\text{Costo gasolio} = P_m * C_M * C_S * P / 1000$$

dove:

P_m = potenza motrice (kW);

Cm=carico motore (%);

Cs=consumo specifico (g/kWh);

P=prezzo del gasolio agevolato (1.1 €/kg)

Il carico motore è stato stimato in base alla gravosità dell'operazione.

Per i lubrificanti è stata utilizzata una formula specifica in base alla potenza motrice applicando un prezzo di 7 €/kg.

$$(kg/h = kW * 0.0004956 + 0.01822)$$

Altri materiali di consumo: Rientrano in queste spese i costi ad esempio delle sementi, dei concimi e degli agrofarmaci utilizzati. I valori delle quantità e dei prezzi sono stati forniti direttamente dal personale aziendale.

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

Di seguito vengono riportati i dati rilevati durante le prove di campo e che sono stati alla base dell'analisi ambientale ed economica (Tabelle 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21). Oltre ai parametri e valori rilevati durante le prove sperimentali, sono state utilizzate tutte quelle informazioni e dati recuperati nell'Azione Studi del progetto.

Tabella 14. Prova Basilico fertilizzato con solfato ammonico di recupero presso azienda COTTI.

Solfato ammonico distribuito (L)	Tesi solfato		Tesi nitrato		Irrigazioni				
	Kg/N	Kg/N/Ha	kg pronto fast distribuiti	K/N/Ha	velocità rotolone (m/h)	acqua distribuita (mm/h)	Volu mi irrigui solfatio	Volum i irrigui test	Volumi irrigui tutto campo
0	0.0	0.0		0.0	30	17.0	11.3	11.3	22.7
109	8.2	81.8	600	75.8	30	17.0	11.3	11.3	22.7
0	0.0	0.0		0.0	23	24.9	21.7	21.7	43.3
0	0.0	0.0		0.0	20	28.3	28.3	28.3	56.6
0	0.0	0.0		0.0	22	26.1	23.7	23.7	47.4
0	0.0	0.0		0.0	20	28.3	28.3	28.3	56.6
79	5.9	59.3	600	75.8	18	30.6	34.0	34.0	68.0
0	0.0	0.0		0.0	20	28.3	28.3	28.3	56.7
0	0.0	0.0		0.0	18	30.6	34.0	34.0	68.0
0	0.0	0.0		0.0	17	31.7	37.3	37.3	74.6
0	0.0	0.0		0.0	18	30.6	34.0	34.0	68.0
0	0.0	0.0		0.0	20	28.3	28.3	28.3	56.6
Tot 188	14.1	141.0		Tot 151.6		Totali	320.5	320.5	641.1

Tabella 15. Prova Barbabietola fertilizzata con solfato ammonico di recupero presso azienda RGR

Tesi solfato	Kg/N	Kg/N/ha	volumi irrigui (m3/ha)	rese (t/ha)
Concimazione	31.7	39.0		
Fertirrigazione	36.8	42.1	160	
Fertirrigazione	75.2	86.0	179	
Totale	143.8	167.0	339	87.98
Tesi nitrato ammonico	Kg/N	Kg/N/ha	volumi irrigui m3/ha	rese t/ha
Concimazione	31.7	38.9		
Fertirrigazione	54.7	62.5	219	
Fertirrigazione	54.7	62.5	176	
Totale	141.2	164.0	395	82.44
Tesi testimone	Kg/N	Kg/N/ha	volumi irrigui m3/ha	rese t/ha
Concimazione	65.0	37.0	0	
Concimazione	184.0	105.1	0	
Totale	249.0	142.1	0	89.87

Tabella 16. Prova Orzo fertilizzato con 4 differenti dosi di liquame presso azienda CERZOO

Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose liquame 1 (60% N da bilancio)	Dose liquame 2 (80% N da bilancio)	Dose liquame 3 (100% N da bilancio)	Dose liquame 4 (120% N da bilancio)
FERTILIZZAZIONE DI FONDO Trattrice Fendt 260 CV con interruttore a ripuntatore e sistema ombelicale	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Varvaet XL accoppiato a barra di liquamazione Schuitemaker EXACTA940	0N = 0 kg N ha ⁻¹	35 m ³ ha ⁻¹ = 58.8 kg N ha ⁻¹	46 m ³ ha ⁻¹ = 77.3 kg N ha ⁻¹	58 m ³ ha ⁻¹ = 97.4 kg N ha ⁻¹	70 m ³ ha ⁻¹ = 117.6 kg N ha ⁻¹
Trincia Claas Jaguar, 2 trattori con carri dumper, 1 trattore con lama per accumulare l'orzo in trincea	31.9 t ha ⁻¹ t.q. = 10.7 t ha ⁻¹ ss	38.5 t ha ⁻¹ t.q. = 13.0 t ha ⁻¹ ss	46.8 t ha ⁻¹ t.q. = 17.3 t ha ⁻¹ ss	37.5 t ha ⁻¹ t.q. = 11.1 t ha ⁻¹ ss	42.0 t ha ⁻¹ t.q. = 14.2 t ha ⁻¹ ss

Tabella 17. Prova Orzo fertilizzato con 4 differenti dosi di liquame con aggiunta di inibitore della nitrificazione presso azienda CERZOO

Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose liquame 1	Dose liquame 2	Dose liquame 3	Dose liquame 4
--------------	-----------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------

		(60% N da bilancio)	(80% N da bilancio)	(100% N da bilancio)	(120% N da bilancio)
FERTILIZZAZIONE DI FONDO Trattrice Fendt 260 CV con interruttore a ripuntatore e sistema ombelicale	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Varvaet XL accoppiato a barra di liquamazione Schuitemaker EXACTA940	0N = 0 kg N ha ⁻¹	35 m ³ ha ⁻¹ = 57.1 kg N ha ⁻¹	46 m ³ ha ⁻¹ = 75.0 kg N ha ⁻¹	58 m ³ ha ⁻¹ = 94.5 kg N ha ⁻¹	70 m ³ ha ⁻¹ = 114.1 kg N ha ⁻¹
Trincia Claas Jaguar, 2 trattori con carri dumper, 1 trattore con lama per accumulare l'orzo in trincea	31.9 t ha ⁻¹ t.q. = 10.7 t ha ⁻¹ ss	39.6 t ha ⁻¹ t.q. = 13.9 t ha ⁻¹ ss	29.4 t ha ⁻¹ t.q. = 9.9 t ha ⁻¹ ss	38.9 t ha ⁻¹ t.q. = 13.1 t ha ⁻¹ ss	42.1 t ha ⁻¹ t.q. = 14.6 t ha ⁻¹ ss

Tabella 18. Prova Orzo fertilizzato con concime minerali a 2 differenti dosi di calcio ammonio nitrato (27 N - 11.5 CaO) presso CERZOO

Operazione	Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose minerale 1 (100% da bilancio)	Dose minerale 2 (120% da bilancio)
FERTILIZZAZIONE DI FONDO interramento liquame separato-liquido	Trattrice Fendt 260 CV con interruttore a ripuntatore e sistema ombelicale	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹	40 m ³ ha ⁻¹ = 68 kg N ha ⁻¹
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Fertilizzazione di copertura (accestimento) con calcio amm. nitr.	Trattrice Fendt 110 cv, spargiconcime Kuhn Axis	0 kg N ha ⁻¹	202 kg ha ⁻¹ = 55 kg N ha ⁻¹	344 kg ha ⁻¹ = 93 kg N ha ⁻¹
Trinciatura orzo	Trincia Claas Jaguar, 2 trattori con carri dumper, 1 trattore con lama per accumulare l'orzo in trincea	31.9 t ha ⁻¹ t.q. = 10.7 t ha ⁻¹ ss	35.8 t ha ⁻¹ t.q. = 12.1 t ha ⁻¹ ss	42.9 t ha ⁻¹ t.q. = 14.3 t ha ⁻¹ ss

Tabella 19. Prova Mais fertilizzato con 4 dosi diverse di liquame presso CERZOO

Operazione	Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose liquame 1 (60% N da bilancio)	Dose liquame 2 (80% N da bilancio)	Dose liquame 3 (100% N da bilancio)	Dose liquame 4 (120% N da bilancio)
FERTILIZZAZIONE DI FONDO Lavorazione a strip till + iniezione liquame per fertilizzazione di fondo	Varvaet XL accoppiato a MOM Strip Hawk Easy	$50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$	$50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$	$50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$	$50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$	$50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 100 \text{ kg N ha}^{-1}$
Semina mais LG31630 a 82.000 piante ha^{-1}	Trattrice Fendt 110 cv, Seminatrice Kverneland, 6 m di larghezza, 1 ha h^{-1}					
Irrigazione	Rotolone avvolgibile, Trattrice Landini 145 cv					
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Concimazione con liquame in copertura e interrato	Varvaet XL accoppiato a Interratore Mainardi 7 file	$0\text{N} = 0 \text{ kg N ha}^{-1}$	$45.3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 90.6 \text{ kg N ha}^{-1}$	$60.4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 120.8 \text{ kg N ha}^{-1}$	$75.5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 151 \text{ kg N ha}^{-1}$	$90.6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} = 181.2 \text{ kg N ha}^{-1}$
Trinciatura mais	Trincia Claas Jaguar, 2 trattori con carri dumper, 1 trattore con lama per accumulare il mais in trincea	$44.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ t.q.} = 14.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ss}$	$50.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ t.q.} = 15.7 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ss}$	$49.9 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ t.q.} = 16.1 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ss}$	$49.2 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ t.q.} = 16.4 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ss}$	$56.0 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ t.q.} = 18.6 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ss}$

Tabella 20. Prova Mais fertilizzato con 4 differenti dosi di liquame con aggiunta di inibitore della nitrificazione presso azienda CERZOO

Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose liquame 1 (60% N da bilancio)	Dose liquame 2 (80% N da bilancio)	Dose liquame 3 (100% N da bilancio)	Dose liquame 4 (120% N da bilancio)

FERTILIZZAZIONE DI FONDO Varvaet XL accoppiato a MOM Strip Hawk Easy	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Varvaet XL accoppiato a Interratore Mainardi 7 file	0N = 0 kg N ha ⁻¹	45.3 m ³ ha ⁻¹ = 90.6 kg N ha ⁻¹	60.4 m ³ ha ⁻¹ = 120.8 kg N ha ⁻¹	75.5 m ³ ha ⁻¹ = 151 kg N ha ⁻¹	90.6 m ³ ha ⁻¹ = 181.2 kg N ha ⁻¹
Trincia Claas Jaguar, 2 trattori con carri dumper, 1 trattore con lama per accumulare il mais in trincea	44.0 t ha ⁻¹ t.q. = 14.4 t ha ⁻¹ ss	45.0 t ha ⁻¹ t.q. = 13.5 t ha ⁻¹ ss	35.3 t ha ⁻¹ t.q. = 13.9 t ha ⁻¹ ss	44.2 t ha ⁻¹ t.q. = 13.8 t ha ⁻¹ ss	36.7 t ha ⁻¹ t.q. = 12.1 t ha ⁻¹ ss

Tabella 21. Prova Mais fertilizzato con 3 diverse dosi di concime minerale presso azienda CERZOO

Operazione	Attrezzatura	Tesi a zero fertilizzazione	Dose minerale 1 (80% N da bilancio)	Dose minerale 2 (100% N da bilancio)	Dose minerale 3 (120% N da bilancio)
FERTILIZZAZIONE DI FONDO Lavorazione a strip till + iniezione liquame per fertilizzazione di fondo	Varvaet XL accoppiato a MOM Strip Hawk Easy	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	50 m ³ ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹
Semina mais LG31630 a 82.000 piante ha ⁻¹	Trattrice Fendt 110 cv, Seminatrice Kverneland, 6 m di larghezza, 1 ha h ⁻¹				
Irrigazione	Rotolone avvolgibile, Trattrice Landini 145 cv				
FERTILIZZAZIONE DIFFERENZIATA Sarchiatura + concimazione ureica	Trattrice Fendt 110 cv, Sarchiatrice, 6 m di larghezza, 1 ha h ⁻¹	0 kg N ha ⁻¹	218 kg ha ⁻¹ = 100 kg N ha ⁻¹	272 kg ha ⁻¹ = 125 kg N ha ⁻¹	327 kg ha ⁻¹ = 150 kg N ha ⁻¹
Trinciatura mais	Trincia Claas Jaguar. 2 trattori con carri dumper. 1 trattore con lama per accumulare il mais in trincea	44.0 t ha ⁻¹ t.q. = 14.4 t ha ⁻¹ ss	40.1 t ha ⁻¹ t.q. = 12.3 t ha ⁻¹ ss	35.2 t ha ⁻¹ t.q. = 11.2 t ha ⁻¹ ss	39.0 t ha ⁻¹ t.q. = 13.3 t ha ⁻¹ ss

I risultati ottenuti per ogni singola tesi sperimentale, applicando le metodologie precedentemente illustrate ed elaborando i dati rilevati (Tabelle 14-21), sono riportati nelle seguenti tabelle (Tabelle 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 e 33).

Tabella 22. Risultati della prova Basilico fertilizzato con solfato ammonico di recupero presso azienda COTTI: Rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda COTTI (valori rapportati alla produzione vegetale).

	NITRATO	SOLFATO	Unità di misura
Resa	59.22	67.70	t tq/ha
Azoto	151.50	141.00	kg/ha
Costo	€ 15.92	€ 11.01	€/t tq
Risorse non rinnovabili	200.50	192.43	MJ/t tq
Acidificazione	0.10	0.15	kg SO ₂ eq/t tq
Eutrofizzazione	0.31	0.26	kg PO ₄ eq/t tq
Riscaldamento globale	34.06	30.54	kg CO ₂ eq/t tq

Le differenze tra i parametri ambientali risultano in genere contenute: -10% emissioni di gas serra, -6% eutrofizzazione, -4% nell'uso di risorse non rinnovabili a favore della tesi concimata con solfato di recupero, rispetto a quella concimata con nitrato ammonico di sintesi; di contro, nella tesi solfato è risultata superiore l'acidificazione (+50%).

I buoni valori nella tesi solfato sono dovuti principalmente alla migliore resa ottenuta: 67.70 t tq/ha, contro 59,22 t tq/ha della tesi nitrato.

Tabella 23. Risultati della prova Basilico fertilizzato con solfato ammonico di recupero presso azienda COTTI: Rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda COTTI (valori rapportati all'ettaro di superficie coltivata).

	NITRATO	SOLFATO	Unità di misura
Resa	59.22	67.70	t tq/ha
Azoto	151.50	141.00	kg/ha
Costo	€ 942.44	€ 745.43	€/ha
Risorse non rinnovabili	11872.70	13027.01	MJ/ha
Acidificazione	5.67	10.01	kg SO ₂ eq/ha
Eutrofizzazione	18.59	17.87	kg PO ₄ eq/ha
Riscaldamento globale	2016.92	2067.34	kg CO ₂ eq/ha

Gli impatti sono leggermente superiori per la tesi "solfato", rispetto a quella "nitrato" per quel che riguarda il riscaldamento globale e le risorse non rinnovabili, mentre si confermano valori significativamente minori nella tesi "solfato" per l'eutrofizzazione e valori maggiori invece per l'acidificazione.

I costi di produzione sono risultati inferiori nella tesi solfato sia esprimendoli sulla resa produttiva (11.01 vs 15.92 €/t tq) che sulla superficie coltivata (745.43 vs 942.44 €/ha) grazie alla miglior resa produttiva della tesi solfato.

Tabella 24. Risultati della prova Barbabietola fertilizzata con solfato ammonico di recupero presso azienda RGR: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda RGR (valori rapportati alla produzione vegetale).

	NITRATO	SOLFATO	Unità di misura
Resa	82.20	88.00	t tq/ha
Azoto	163.97	167.05	kg/ha
Costo	8.47	5.92	€/t tq
Risorse non rinnovabili	50.045	69.585	MJ/t tq
Acidificazione	0.027	0.049	kg SO ₂ eq/t tq
Eutrofizzazione	0.232	0.222	kg PO ₄ eq/t tq
Riscaldamento globale	20.779	20.553	kg CO ₂ eq/t tq

Relativamente alle prove sperimentali condotte presso l'azienda RGR sulla coltivazione di barbabietole, gli impatti sulle risorse non rinnovabili ed acidificazione sono risultate superiori nella tesi solfato, rispettivamente +39% e +81%, rispetto alla tesi nitrato. Lievi e non significative, invece, le differenze per eutrofizzazione ed emissioni di gas serra. Queste tendenze sono generalmente confermate anche prendendo come riferimento la superficie di coltivazione.

Tabella 25. Risultati della prova Barbabietola fertilizzata con solfato ammonico di recupero presso azienda RGR: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda RGR (valori rapportati all'ettaro di superficie coltivata)

	NITRATO	SOLFATO	Unità di misura
Resa	82.20	88.00	t tq/ha
Azoto	163.97	167.05	kg/ha
Costo	696.27	520.82	€/ha
Risorse non rinnovabili	4113.69	6123.48	MJ/ha
Acidificazione	2.24	4.34	kg SO ₂ eq/ha
Eutrofizzazione	19.04	19.56	kg PO ₄ eq/ha
Riscaldamento globale	1708.06	1808.66	kg CO ₂ eq/ha

Dal punto di vista economico la tesi solfato ha ottenuto minori costi rispetto alla tesi nitrato: 592 contro 847 €/t tq e 52082 vs 69627 €/ha dovuti sia al minor costo di acquisto del fertilizzante di recupero rispetto a quello di sintesi che alle migliori rese.

Nella prova denominata Orzo condotta presso CERZOO, sono state confrontate tre tesi a livello di concimazione azotata crescente con tre casi: solo liquame, liquame + inibitore nitrificazione, liquame (in pre-semina) + fertilizzazione minerale (in copertura) – Tabelle 26, 27 e 28).

Tabella 26. Risultati della prova Orzo CERZOO: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda CERZOO (valori rapportati alla produzione vegetale).

	Tesi 0	LIQUAME				LIQUAME + INIBITORE				LIQUAME + MINERALE	
Costo [€/t tq]	22.74	20.55	17.36	22.28	20.44	20.84	28.80	22.35	21.1	21.90	21.59
Risorse non rinnovabili [MJ/t]	207	192	163	211	194	187	260	204	194	271	276
Acidificazione [kg SO ₂ eq/t tq]	0.17	0.15	0.13	0.17	0.15	0.15	0.21	0.16	0.15	0.18	0.17
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/t tq]	0.44	0.65	0.61	0.86	0.85	0.56	0.86	0.73	0.76	0.58	0.59
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/t tq]	33.98	38.90	36.16	45.64	45.10	29.43	39.51	33.16	32.9	46.61	49.55

Tabella 27. Risultati della prova Orzo CERZOO: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda CERZOO (valori rapportati all'ettaro di superficie coltivata).

	Tesi 0	LIQUAME				LIQUAME + INIBITORE				LIQUAME + MINERALE	
Costo [€/ha]	725	791	812	835	858	825	846	869	892	843	926
Risorse non rinnovabili [MJ/ha]	6621	7393	6289	8126	7498	7415	10326	8080	7715	10461	10658
Acidificazione [kg SO ₂ eq/ha]	5.37	5.89	4.98	6.40	5.88	5.89	8.16	6.35	6.03	7.05	6.62
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/ha]	14.1	24.9	23.3	32.9	32.8	22.3	34.0	29.0	29.9	22.1	22.6
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/ha]	1083	1497	1392	1757	1736	1165	1564	1313	1305	1794	1907

Tabella 28. Valori medi della prova Orzo presso CERZOO (valori medi delle differenti dosi applicate in ciascuna tesi - valori rapportati alla produzione vegetale).

	TESI 0	LIQUAME	LIQUAME + INIBITORE	LIQUAME + MINERALE
Resa [t tq/ha]	31.9	41.2	37.5	40.7
Liquame distribuito [t/ha]	40.0	92.2	92.2	40.0
Azoto [kg/ha]	68.0	155.7	152.9	142.0
Costo [€/t tq]	22.74	20.16	23.30	21.74
Risorse non rinnovabili [MJ/t]	207	190	211	274
Acidificazione [kg SO ₂ eq/t tq]	0.17	0.15	0.17	0.18
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/t tq]	0.44	0.74	0.73	0.58
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/t tq]	33.98	41.45	33.76	48.08

I risultati migliori in termini di emissioni di gas serra sono stati ottenuti nella tesi con liquame + inibitore della nitrificazione, che però ha registrato una resa mediamente più bassa e costi leggermente maggiori.

La tesi con liquame e fertilizzazione minerale ha mostrato il maggior impatto, sia nelle emissioni di gas serra, sia nel consumo di risorse non rinnovabili. I valori di acidificazione sono risultati pressoché equivalenti in tutte le tesi, mentre l'eutrofizzazione è risultata più elevata nelle tesi con liquame e con liquame + inibitore.

Nella tabella 29 sono evidenziate alcune correlazioni esistenti tra resa, emissioni di gas serra e dosi di azoto crescenti somministrate. Aumentando la dose di azoto la resa tende ad aumentare specialmente nella concimazione minerale. Anche le emissioni di gas serra tendono ad aumentare con dosi crescenti di azoto tranne nel caso della tesi dove si era distribuito l'inibitore della nitrificazione.

Tabella 29. Coefficienti di correlazione tra la resa, le emissioni di gas serra e le dosi di azoto crescenti somministrate (Prova Orzo presso CERZOO).

	LIQUAME	LIQUAME+INIBITORE	LIQUAME+MINERALE
Correlazione resa-azoto	0.665	0.578	0.999
Correlazione azoto-CO ₂ e	0.851	0.033	0.971

Nella prova denominata Mais condotta sempre presso CERZOO, sono state confrontate tre tesi a livello di concimazione azotata crescente con tre casi: solo liquame, liquame + inibitore della nitrificazione, liquame + fertilizzazione minerale. (Tabelle 30, 31 e 32).

Tabella 30. Risultati della prova Mais CERZOO: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda CERZOO (valori rapportati alla produzione vegetale).

	Tesi 0	LIQUAME				LIQUAME + INIBITORE				LIQUAME + MINERALE		
Costo [€/t tq]	40.4	39.2	40.7	42.5	38.5	44.5	58.5	48.1	59.6	48.4	56.3	51.9
Risorse non rinnovabili [MJ/t]	345	359	377	397	362	401	533	443	554	561	641	581
Acidificazione [kg SO ₂ eq/t tq]	0.24	0.25	0.26	0.27	0.25	0.28	0.37	0.31	0.38	0.31	0.36	0.32
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/t tq]	0.44	0.70	0.81	0.93	0.91	0.70	1.03	0.93	1.24	0.78	0.97	0.94
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/t tq]	40.6	49.7	54.4	59.7	56.9	43.4	59.3	50.4	64.0	67.3	80.5	77.1

Tabella 31. Risultati della prova Mais CERZOO: rese produttive, valutazioni economiche e quantificazione degli impatti ambientali relativamente alle categorie di impatto considerate per le prove presso azienda CERZOO (valori rapportati all'ettaro di superficie coltivata).

	Tesi 0	LIQUAME				LIQUAME + INIBITORE				LIQUAME + MINERALE		
Costo [€/ha]	1780	1968	2031	2094	2156	2002	2065	2128	2190	1943	1984	2025
Risorse non rinnovabili [MJ/ha]	15192	18065	18929	19965	18214	18087	24015	19944	24941	22508	25729	23302
Acidificazione [kg SO ₂ eq/ha]	10.5	12.5	13.1	13.7	12.5	12.5	16.5	13.7	17.1	12.4	14.2	12.9
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/ha]	19.4	35.3	40.8	46.8	45.8	31.5	46.2	41.6	55.9	31.2	38.7	37.8
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/ha]	1786	2495	2733	2997	2857	1956	2672	2271	2880	2701	3231	3092

Tabella 32. Valori medi della prova Mais presso CERZOO (valori medi delle differenti dosi applicate in ciascuna tesi - valori rapportati alla produzione vegetale).

	TESI 0	LIQUAME	LIQUAME + INIBITORE	LIQUAME + MINERALE
Resa [t tq/ha]	44.00	51.33	40.30	38.10
Liquame distribuito [t/ha]	50.00	117.95	117.95	50.00
Azoto [kg/ha]	100.00	235.90	235.90	225.00
Costo [€/t tq]	40.46	40.25	52.71	52.27
Risorse non rinnovabili [MJ/t]	345.28	374.38	483.27	594.68
Acidificazione [kg SO ₂ eq/t tq]	0.24	0.26	0.33	0.33
Eutrofizzazione [kg PO ₄ eq/t tq]	0.44	0.84	0.97	0.90
Riscaldamento globale [kg CO ₂ eq/t tq]	40.61	55.19	54.34	75.02

Le tesi liquame è quella che ha ottenuto in media i valori più elevati di resa in un quadro generale caratterizzato comunque da basse rese (si tratta di semine di secondo raccolto).

Le emissioni di gas serra più elevate, unitamente al consumo di risorse non rinnovabili sono capitate, come nel caso dell'orzo, nella tesi che prevedeva anche la fertilizzazione minerale. Valori non molto dissimili per eutrofizzazione e acidificazione fatta eccezione per la tesi "0" che ha ricevuto solo 50 m³ di liquame. Costi più elevati si sono riscontrati nella tesi liquame + inibitore e liquame + minerale.

Nella tabella 20 sono evidenziate alcune correlazioni esistenti tra resa, emissioni di gas serra e dosi di azoto crescenti somministrate. Aumentando la dose di azoto la resa tende ad aumentare specialmente nella concimazione minerale. Anche le emissioni di gas serra tendono ad aumentare con dosi crescenti di azoto tranne nel caso della tesi dove si era distribuito l'inibitore della nitrificazione.

Tabella 33. Coefficienti di correlazioni tra la resa, le emissioni di gas serra e le dosi di azoto crescenti somministrate (Prova Mais presso CERZOO).

	LIQUAME	LIQUAME+INIBITORE	LIQUAME+MINERALE
Correlazione resa-azoto	0.885	-0.499	-0.813
Correlazione azoto-CO ₂ e	0.957	0.820	0.972

Conclusioni

Gli impatti ambientali calcolati per unità di prodotto dipendono fortemente dalle rese. Una maggiore resa produttiva riduce l'impronta di carbonio stimata per unità di prodotto, poiché diluisce le emissioni totali di gas serra su una quantità maggiore di prodotto ottenuto.

Il basilico e la barbabietola hanno ottenuto migliori risultati produttivi dalla concimazione con solfato ammonico di recupero.

Nell'orzo, l'utilizzo dei liquami al posto del concime minerale mitiga gli impatti derivanti dalle fertilizzazioni.

Nel mais, le rese relativamente basse, osservate soprattutto nei trattamenti con liquame con inibitore e liquame con fertilizzazione minerale, hanno aumentato il valore degli impatti. Tuttavia, questi impatti sono stati mitigati nel trattamento in cui è stato utilizzato l'inibitore della nitrificazione.

Nelle prove agronomiche, numerosi fattori, possono influenzare i risultati, che spesso possono differire dalle aspettative, rendendo talvolta difficile individuare le motivazioni alla base di tali variazioni.

Analisi sostenibilità sociale

In questa fase, è stato presentato il progetto RESURGE ad alcune classi di istituti tecnici/professionali agrari sul territorio regionale. In seguito, sono stati somministrati dei questionari, grazie ai quali sono state valutate le ricadute di RESURGE in termini di percezione/sensibilizzazione dei giovani consumatori (qualificati, in quanto esperti sugli argomenti trattati) sugli effetti positivi generati dalle innovazioni del progetto, in termini tecnici e di eco-compatibilità del sistema produttivo.

Il questionario, somministrato a 117 partecipanti, riportava 10 domande di vario tipo sulla percezione dell'introduzione in azienda delle soluzioni innovative targate RESURGE: di seguito sono riportati le domande e i risultati.

1	Cosa significa per lei fertilizzante rinnovabile?	%
a	un fertilizzante che parte da sottoprodotti (scarti) e punta alla loro valorizzazione	40
b	un fertilizzante che mira alla produzione di prodotti di qualità con una maggiore attenzione all'ambiente	22
c	un fertilizzante in grado di ridurre l'impatto negativo dell'agricoltura sul clima	34
d	la ritengo una trovata commerciale	4
2	Quale pensa che sia il maggior impatto dei fertilizzanti rinnovabili sull'ambiente?	
a	aumento della biodiversità	30
b	riduzione gas serra e inquinamento	25
c	miglioramento delle caratteristiche del suolo	42
d	non crea nessun vantaggio	3
3	Quali sono, secondo lei, le principali problematiche da affrontare per un uso esclusivo di fertilizzanti rinnovabili?	
a	reperimento del fertilizzante e costi	53
b	difficoltà di distribuzione	19
c	possibile diminuzione della redditività	27
d	possibile calo di qualità	1
4	Che importanza attribuisce all'agricoltura di precisione per il miglioramento di efficienza dei piani di concimazione e la mitigazione dell'inquinamento delle acque?	
a	molto alta	40
b	significativa ma non indispensabile	43
c	medio-bassa	12
d	ininfluente	5
5	Dove pensa siano meglio applicabili le innovazioni RESURGE?	
a	in aree contraddistinte da forte variabilità pedologica	33
b	in aree pianeggianti con alta densità di allevamenti	52
c	in ambito collinare	10
d	non so	4
6	Qual è l'innovazione RESURGE più prontamente introducibile nelle aziende e con il maggior effetto potenziale?	
a	cover crop	45
b	agricoltura di precisione e rateo variabile	35
c	non lavorazione del terreno e sub-irrigazione	19
d	nessuna delle precedenti	1
7	Quanto sarebbe disposto a pagare in più un prodotto derivato da agricoltura sostenibile rispetto all'analogo convenzionale?	

a	10-30%	84
b	30-60%	10
c	oltre il 60%	1
d	non sono disposto a pagare di più	5
8	Nella sua zona di provenienza ritiene che siano applicabili le innovazioni RESURGE:	
a	Assolutamente sì	16
b	Più sì che no	35
c	Più no che sì	45
d	Assolutamente no	4
9	Dove si informa sulla gestione efficiente dei reflui?	
a	riviste tecniche del settore	31
b	scuola	41
c	internet e social	25
d	non mi informo	4
10	È favorevole alla creazione di un marchio che contraddistingua un prodotto derivante da agricoltura sostenibile (ad esempio, come per l'agricoltura BIO)?	
a	sì	94
b	no	6

Commento sui Risultati del Sondaggio

Il sondaggio realizzato tra studenti di istituti tecnici e professionali agrari offre uno spaccato significativo su come le innovazioni del progetto RESURGE vengono percepite dai giovani in ambito agricolo. Le risposte raccolte dimostrano una crescente consapevolezza e interesse verso le pratiche agricole sostenibili e le soluzioni innovative proposte dal progetto.

Innanzitutto, emerge chiaramente un riconoscimento positivo dei fertilizzanti rinnovabili, con una forte attenzione ai benefici ambientali e alla valorizzazione dei sottoprodotti. Questo indica una comprensione e un apprezzamento per le tecnologie che mirano a ridurre l'impatto ecologico dell'agricoltura, suggerendo che i concetti di sostenibilità ed economia circolare sono ben recepiti dai giovani agricoltori.

Le preoccupazioni principali riguardano i costi e la disponibilità dei fertilizzanti rinnovabili, che sono considerati come le sfide più rilevanti per una loro adozione più diffusa. Questo riflette una necessità di affrontare gli aspetti economici e logistici per rendere queste soluzioni più accessibili e praticabili nelle realtà agricole. È evidente che per favorire una transizione verso l'uso prioritario di fertilizzanti rinnovabili sarà cruciale garantire un equilibrio tra costi e benefici, e facilitare l'accesso ai prodotti innovativi.

L'importanza attribuita all'agricoltura di precisione è un segnale positivo, evidenziando una consapevolezza crescente riguardo alla gestione ottimizzata dei nutrienti e alla mitigazione dell'inquinamento. La valorizzazione di pratiche come le *cover crop* e l'agricoltura di precisione, suggerisce che queste innovazioni sono percepite come altamente rilevanti e applicabili nel contesto agricolo attuale.

Il sostegno per la creazione di un marchio distintivo per i prodotti derivanti da agricoltura sostenibile indica una forte domanda di trasparenza e certificazione nel mercato agricolo. Questo potrebbe

essere un'opportunità significativa per promuovere ulteriormente le pratiche sostenibili e per educare i consumatori sui benefici delle soluzioni innovative proposte dal progetto RESURGE.

In conclusione, i risultati del sondaggio mostrano un quadro positivo, ma anche sfide concrete. La comprensione e l'apprezzamento delle innovazioni RESURGE sono evidenti, ma è fondamentale affrontare le preoccupazioni economiche e logistiche per facilitare una più ampia adozione. Continuare a sensibilizzare e educare sui benefici delle tecnologie sostenibili e lavorare per rendere queste soluzioni più accessibili sarà cruciale per il successo a lungo termine del progetto.

Bibliografia

1. Ardeni, F. *et al.* Matching crop row and dripline distance in subsurface drip irrigation increases yield and mitigates N₂O emissions. *F. Crop. Res.* **289**, 108732 (2022).
2. Edwards, T. M. *et al.* Ammonia and aquatic ecosystems – A review of global sources, biogeochemical cycling, and effects on fish. *Sci. Total Environ.* **907**, 167911 (2024).
3. Subbarao, G. V. *et al.* Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities. *CRC. Crit. Rev. Plant Sci.* **25**, 303–335 (2006).
4. Martins, M. R. *et al.* Strategies for the use of urease and nitrification inhibitors with urea: Impact on N₂O and NH₃ emissions, fertilizer-15N recovery and maize yield in a tropical soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* **247**, 54–62 (2017).
5. Vasa, T. N. & Pothanamkandathil Chacko, S. Recovery of struvite from wastewaters as an eco-friendly fertilizer: Review of the art and perspective for a sustainable agriculture practice in India. *Sustain. Energy Technol. Assessments* **48**, 101573 (2021).
6. Faucon, M.-P. *et al.* Advances and Perspectives to Improve the Phosphorus Availability in Cropping Systems for Agroecological Phosphorus Management. in 51–79 (2015). doi:10.1016/bs.agron.2015.06.003.
7. Robles, A. & Ana, A. Towards a more efficient and sustainable fertilization through recycling phosphorus as struvite. (Universitäts-und Landesbibliothek, Bonn, 2018).
8. Huygens, D. *et al.* Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC). (2020). doi:https://doi.org/10.2760/373351.
9. Weeks, J. J. & Hettiarachchi, G. M. A Review of the Latest in Phosphorus Fertilizer Technology: Possibilities and Pragmatism. *J. Environ. Qual.* **48**, 1300–1313 (2019).
10. Chien, S. H., Prochnow, L. I. & Cantarella, H. Chapter 8 Recent Developments of Fertilizer Production and Use to Improve Nutrient Efficiency and Minimize Environmental Impacts. in 267–322 (2009). doi:10.1016/S0065-2113(09)01008-6.
11. Capra, F. *et al.* Towards efficient N cycling in intensive maize: role of cover crops and application methods of digestate liquid fraction. *GCB Bioenergy* **15**, 867–885 (2023).
12. Seifu, W. & Elias, E. Soil Quality Attributes and Their Role in Sustainable Agriculture: A Review. *Int. J. Plant Soil Sci.* **26**, 1–26 (2018).
13. Nyamangara, J., Bergström, L. F., Piha, M. I. & Giller, K. E. Fertilizer Use Efficiency and Nitrate Leaching in a Tropical Sandy Soil. *J. Environ. Qual.* **32**, 599–606 (2003).
14. Somashekar, K. S. *et al.* Revolutionizing Agriculture: Innovative Techniques, Applications, and Future Prospects in Precision Farming. *J. Sci. Res. Reports* **30**, 405–419 (2024).
15. Qiao, C. *et al.* How inhibiting nitrification affects nitrogen cycle and reduces environmental impacts of anthropogenic nitrogen input. *Glob. Chang. Biol.* **21**, 1249–1257 (2015).
16. Wolt, J. D. A meta-evaluation of nitrapyrin agronomic and environmental effectiveness with emphasis on corn production in the Midwestern USA. (2004).
17. Robert D. Grisso, David H. Vaughan & Gary T. Roberson. Method for Fuel Prediction for Specific Tractor Models. in *2006 Portland, Oregon, July 9-12, 2006* (American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006). doi:10.13031/2013.20606.

Piacenza, 24 settembre 2024



IL RESPONSABILE DI PROGETTO

