



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. 1098 DEL 01/07/2019**

FOCUS AREA  2A  4B

RELAZIONE TECNICA  INTERMEDIA  FINALE

**DOMANDA DI SOSTEGNO 5150049**

**DOMANDA DI PAGAMENTO 5543768**

Titolo Piano	Agrotecniche <b>SOS</b> tenibili e fertilizzanti rinnovabili per coniugare <b>Agricoltura, AcQUA</b> e <b>AmbientE</b>
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. spa</b>
Partner del GO	Università Cattolica del Sacro Cuore FONDAZIONE CRPA STUDI RICERCHE Soc. Agr. R.G.R. di Cagarelli Ruggero, Gaetano e Marcello s.s. CERZOO SOCIETA' AGRICOLA LEONA DINAMICA NETAFIM ITALIA SRL Società con Socio Unico Consorzio Italiano Biogas e Gassificazione

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	<b>30</b>
Data inizio attività	27/04/2020
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	25/01/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	1/01/2022	al 25/01/2023
Data rilascio relazione	24/03/2023	

Autore della relazione	Paolo Mantovi		
telefono		email	<a href="mailto:P.Mantovi@crpa.it">P.Mantovi@crpa.it</a>
pec	<a href="mailto:crpa@postacert.vodafone.it">crpa@postacert.vodafone.it</a>		

## Sommario

Sommario .....	2
1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO.....	3
1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO .....	4
2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE.....	5
2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI .....	5
2.2 PERSONALE .....	
2.3 TRASFERTE .....	
2.4 MATERIALE CONSUMABILE .....	
2.5 SPESE PER MATERIALE DUREVOLE E ATTREZZATURE.....	
2.6 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI .....	
2.7 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI.....	
2.8 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA .....	
3 - CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ .....	22
4 - ALTRE INFORMAZIONI .....	22
5 - CONSIDERAZIONI FINALI.....	22
6 - RELAZIONE TECNICA .....	22

# 1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO

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

Assieme alla costituzione del Gruppo Operativo in forma di ATS, le attività tecniche sono state avviate regolarmente e in seguito si è tenuta la prima riunione di Comitato di Piano (07 ottobre 2020), per verificare il corretto avvio del progetto e fare il punto sulla gestione delle attività tecniche del Piano. Successivamente, in data 07 aprile 2021 si è tenuta la seconda riunione del Comitato di Piano, per programmare le attività agronomiche e di monitoraggio per l'anno 2021.

Per ognuna delle aziende agricole coinvolte (CERZOO, R.G.R., Leona) è stata effettuata un'analisi organizzativa, attraverso la raccolta di dati di base (superfici, colture, dotazioni) e delle informazioni relative alle pratiche consuete di gestione dell'irrigazione, della concimazione e alle caratteristiche pedologiche/colturali disponibili.

Nei tre siti di sperimentazione - prove agronomiche - delle aziende agricole del Gruppo Operativo sono stati utilizzati, in impianti adeguati alla fertirrigazione, i seguenti fertilizzanti "rinnovabili":

A) Azienda CERZOO - Solfato di ammonio derivato da strippaggio in processo N-FREE applicato a effluenti di allevamento

B) Azienda R.G.R. - Digestato microfiltrato derivato da digestato di tipo agro-industriale

C) Azienda Leona - Digestato microfiltrato derivato da digestato di tipo agro-zootecnico

È stata portata a termine la caratterizzazione iniziale dei terreni per ciascuna delle tre prove agronomiche e la caratterizzazione qualitativa dei campioni vegetali prelevati nel corso del 2020 e 2021.

Sono state inoltre campionate e caratterizzate le acque irrigue e le miscele tra queste ed i fertilizzanti rinnovabili, e determinate le concentrazioni di azoto minerale (ioni nitrato e ammonio) sia in campioni di terreno che delle acque di ritenzione del suolo prelevate attraverso coppe porose (lisimetri a suzione).

La prova agronomica di Azienda Leona è stata condotta e portata a termine nel corso del 2021, come da programma.

Per la fase di lavoro relativa alla valutazione degli effetti sulla resa e sulle emissioni di GHGs, presso l'azienda CERZOO sono state condotte le misure delle emissioni di gas serra dal suolo, con la metodologia a camere statiche e determinazione attraverso gascromatografo.

Per le fasi di lavoro relative alla sostenibilità ambientale ed economica, per ciascuna azienda è stato portato avanti il lavoro di registrazione dei dati tecnici ed economici aziendali, mentre la loro analisi è stata completata per l'Azienda Leona dove la prova agronomica si è conclusa nel corso del 2021.

Per quanto concerne le attività di divulgazione dei risultati il CRPA, in condivisione con i partner di progetto, ha dato vita ad un mix di iniziative volte a promuovere le attività intraprese, rivolte a stakeholder a livello locale e anche ad un più ampio raggio.

Nei primi mesi, dopo la progettazione della linea grafica che viene mantenuta per tutta la durata del piano, si è attivato un sito web di progetto all'interno del dominio Crpa, in cui è possibile seguire l'evolversi di tutte le attività divulgative del GOI: <https://sosaquae.crpa.it>

## 1.1 STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO

Azione	Unità aziendale responsabile	Tipologia attività	Mese inizio attività previsto	Mese inizio attività effettivo	Mese termine attività previsto	Mese termine attività effettivo
Esercizio della cooperazione	CRPA spa	Cooperazione	1	1	30	33
Studi necessari alla realizzazione del piano	CRPA spa	Studi necessari alla realizzazione del Piano	1	1	9	33
Azione 1 - Produzione e caratterizzazione dei fertilizzanti rinnovabili	CRPA spa	Realizzazione	1	1	30	33
Azione 2 - Gestione sostenibile degli agrosistemi	CRPA spa	Realizzazione	1	1	30	33
Azione 3 - Strategie di fertirrigazione efficienti	CRPA spa	Realizzazione	1	1	30	33
Azione 4 - Analisi della sostenibilità ambientale ed economica	CRPA spa	Realizzazione	1	1	30	33
Divulgazione e disseminazione	CRPA spa	Divulgazione e disseminazione	1	1	30	33
Formazione	Dinamica	Formazione	1	1	30	24

## 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

*Compilare una scheda per ciascuna azione*

### 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione	<b>Esercizio della cooperazione</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Il Gruppo Operativo SOS_AQUAE ha confermato alla Regione l'interesse alla realizzazione del Piano con lettera Prot. DOC-2020-1220 del 13/05/2020 e si è costituito in forma di ATS con atto notarile n. 7107 S1T del 11/06/2020. La prima riunione di Comitato di Piano si è tenuta in data 07 ottobre 2020 presso la sede del Centro Ricerche Produzioni Animali, capofila del GOI, con la possibilità di partecipazione da remoto (videoconferenza). In questa occasione è stato verificato il corretto avvio del progetto ed è stato fatto il punto sulla gestione delle attività tecniche del Piano, ovvero agronomiche e di monitoraggio, ma anche quelle di divulgazione e formazione. La seconda riunione del Comitato di Piano si è tenuta in data 07 aprile 2021, in questo caso presso la sede di Società Agricola Leona e con la possibilità di partecipazione da remoto (videoconferenza) ed è stata l'occasione per programmare le attività agronomiche e di monitoraggio per l'anno 2021. La riunione è servita anche per prendere visione diretta delle attrezzature necessarie per il trasporto e la distribuzione del digestato microfiltrato attraverso il sistema irriguo aziendale a rainger. La terza riunione del Comitato di Piano si è tenuta in data 13 ottobre 2021 per programmare come concludere le attività di campo della terza ed ultima annualità (per CERZOO e RGR), quelle di divulgazione ed il viaggio di studio in Catalunya. Oltre le riunioni del Comitato di Piano, il management staff di CRPA SpA ha incontrato anche singolarmente i vari partner per verificare la corrispondenza delle attività con quelle assegnate e la tempistica di esecuzione. Le attività di project management sono state svolte da CRPA SpA verificando il corretto svolgimento delle attività del Piano, seguendo le comunicazioni che riguardano la sua gestione, i passaggi di informazioni, la programmazione e la gestione delle attività di divulgazione/informazione. Tali attività sono supportate dal sistema di gestione della qualità (SGQ) CRPA, conforme alla norma ISO 9001/UNI EN ISO 9001:2015. Lo strumento utilizzato per gestire l'SGQ in CRPA è il CRM aziendale.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p>
Attività ancora da realizzare	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p>

Azione	<b>Studi necessari alla realizzazione del Piano</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Per ognuna delle aziende agricole coinvolte (CERZOO, R.G.R., Leona) è stata effettuata una analisi organizzativa, attraverso la raccolta di dati di base (superfici, colture, dotazioni) e delle informazioni relative alle pratiche consuete di gestione dell'irrigazione, della concimazione e alle caratteristiche pedologiche/colturali disponibili.</p> <p>Si è anche proceduto con un'analisi delle principali tecniche di trattamento degli effluenti di allevamento e dei digestati utili a produrre dei fertilizzanti rinnovabili che possano essere impiegati con elevata efficienza dell'azoto in sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. In particolare, sono state identificate quali sono le tipologie di trattamento applicabili e le relative efficienze di rimozione dell'azoto, le caratteristiche dei prodotti, i vincoli applicativi.</p> <p>Tra le tecniche più significative sono state considerate, in particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Strippaggio ed assorbimento ammoniacale</li> <li>- Essiccazione</li> <li>- Microfiltrazione meccanica</li> <li>- Compostaggio</li> </ul>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i>

Azione 1	<b>Produzione e caratterizzazione dei fertilizzanti rinnovabili</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Nei tre siti di sperimentazione delle aziende agricole del Gruppo Operativo sono stati utilizzati, in impianti adeguati alla fertirrigazione, i seguenti fertilizzanti "rinnovabili":</p> <p>A) Azienda CERZOO - Solfato di ammonio derivato da strippaggio in processo N-FREE applicato a effluenti di allevamento</p> <p>B) Azienda R.G.R. - Digestato microfiltrato derivato da digestato di tipo agro-industriale</p> <p>C) Azienda Leona - Digestato microfiltrato derivato da digestato di tipo agro-zootecnico</p> <p>Nei casi con microfiltrazione, trattandosi di nuove installazioni previste da Piano di Innovazione, si è proceduto anche a campionamenti ed analisi dei prodotti di partenza, intermedi e finali.</p> <p>Nel corso del progetto sono state condotte 4 sessioni complete di misura e campionamento su microfiltro di Azienda RGR, su 4 previste (anni 2021 e 2022), e 2 su 2 previste su microfiltro Azienda Leona (anno 2021).</p> <p>I campioni di solfato ammonico da analizzare sono stati prelevati e analizzati come previsto nel piano (6 campioni in totale).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i>

Azione 2	<b>Gestione sostenibile degli agrosistemi</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Presso ciascuna delle tre aziende agricole partecipanti è stata condotta una prova agronomica con impiego dei fertilizzanti rinnovabili di cui alla azione 1. L'azione n. 2 ha previsto in particolare rilievi delle produzioni vegetali per ciascuna delle tesi a confronto, campionamenti ed analisi sia sui terreni che sulle coltivazioni.</p> <p>Presso il CERZOO sono state coltivate le primaverili estive mais e soia, intervallate da cover crops; presso RGR come colture irrigue si sono avute sorgo (doppio sfalcio) nel 2020, e mais in secondo raccolto nel 2021 e 2022, rispettivamente in successione a erbaio misto raccolto come trinciato (2021) e segale raccolta come trinciato (2022).</p> <p>È stata portata a termine la caratterizzazione dei terreni per ciascuna delle tre prove agronomiche e la caratterizzazione qualitativa dei campioni vegetali prelevati nel corso dei tre anni del progetto.</p> <p>Presso Azienda CERZOO sono state installate e seguite le sonde tensiometriche ed anche lo studio di degradazione del residuo con "litter bags" è stato realizzato secondo programma.</p> <p>La prova agronomica di Azienda Leona è stata condotta e portata a termine nel corso del 2021, come da programma, con mais da trinciato integrale.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato sostanzialmente conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p> <p>Si segnala solo che le sonde tensiometriche hanno restituito un dataset qualitativamente non soddisfacente a causa del crepacciamento del terreno (riconducibile ai fenomeni di dilatazione delle argille espandibili), evidenziando i limiti di questi strumenti nel monitoraggio del tenore di umidità dei terreni franco-argilloso-limosi. Questo non ha però inficiato i risultati agronomici della prova CERZOO.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i>



Azione 3	<b>Strategie di fertirrigazione efficienti</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Questa azione ha incluso il lavoro di trasporto ai campi dei fertilizzanti rinnovabili (solfato d'ammonio da strippaggio per CERZOO, digestato microfiltrato per R.G.R e Leona) e la loro iniezione nei sistemi di fertirrigazione.</p> <p>I partner scientifici hanno collaborato strettamente con le tre aziende agricole per la gestione operativa degli interventi irrigui e fertirrigui e comunque di tutti quelli di fertilizzazione nei diversi siti agronomici.</p> <p>Il digestato microfiltrato, trasportato per mezzo di un carrobotte nei pressi della motopompa del sistema irriguo ad ali gocciolanti in subirrigazione (RGR) o del rainger (Leona), è stato 'iniettato' negli impianti irrigui attraverso un tubo in gomma flessibile in uscita dal carrobotte ed innestato sul tubo metallico di aspirazione dell'acqua dal canale di bonifica, con apertura regolabile attraverso una valvola manuale. Il solfato ammonico da strippaggio al CERZOO, trasportato in bins da 1 metro cubo ciascuno, è stato iniettato nell'impianto fertirriguo per mezzo di sistema tipo Venturi.</p> <p>Sono state inoltre campionate e caratterizzate le acque irrigue e le miscele tra queste ed i fertilizzanti rinnovabili, e determinate le concentrazioni di azoto minerale (ioni nitrato e ammonio) sia in campioni di terreno che delle acque di ritenzione del suolo prelevate attraverso coppe porose (lisimetri a suzione).</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p> <p>Al pari delle sonde tensiometriche, anche le coppe porose per il prelievo delle acque di ritenzione hanno evidenziato qualche limite in terreni limosi-argillosi soggetti a crepacciamento, pertanto i campionamenti delle acque di ritenzione si sono concentrati nei periodi maggiormente piovosi.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i>

Azione 4	<b>Analisi della sostenibilità ambientale ed economica</b>
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali - CRPA SpA</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>Per la fase di lavoro relativa alla valutazione degli effetti sulla resa e sulle emissioni di GHGs (4.1), presso l'azienda CERZOO sono state condotte le misure delle emissioni di gas serra (N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, e CH<sub>4</sub>) dal suolo, con la metodologia a camere statiche e determinazione attraverso gascromatografo con rivelatore a cattura di elettroni (GC-ECD).</p> <p>È stato raggiunto il numero di campionamenti ed analisi previsto.</p> <p>Per le fasi di lavoro relative alla sostenibilità ambientale (4.2) ed economica (4.3), per ciascuna azienda è stato portato avanti il lavoro di registrazione dei dati tecnici ed economici aziendali, in raccordo con l'azione 'Studi necessari alla realizzazione del Piano'.</p> <p>Questo ha permesso il calcolo degli impatti stimati in kg CO<sub>2</sub> equivalente su ettaro mediante l'analisi del ciclo di vita Life Cycle Assessment (LCA), la quale, in accordo con le norme ISO 14040-44, ha considerato e valutato tutti gli input necessari per le diverse coltivazioni nelle tre aziende del progetto.</p> <p>La metodologia adottata per l'analisi economica ha previsto il calcolo del costo delle operazioni colturali svolte negli anni di prova in ciascuna delle tre aziende, comprensive dei costi dei mezzi tecnici e dell'utilizzo delle macchine agricole, che risulta formato da due componenti: le voci di spesa fisse indipendenti dall'utilizzo e le voci di spesa variabili legate all'impiego.</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è risultato conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività.</p>
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i>

Azione	Divulgazione
Unità aziendale responsabile	<b>Centro Ricerche Produzioni Animali C.R.P.A. S.p.A.</b>
Descrizione delle attività	<p>Nell'ultimo anno del piano Sos Aquae, con la partecipazione di tutti i partner, il Crpa ha portato avanti e realizzato tutte le attività di informazione, comunicazione e sensibilizzazione previste, alle quali se ne sono aggiunte altre.</p> <p>È continuata l'implementazione del sito web di progetto con pubblicazione dal 01/01/2022 di n. 15 news nel blog e condivisione del materiale prodotto nella sezione "Documenti".</p> <p>Le statistiche degli accessi hanno evidenziato dal 01/01/2022 al 25/01/2023: n. 917 utenti, per n. 1417 sessioni totali, con una media di 2,22 pagine per sessione; mentre per l'intera durata del piano fino al 25/01/2023 le statistiche degli accessi hanno evidenziato: n° 1217 utenti, per n° 1862 sessioni totali, con una media di 2,30 pagine per sessione.</p> <p>Sono stati pubblicati: n. 1 articolo tecnico/divulgativi (previsti n. 2, realizzati n. 3 articoli) + n. 1 articolo scientifico (extra):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Liquami e digestati microfiltrati utili e convenienti per fertirrigare</i> a cura di Paolo Mantovi, Arianna Pignagnoli, Fabio Verzellesi, pubblicato su rivista L'Informatore Agrario n. 11 -2020;</li> <li>• <i>Liquami e digestati per fertirrigare al posto dei concimi chimici</i>, pubblicato sul Il Nuovo Agricoltore del 13/04/2022, non cita esplicitamente il progetto ma fa riferimento all'articolo precedente;</li> <li>• <i>Matching crop row and dripline distance in subsurface drip irrigation increases yield and mitigates N2O emissions</i> a cura Federico Ardenti (a), Diego Abalos (b,c), Federico Capra (a), Michela Lommi (a), Stefania Codruta Maris (d), Alessia Perego (e), Chiara Bertora (f), Vincenzo Tabaglio (a), Andrea Fiorini (a); pubblicato su rivista internazionale Field Crops Research 289 (2022) 108732.</li> </ul> <p>(a) Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, Italy; (b) Department of Agroecology, Aarhus University Tjele, Denmark; (c) iCLIMATE Interdisciplinary Centre for Climate Change, Aarhus University – Roskilde Denmark; (d) Forest Science Centre of Catalonia - Solsona, Spain; (e) Department of Agricultural and Environmental Sciences, Università degli Studi di Milano, Italy; (f) Department of Agricultural, Forest and Food Sciences, University of Turin, Italy.</p> <p>Sono stati organizzati 3 eventi per illustrare le attività condotte:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ <i>Distribuzione del digestato ad alta efficienza: la fertirrigazione</i>, seminario in modalità webinar e visita guidata virtuale alla Società Agricola Leona, nel corso di intervento di fertirrigazione con digestato microfiltrato in rainger, . Spedizione invito con newsletter CrpaInforma n. 2 – 2020, a target di progetto oltre a indirizzario Crpa. In collaborazione con l'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Reggio Emilia con accreditamento CFP. Hanno preso parte all'iniziativa n. 73 portati d'interesse. Queste le presentazioni: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Agrotecniche sostenibili e fertilizzanti rinnovabili, il GOI SOS_AQUAE</i> – FCSR;</li> </ul> </li> </ul>

- *Farming for Future e biometano/digestato nel PNRR – CIB;*
- *Sostenibilità ambientale della fertirrigazione con digestato*

- *Combinare agricoltura conservativa e fertirrigazione per agrosistemi carbonio e azoto efficienti, seminario e visita guidata presso azienda CERZOO di Piacenza, 24 maggio 2022. Spedizione invito con newsletter CrpaInforma n. 10 – 2022. Evento in collaborazione con l'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Piacenza, con accreditamento di CPF. Presenti di n. 29 portatori d'interesse.*
- *Subirrigazione con digestato microfiltrato per risparmiare acqua, energia e concimi, seminario e visita guidata presso C.A.T. Correggio (RE), 8 luglio 2022. Invito tramite Crpa Informa n.13 – 2022. Evento in collaborazione con l'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Reggio Emilia, con accreditamento CFP. Presenti n. 31 portatori d'interesse. Questa la presentazione del progetto a cura di Paolo Mantovi: *Agrotecniche sostenibili e fertilizzanti rinnovabili, il GOI SOS\_AQUAE.**

È stato organizzato e realizzato un convegno per divulgare i risultati finali di Sos Aquae:

*Agrotecniche sostenibili e fertilizzanti rinnovabili per agrosistemi carbonio e azoto efficienti*, presso Università Cattolica del Sacro Cuore di Piacenza, il 18 gennaio 2023. Evento in collaborazione con l'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Piacenza con accreditamento CFP. Presenti n. 35 portatori d'interesse. Di seguito le presentazioni:

- *L'esperienza dei Gruppi Operativi per l'Innovazione in Emilia Romagna* a cura di Maria Costanza Balboni – Regione Emilia Romagna;
- *Coniugare agrotecniche sostenibili e fertilizzanti rinnovabili, il GOI SOS\_AQUAE* - UCSC;
- *Analisi della sostenibilità ambientale* – CRPA SCPA;
- *Agrosistemi più carbonio e azoto efficienti con il biogas* - CIB.

Successivamente al convegno finale si è provveduto all'invio di un comunicato stampa ai giornalisti dal titolo "*Sos Aquae L'innovazione che fa bene all'ambiente e alle tasche degli agricoltori*".

È stato realizzato il 2° servizio televisivo con riprese in occasione della visita guidata del 24/05/2022, con la messa in onda all'interno del format di agricoltura *A Cielo Aperto Con i Frutti della Terra*, su emittenti a copertura regionale (TeleRomagna, TRmia, E Tv rete7, TV Qui), dal 19/06/22 e repliche durante la settimana successiva

([https://sosaquae.crpa.it/nqcontent.cfm?a\\_id=24241&tt=news](https://sosaquae.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=24241&tt=news)).

Un'ulteriore diffusione del servizio televisivo è stata fatta sull'emittente Telelibertà Piacenza, con relative repliche dal 01 al 05/07/2022.

È stato prodotto di un video clip su Sos\_Aquae: montaggio con riprese effettuate durante la visita guidata presso C.A.T di Correggio del 08/07/2022 e parti del 2° servizio televisivo per una descrizione il più ampia e puntuale del progetto; versione in italiano e in inglese (

[https://sosaquae.crpa.it/nqcontent.cfm?a\\_id=24367&tt=news](https://sosaquae.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=24367&tt=news)).

Il progetto Sos Aquae ha inoltre partecipato ad iniziative promosse da terzi:

- presentazione del piano ai corsisti di ITS Tech&Food, L'Accademia per 'Super-Tecnici' dell'Industria Alimentare, ospiti di CAT - Cooperativa

	<p>Agroenergetica Territoriale di Correggio (RE), nel corso della mattinata dell'1 aprile 2022;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· tappa del FarmingTour 2022 presso il partner di progetto Azienda Leona il 19 maggio 2022;</li> <li>· partecipazione al kick-off meeting del progetto europeo Nutri-Know, il 24-25 gennaio 2023 in Spagna.</li> <li>· Presentazione poster del progetto al Workshop di CAP Network tenuto a Bologna il 14-15 marzo 2023, su 'Enhancing food security under changing weather patterns: farm adaptation'</li> </ul>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>Lo stato di avanzamento del Piano è conforme agli obiettivi previsti e non si segnalano scostamenti dal progetto originario né particolari criticità emerse durante l'attività di divulgazione.</p>
<p>Attività ancora da realizzare</p>	<p><i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i></p> <p>Rimangono da realizzare: 1 comunicato stampa, 1 servizio Tv (programmato a giugno 2022) con diffusione su altra rete, un video clip di progetto, 1 seminario (realizzato 23/02/22), 3 visite guidate (1 realizzata 23/02/22 e 2 in programma da maggio a luglio 2022), il convegno finale.</p>

Azione	<b>Attività di formazione e consulenza</b>
Unità aziendale responsabile	<b>DINAMICA Scarl</b>
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p>- “Esperienze a confronto sulla produzione di fertilizzanti rinnovabili e loro utilizzo agronomico” - Domanda di Sostegno n. 5405262  Periodo di Svolgimento: dal 21/04/2022 al 02/05/2022  Durata: 29 ore</p> <p>In linea con gli obiettivi 2030 per una produzione alimentare sostenibile, come definito dalla strategia europea "Farm to Fork", diversi sottoprodotti come gli effluenti di allevamento e il digestato dovrebbero surrogare in quantitativo crescente i fertilizzanti di sintesi. Per fare questo, tuttavia, è necessario massimizzare l'efficienza d'uso dei nutrienti che contengono, ad esempio trattandoli e distribuendoli con i metodi e nei periodi più opportuni, riducendo le emissioni di ammoniaca e gas ad effetto serra in atmosfera, e di nitrati e fosforo nei corpi idrici.</p> <p>Così come l'Emilia-Romagna, anche la regione spagnola della Catalunya include aree ad elevata densità di allevamenti zootecnici, dove peraltro si stanno diffondendo impianti di digestione anaerobica, ed altre a vocazione agricola diversa (es. colture erbacee non legate ad aziende zootecniche, frutteti, orticole). Per questo motivo diversi enti di ricerca tra cui IRTA (Istituto de Investigacion y Tecnologia Agralimentarias della Generalitat de Catalunya) da diversi anni sono impegnati nella ricerca di soluzioni innovative per la valorizzazione dei sottoprodotti a fini fertilizzanti, in un'ottica di economia circolare e per ridurre gli impatti ambientali del settore agricolo nel suo complesso.</p> <p>Parte delle esperienze innovative che sono state visitate sono portate avanti nell'ambito di due diversi progetti europei attualmente in corso: H2020 Circular Agronomics su ‘Soluzioni circolari per la gestione del carbonio e dei nutrienti’ (Grant Agreement n°. 773649), coordinato da IRTA, e LIFE Agriclose - Fertilizzazione locale, avvicinare agricoltura e zootecnia (LIFE17 ENV/ES/000439), coordinato da Generalitat de Catalunya e con la partecipazione di IRTA.</p> <p>- “Esperienze a confronto sulla produzione di fertilizzanti rinnovabili e loro utilizzo agronomico” - Domanda di Sostegno n. 5405265  Periodo di Svolgimento: dal 21/04/2022 al 02/05/2022  Durata: 29 ore</p> <p>L'attività è stata realizzata contemporaneamente alla Domanda di Sostegno n. 5405262.</p> <p>Obiettivi, contenuti e modalità di realizzazione pertanto coincidono con quelli precedentemente descritti</p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p><i>descrivere in che misura sono stati raggiunti gli obiettivi previsti, giustificando eventuali scostamenti dal progetto originario. Analizzare eventuali criticità tecnico-scientifiche emerse durante l'attività</i></p> <p>L'attività, svolta nell'ambito del Viaggio Studio in Catalogna, nel periodo dal 21/04/2022 al 02/05/2022 ha visto realizzate le 29 ore previste in fase di proposta progettuale approvata dalla Regione Emilia-Romagna.</p>

	Hanno partecipato al Viaggio Studio 35 utenti di cui 20 nell'ambito della Domanda di Sostegno n. 5405262 e 15 nell'ambito della Domanda di Sostegno n. 5405265 tutti regolarmente frequentanti l'attività formativa, al termine della quale hanno raggiunto gli obiettivi preposti in termine di scambio di esperienze con le realtà produttive della Catalogna e con i tecnici/ricercatori di IRTA.
Attività ancora da realizzare	<i>Solo per relazioni intermedie - descrivere sinteticamente le attività ancora da realizzare</i> Nessuna

## 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.

### Esercizio della cooperazione

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	Segreteria tecnica	13	27,00	351,00
	CRPA - Amministrativo	Supporto gestione amministrativa	18	27,00	486,00
	CRPA - Ricercatore	supporto attività cooperazione,	30	27,00	810,00
	CRPA - Responsabile amministrativa	Responsabile gestione amministrativa	21	43,00	903,00
	CRPA - Responsabile di progetto	Coordinamento, supervisione attività	14	43,00	602,00
	FCSR - Ricercatore	Responsabile progetto	18	43,00	774,00
	RGR - Operaio	Coordinamento attività	12	19,50	234,00
	Dipendente	Raccolta ed elaborazione dati	20	27,00	540,00
	operaio	Raccolta ed elaborazione dati	9	27,00	243,00
	Prof. Associato	Funzionamento e gestione del GO	14	48,00	672,00
	Ricercatore	Funzionamento e gestione del GO	24	31,00	744,00
				<b>Totale:</b>	<b>6.359,00</b>

### Studi necessari alla realizzazione del piano

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	8	27,00	216,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	8	27,00	216,00
	CRPA - Responsabile di progetto	Coordinamento, supervisione attività	2	43,00	86,00
	FCSR - Ricercatore	Analisi di laboratorio, rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	40	27	1.080,00
	RGR - Operaio	Coordinamento attività	12	19,5	234,00
	Dipendente	Raccolta ed elaborazione dati	100	27,00	2.700,00
	Prof. Associato	Responsabile scientifico	6		288,00
				<b>Totale:</b>	<b>4.820,00</b>



Azione 1

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	16	27,00	432,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	8	27,00	216,00
	CRPA - Tecnico	Analisi di laboratorio	16	27,00	432,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	16	27,00	432,00
	CRPA - Responsabile di progetto	Coordinamento, supervisione attività	8	43,00	344,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio	15	27,00	405,00
	FCSR - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	96	27,00	2.592,00
	RGR - Operaio	Rilievi e attività agronomica	54	19,5	1.053,00
				<b>Totale:</b>	<b>5.906,00</b>

Azione 2

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	60	27,00	1.620,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	8	27,00	216,00
	CRPA - Tecnico	Analisi di laboratorio	32	27,00	864,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	6	27,00	162,00
	CRPA - Responsabile di progetto	Coordinamento, supervisione attività	16	43,00	688,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio	8	27	216,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio, rilievi sperimentali e attività di campo	72	27	1.944,00
	RGR - Operaio	Rilievi e attività agronomica	24	19,5	468,00
	operaio	Raccolta ed elaborazione dati	31	27,00	837,00
	Prof. Associato	Responsabile scientifico	40	48,00	1.920,00
	Ricercatore	Ricercatore	12	31,00	372,00
				<b>Totale</b>	<b>9.307,00</b>

Azione 3

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	58	27,00	1.566,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	64	27,00	1.728,00
	CRPA - Tecnico	Analisi di laboratorio	29	27,00	783,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	12	27,00	324,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio	8	27	216,00
	FCSR - Ricercatore	Analisi di laboratorio, rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	12	27	324,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio, rilievi sperimentali e attività di campo	114	27	3.078,00
	RGR - Operaio	Rilievi e attività agronomica	61	19,5	1.189,50
	operaio	Raccolta ed elaborazione dati	12	27,00	324,00
	Prof. Associato	Responsabile scientifico	40	48,00	1.920,00
	Tecnico	Tecnico di laboratorio	7	31,00	217,00
	Ricercatore	Ricercatore	13	31,00	403,00
				<b>TOTALE</b>	<b>12.072,50</b>

Azione 4

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Ricercatore	Elaborazione dati LCA	19	27,00	513,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	24	27,00	648,00
	CRPA - Ricercatore	Elaborazione dati LCA	39	27,00	1.053,00
	CRPA - Responsabile di progetto	Coordinamento, supervisione attività	8	43,00	344,00
	CRPA - Ricercatore	Elaborazione dati LCA	28	43,00	1.204,00
	Prof. Associato	Responsabile scientifico	10	48,00	480,00
	Tecnico	Tecnico di laboratorio	3	31,00	93,00
	Ricercatore	Ricercatore	15	31,00	465,00
	Contrattista	Prove in campo/raccolta dati	110	-	1.435,47
				<b>TOTALE</b>	<b>6.235,47</b>

*Divulgazione e disseminazione*

<b>Cognome e nome</b>	<b>Mansione/ qualifica</b>	<b>Attività svolta nell'azione</b>	<b>Ore</b>	<b>Costo</b>	<b>Costo tot</b>
	CRPA - Segreteria	assistenza organizzativa divulgazione	21	27,00	567,00
	CRPA - Segreteria	assistenza organizzativa divulgazione	16	27,00	432,00
	CRPA - Ricercatore	supporto contenuti tecnico-divulgativi	33	27,00	891,00
	CRPA - Ricercatore	Responsabile divulgazione	24	43,00	1.032,00
	FCSR - Ricercatore	Responsabile progetto	5	43,00	215,00
	Prof. Associato	Responsabile scientifico	52	48,00	2.496,00
	Ricercatore	Ricercatore	15	31,00	465,00
				<b>TOTALE</b>	<b>6.098,00</b>

## 2.3 TRASFERTE

*Azione 1*

<b>Cognome e nome</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Costo</b>
	1/04/2022- CAT Correggio- Incontro tecnico	€15,84
	08/07/2022- Az. RGR- giornata dimostrativa	€44,19
	24/05/2022- CERZOO- Seminario con visita guidata	€18,50
	08/07/2022- CAT Correggio e az. RGR- Seminario e giornata dimostrativa	€36,65
		<b>TOTALE</b>
		<b>115,18</b>

*Azione 2*

<b>Cognome e nome</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Costo</b>
	24/05/2022- Az. RGR- raccolta segale e campionamento trinciato	€15,12
	25/05/2022- Az. RGR- campionamento terreni	€12,60
	23/08/2022- Az. RGR- Lavaggio linea digestato	€33,30
	24/05/2022- Az. RGR- Raccolta segale e preparazione impianto fertirriguo	€26,64
	08/06/2022- Az. Leona- Raccolta dati aziendali	€154,10
	10/06/2022- Az. Pedrotti- Az. Torricelli- Campionamenti	€15,54
	08/09/2022-Az. RGR-Cat- Raccolta mais	€18,90
	10/09/2022-Az. RGR-Cat-Campionamento terreni	€13,30
		<b>TOTALE</b>
		<b>289,50</b>

*Azione 3*

<b>Cognome e nome</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Costo</b>
	28/04/2022- Az. RGR- campionamento lisimetri	€18,00

11/05/2022- Az. RGR- campionamento lisimetri	€16,56
27/05/2022- Az. RGR-Preparazione impianto di fertirrigazione	€18,72
31/05/2022- Az. RGR- Preparazione impianto di fertirrigazione	€19,08
01/06/2022- Az RGR- Preparazione impianto di fertirrigazione	€18,36
08/06/2022- Az. RGR- Preparazione impianto di fertirrigazione	€18,50
21/06/2022- Az. RGR- Fertirrigazione	€38,61
22/06/2022- Az. RGR- Fertirrigazione	€27,30
27/06/2022- Az. RGR- Fertirrigazione	€14,80
28/06/2022- Az. RGR-Fertirrigazione	€29,60
29/06/2022- Az. RGR- Fertirrigazione	€14,80
04/07/2022- Az. RGR- Irrigazione	€29,60
11/07/2022- Az. RGR- Fertirrigazione	€23,37
18/07/2022- Az. RGR- Irrigazione	€12,30
12/08/2022- Az. RGR- Irrigazione	€31,45
27/01/2022- Az. RGR- Campione acque lisimetri	€24,96
11/04/2022-Az. RGR- Campionamento lisimetri	€14,40
13/04/2022-Az. RGR- Campionamento lisimetri	€14,40
26/04/2022-Az. RGR- Vuoto lisimetri	€12,60
31/05/2022-Az. RGR- Installazione impianto fertirrigazione	€33,48
21/06/2022-Az. RGR-Fertirrigazione	€26,64
27/06/2022-Az.RGR-Fertirrigazioni	€29,23
22/7/2022-Az. RGR-Fertirrigazione	€36,26
03/08/2022- Az. RGR- Cat-Irrigazioni 3/4 agosto	€63,64
25/10/2022- CER- Presentazione su fertirrigazione con digestato	€67,80
<b>TOTALE</b>	<b>654,46</b>

## 2.4 MATERIALE CONSUMABILE

### Azione 1

FORNITORE	DESCRIZIONE MATERIALE	IMPORTO (AL NETTO IVA)
	Materiale di consumo per laboratorio analisi	€1.584,00
	<b>TOTALE</b>	<b>€1.584,00</b>

### Azione 3

Fornitore	Descrizione materiale	Importo (al netto iva)
	Materiale di consumo per laboratorio analisi	€1.626,00
	Materiale di consumo per laboratorio analisi	€289,60
	Materiale di consumo per laboratorio analisi	€241,00
	Materiale di consumo per laboratorio analisi	€97,00
	<b>TOTALE</b>	<b>€2.253,60</b>

## 2.7 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

### CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Azione	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	Divulgazione	2.080,00	Saldo in merito a incarico doc-2020-2492 del 29/09/2020 - Attività di divulgazione	€520,00
	Divulgazione	2.450,00	Realizzazione videoclip - Attività di divulgazione	€2.450,00
<b>Totale:</b>				<b>€2.970,00</b>

### CONSULENZE – SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Azione	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	1	9.280,00	Saldo contratto di noleggio microfiltro presso azienda Soc. CAT - Correggio (RE)	€6.496,00
	Divulgazione	600,00	Realizzazione Servizio televisivo - Attività di divulgazione	€600,00
	Divulgazione	100,00	Trasmissione servizio televisivo su canale Telelibertà Piacenza - Attività di divulgazione	€100,00
<b>TOTALE</b>				<b>€7.196,00</b>

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

*Lunghezza max 1 pagina*

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

### 4 - ALTRE INFORMAZIONI

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

--

### 5 - CONSIDERAZIONI FINALI

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

--

### 6 - RELAZIONE TECNICA

*DA COMPILARE SOLO IN CASO DI RELAZIONE FINALE*

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

Per la relazione tecnica si rimanda all'allegato:  
*5150049\_Allegato\_relazione\_tecnica\_SALDO\_SOS\_AQUAE.pdf*

Data .....

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

.....

*Regione Emilia-Romagna - Programma regionale di sviluppo rurale 2014-2020*  
*16.1.01 - Gruppi operativi del partenariato europeo per l'innovazione: "produttività e sostenibilità dell'agricoltura", FA 4B – Qualità delle acque*

**Gruppo Operativo – SOS\_AQUAE**  
**(domanda di sostegno n. 5150049)**

Piano d'innovazione: **SOS\_AQUAE**

**Agrotecniche SOSTenibili e fertilizzanti rinnovabili per  
coniugare Agricoltura, AcQUA e AmbientE**

*ALLEGATO – Relazione tecnica finale.pdf*

Rendicontazione tecnica finale del Piano d'Innovazione

A cura di:



CRPA Soc. Cons. p. A.

Viale Timavo, 43/2 – 42121 Reggio Emilia

*Reggio Emilia, marzo 2023*



## INDICE

OBIETTIVI del Piano di Innovazione .....	3
Azione studi necessari alla realizzazione del Piano .....	4
AZIONE 1 – Produzione e caratterizzazione dei fertilizzanti rinnovabili.....	14
A) Produzione di solfato di ammonio da strippaggio dell’ammoniacca in processo N-FREE® .	14
1.1. Caratteristiche chimico-fisiche del digestato e delle frazioni derivate dal trattamento .....	17
1.2. Efficienze di separazione e reologia delle matrici .....	21
AZIONE 2 – Gestione sostenibile degli agrosistemi .....	27
2.1. Azienda CERZOO.....	27
2.2 Azienda R.G.R. ....	32
2.3 Azienda Leona .....	39
AZIONE 3 – Strategie di fertirrigazione efficienti .....	42
3.1 Azienda CERZOO.....	42
3.2 Azienda RGR .....	46
3.3 Azienda Leona .....	49
AZIONE 4 – Analisi della sostenibilità ambientale ed economica.....	52
4.1. Risultati della valutazione di sostenibilità ambientale.....	52
4.2. Risultati della valutazione di sostenibilità economica .....	66

## *OBIETTIVI del Piano di Innovazione*

Il principale obiettivo del Piano di Innovazione SOS\_AQUAE è stato quello di mettere assieme agrotecniche innovative e sostenibili con l'utilizzo di fertilizzanti 'rinnovabili', per ottimizzare l'efficienza d'uso dei nutrienti già disponibili in azienda e ridurre l'uso dei concimi minerali di sintesi (sia azotati che fosfatici), al fine di contenere l'inquinamento generato dall'attività agricola e di migliorare la qualità delle acque.

Nelle tre aziende agricole partecipanti al GO (CERZOO, R.G.R, Leona), tra le agrotecniche sostenibili si sono sperimentate congiuntamente lavorazioni conservative sino alla non lavorazione, in abbinamento alla copertura permanente del suolo con due coltivazioni per anno e a tecniche innovative per la fertirrigazione con fertilizzanti rinnovabili, ovvero derivati dal trattamento di effluenti di allevamento e digestati.

Si è inteso così promuovere un'effettiva ed efficace intensificazione sostenibile dei sistemi agricoli, capace di coniugare la produttività e gli aspetti ambientali, riducendo le perdite di nutrienti verso le acque sotterranee e superficiali e al contempo le emissioni di ammoniaca e di gas serra in atmosfera.

I risultati sono consistiti sia nella messa a punto delle singole agrotecniche che nella combinazione di diverse tecniche e fertilizzanti rinnovabili nelle tre aziende agricole partner:

- ✓ Sistema agricolo basato su non lavorazione, con coltivazioni primaverili-estive alternate a cover crop autunno-vernine, fertirrigato con solfato di ammonio derivato da strippaggio (processo N-FREE®), distribuito attraverso ali gocciolanti in subirrigazione (Azienda CERZOO - Piacenza);
- ✓ Sistema agricolo basato su minime lavorazioni, con doppie colture da reddito per finalità food e non food, fertirrigato con digestato agroindustriale microfiltrato distribuito attraverso ali gocciolanti in subirrigazione (Azienda R.G.R. – Reggio Emilia);
- ✓ Sistema agricolo basato su lavorazioni convenzionali, con doppie colture da reddito per finalità food e non food, fertirrigato con digestato agrozootecnico microfiltrato distribuito attraverso impianto irriguo a ranger (Azienda Leona - Ferrara).

## *Azione studi necessari alla realizzazione del Piano*

### **Analisi delle tecniche di trattamento degli effluenti e digestati zootecnici per produrre ‘fertilizzanti rinnovabili’**

Questa attività preliminare alle azioni tecniche successive ha avuto lo scopo di indagare ed analizzare le principali tecniche di trattamento degli effluenti di allevamento e dei digestati utili a produrre dei fertilizzanti rinnovabili che potessero essere impiegati con elevata efficienza d’uso dell’azoto in sostituzione dei fertilizzanti di sintesi. In particolare sono state identificate le tipologie di trattamento applicabili e le relative efficienze di rimozione dell’azoto, le caratteristiche dei flussi prodotti ed i vincoli applicativi.

Gli effluenti e digestati zootecnici sono materiali fertilizzanti utilissimi per le colture agrarie in quanto contengono azoto, fosforo, potassio e numerosissimi microelementi nutritivi. Non sempre, però, i terreni agricoli disponibili per l’uso agronomico di tali matrici sono in quantità sufficiente nelle vicinanze dell’impianto di biogas o dell’allevamento. La via della delocalizzazione verso aree agricole potenzialmente ricettive non è sempre perseguibile, e per i costi, e per le difficoltà di convincere gli agricoltori, che non allevano animali, ad accettare effluenti zootecnici per la fertilizzazione dei loro terreni. Da qui l’esigenza di ricorrere a tecnologie di trattamento con l’obiettivo di ridurre l’azoto contenuto negli effluenti e/o produrre matrici più facilmente delocalizzabili.

A seguito dell’indagine svolta, le tecnologie di trattamento sono state classificate in tecnologie di recupero o tecnologie di abbattimento/rimozione.

Quelle di **recupero** sono tecnologie che collocano le diverse forme di azoto e/o altri elementi fertilizzanti, quali fosforo e potassio, in uno o più flussi in cui vengono concentrati per renderli più facilmente trasportati e utilizzabili ai fini agronomici. I processi di questo tipo sono sempre di natura chimica e/o fisica e possono sfruttare fonti energetiche disponibili a basso costo in azienda, quale il calore da cogenerazione del biogas. Tali processi, in linea generale, operano sulla separazione fisica, sulla filtrazione, sulla precipitazione chimica, sullo strippaggio e sull’essiccamento.

Le tecnologie di **abbattimento/rimozione** si basano invece quasi esclusivamente su sistemi biologici e hanno lo scopo di trasformare le forme di azoto presenti negli effluenti/digestati in azoto atmosferico innocuo ed inerte ( $N_2$ ). Una delle tecnologie più conosciute è la nitrificazione/denitrificazione biologica, ovvero sue varianti processistiche ed impiantistiche più o meno complesse. Queste tecnologie riducono l’azoto negli effluenti rimuovendolo e dissipandolo in atmosfera.

In Figura 1 si illustrano le principali tecniche di trattamento e la loro possibile applicazione alle diverse frazioni liquide o solide degli effluenti o digestati. Le tecniche illustrate nei riquadri verdi sono state classificate di recupero dei nutrienti mentre quelle nei riquadri azzurri di rimozione, che pertanto dissipano l’azoto contenuto negli effluenti e non possono essere classificate tra le tecniche utili a produrre matrici fertilizzanti.

Le tecnologie possono essere presenti in forma complessa e spesso possono essere presenti linee di trattamento che prevedono prima una sezione chimico-fisica e successivamente una linea con recupero o abbattimento.

Dagli effluenti e digestati zootecnici si possono derivare matrici fertilizzanti con l'obiettivo di recuperare l'azoto e renderlo disponibile alle colture. Dal trattamento degli effluenti e delle loro frazioni, si possono ottenere semplici matrici fertilizzanti (intese come tali dal DM del 25 febbraio 2016) oppure fertilizzanti commerciali conformi ai sensi del D.Lgs 75/2010.

A livello nazionale per i fertilizzanti commerciali la legge di riferimento è il Decreto Legislativo 29 aprile 2010, n. 75 "Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti, a norma dell'articolo 13 della legge 7 luglio 2009, n. 88".

Ai fini del presente studio è utile riprendere le principali definizioni, riprese dall'art. 2 dove per «fertilizzanti» si intendono i prodotti e i materiali di seguito definiti:

- «concimi»: prodotti la cui funzione principale è fornire elementi nutritivi alle piante; i concimi si suddividono in «concimi CE» e «concimi nazionali» i cui tipi e caratteristiche sono riportati rispettivamente nel regolamento (CE) n. 2003/2003 e nell'allegato 1;
- «ammendanti»: i materiali da aggiungere al suolo in situ, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche o chimiche o l'attività biologica, disgiuntamente o unitamente tra loro, i cui tipi e caratteristiche sono riportati nell'allegato 2;
- «correttivi»: i materiali da aggiungere al suolo in situ principalmente per modificare e migliorare proprietà chimiche anomale del suolo dipendenti da reazione, salinità, tenore in sodio, i cui tipi e caratteristiche sono riportati nell'allegato 3.

Recentemente, a luglio 2022, è entrato in applicazione il nuovo REGOLAMENTO (UE) 2019/1009 del 5 giugno 2019 che stabilisce norme relative alla messa a disposizione sul mercato di prodotti fertilizzanti dell'UE, che modifica i regolamenti (CE) n. 1069/2009 e (CE) n. 1107/2009 e che abroga il regolamento (CE) n. 2003/2003. Tuttavia l'applicazione del regolamento europeo è facoltativa all'interno dello stato membro, pertanto in Italia rimane in vigore il Decreto Legislativo 29 aprile 2010, n. 75, mentre si applica nel caso di scambi tra stati all'interno del mercato europeo.

Ad oggi le tipologie di prodotti fertilizzanti ottenibili dal trattamento del digestato e degli effluenti zootecnici, in base ai regolamenti e decreti vigenti, sono riconducibili a quelle di seguito illustrate.

A partire dal trattamento delle frazioni solide si possono ottenere:

- “digestato vegetale essiccato”, ottenibile dal processo di **essiccazione**;
- “digestato essiccato in miscela con ceneri di combustione di biomasse vergini” ottenibile dal processo di **essiccazione**;
- “letame essiccato” ottenibile dal processo di **essiccazione** e di **compostaggio**;

- “ammendante compostato misto”, ottenibile dal processo di **compostaggio**.

A partire dal trattamento delle frazioni tal quali e/o delle frazioni liquide:

- “solfato ammonico”, ottenibile dal processo di **strippaggio** e assorbimento ammoniacale con acido solforico con successiva evaporazione della frazione acquosa;
- “sali misti azotati. Sfridi azotati” ottenibile dal processo di **strippaggio** e assorbimento ammoniacale con acido nitrico o solforico, con successiva evaporazione della frazione acquosa;
- “sospensione di solfato ammonico” ottenibile dal processo di **strippaggio** e assorbimento ammoniacale con acido solforico.

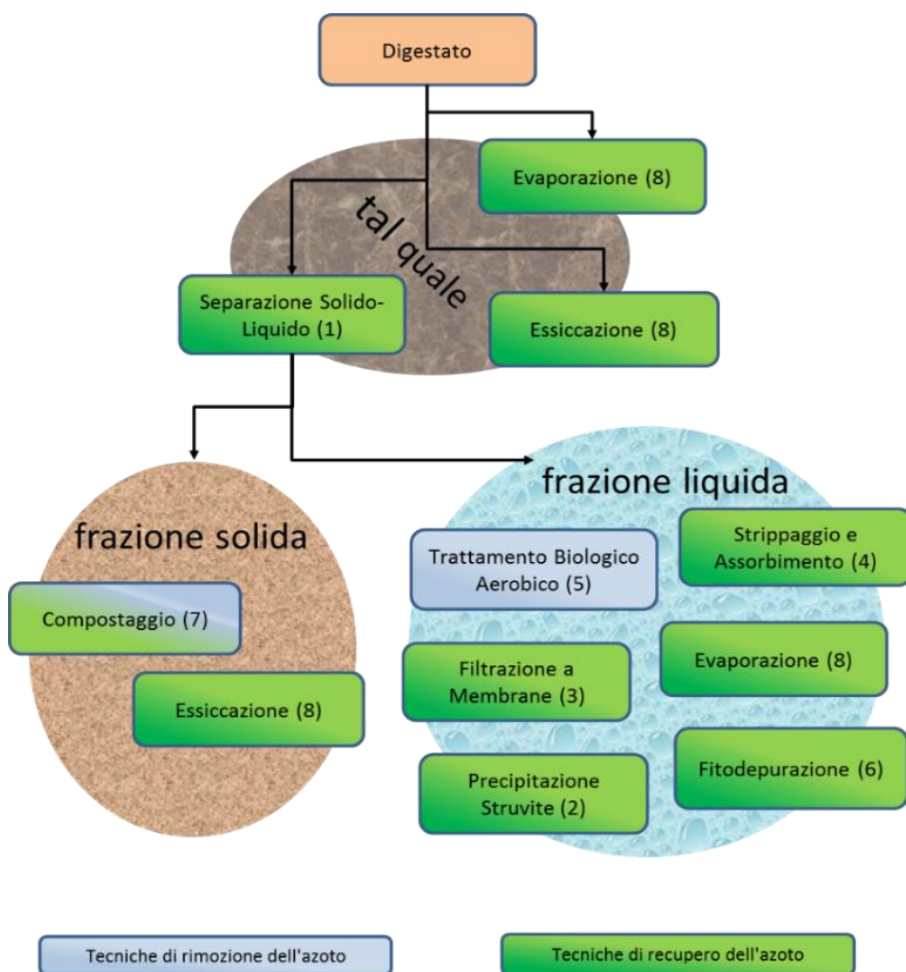


Figura 1. Principali tecniche di trattamento degli effluenti e dei digestati zootecnici disponibili sul mercato.

Di seguito si illustrano le tecniche di trattamento degli effluenti di allevamento e dei digestati, tra quelle indagate e riportate in Figura 1, che sono state ritenute idonee a produrre dei fertilizzanti rinnovabili che possano essere impiegati con elevata efficienza d'uso dell'azoto in sostituzione dei fertilizzanti di sintesi.

Come verrà illustrato nelle successive azioni, il **Gruppo Operativo SOS\_AQUA** ha condotto ricerche, test e monitoraggi sperimentali per applicare e diffondere buone pratiche di utilizzo efficiente dei nutrienti provenienti da fertilizzanti rinnovabili in sostituzione di quelli di sintesi, riducendo al tempo stesso gli impatti verso aria acqua e suolo.

Nello specifico SOS\_AQUA ha condotto sperimentazioni impiegando fertilizzanti rinnovabili provenienti dalla tecnologia di:

- **STRIPPAGGIO** nelle attività condotte presso l'azienda CERZOO;
- **MICROFILTRAZIONE MECCANICA** nelle attività condotte presso le aziende R.G.R. e LEONA.

## **Strippaggio ed assorbimento ammoniacale**

### Descrizione:

Lo strippaggio/assorbimento dell'ammoniaca è un **processo di recupero** dell'azoto ammoniacale che viene applicato prevalentemente a frazioni chiarificate di digestati di origine zootecnica o mista. Agendo sulla temperatura, sull'agitazione meccanica e/o sul pH, si produce una volatilizzazione dell'ammoniaca che deve poi essere fissata come sale di ammonio in una torre di lavaggio acido (scrubber). Il processo viene solitamente condotto in colonne verticali dove la fase liquida (ricca in ammoniaca) viene introdotta nella parte superiore mentre la fase gassosa di strippaggio (in genere aria) entra in controcorrente dal basso. Per migliorare il contatto liquido/gas le colonne sono di solito riempite con corpi di riempimento (pezzi di forma specifica di materiale inerte). L'ammoniaca strippata ed allontanata dal flusso d'aria dal liquido, viene poi recuperata per assorbimento in una seconda colonna, mediante lavaggio con soluzione acida in controcorrente, ottenendo sali di ammonio.

Lo strippaggio dell'ammoniaca è in genere abbinato alla digestione anaerobica degli effluenti zootecnici in quanto la concentrazione di ammoniaca nel digestato è elevata a causa dell'ammonificazione dell'azoto organico che avviene durante la fase idrolitica del processo anaerobico. La rimozione di ammoniaca richiede o l'aggiunta di alcali per aumentare il pH e/o calore per aumentare la temperatura e così consentire la volatilizzazione (strippaggio) dell'ammoniaca libera ( $\text{NH}_3$ ) dalla fase acquosa. Quando la tecnica è abbinata alla digestione anaerobica, il biogas prodotto può fornire parzialmente o totalmente il calore (calore residuo di cogenerazione) necessario per lo strippaggio ad alta temperatura. Lo strippaggio dell'ammoniaca è già stato applicato con successo, su scala industriale, ai digestati da digestione anaerobica (DA) dei fanghi da depurazione delle acque reflue civili, dei percolati di discarica e delle acque reflue industriali.

I due parametri fondamentali di controllo ed efficientamento del processo sono la temperatura e il pH, in quanto sono loro a stabilire l'equilibrio tra ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e ione ammonio ( $\text{NH}_4^+$ ) nel liquido.

#### Rendimenti:

Operando a basse temperature di processo (30 - 40°C) è necessario innalzare il pH a 10.5 – 12 per raggiungere efficienze di rimozione dell'azoto ammoniacale superiori al 80%. Questo comporta innalzamento dei costi per l'acquisto dei prodotti chimici e problematicità poi di gestione del digestato basico derivante dal trattamento. Operando ad elevate temperature (75 – 85°C), sfruttando i cascami termici di cogenerazione, si raggiungono efficienze di rimozione dell'azoto ammoniacale altrettanto elevate anche senza modificare il pH. È necessaria, tuttavia, un'impiantistica adeguata per evitare possibili problematiche relative alla formazione di schiume e alla eccessiva diluizione della sospensione di solfato d'ammonio risultante dal processo.

La tecnica è tanto più efficiente nel rimuovere e recuperare l'azoto quanto maggiore è la percentuale di azoto ammoniacale sull'azoto totale. Nel caso di digestati a ridotto tenore di azoto ammoniacale, esempio del 40%, pur in presenza di efficienze di trattamento molto elevate, del 90%, la rimozione dell'azoto totale raggiunge solo il 36%. Con digestati ad elevato tenore di azoto ammoniacale, ad esempio del 80%, anche con efficienze di rimozioni del 75%, si può raggiungere una rimozione dell'azoto totale del 60%.

#### Considerazioni:

Nella prospettiva della sua implementazione, la tecnologia dello strippaggio/assorbimento dell'ammoniaca dai liquami/digestati deve affrontare due grandi sfide: i costi di investimento e di gestione dovrebbero essere in assonanza con l'economia del settore agricolo e il prodotto recuperato (soluzione ammoniacale) deve avere una qualità commercializzabile in termini di concentrazione di azoto e di bassa contaminazione di sostanze organiche per coprire una parte dei costi operativi. Infine sono necessarie nuove ricerche per ottimizzare il processo in termini di consumi di energia e di reagenti chimici.

### **Essiccazione**

#### Descrizione:

Il trattamento di essiccazione trasforma la frazione solida del digestato e/o il digestato tal quale in un prodotto finale essiccato a bassissimo contenuto d'acqua (dal 50 al 10%). E' economicamente sostenibile solamente se è disponibile energia termica a basso costo. Per questo il processo di essiccazione si abbina alla digestione anaerobica in quanto sfrutta l'energia termica in surplus delle unità di cogenerazione (CHP) alimentate a biogas, che producono elettricità, normalmente venduta alla rete, ed energia termica, solo in parte utilizzata per il riscaldamento dei digestori anaerobici.

Gli scopi del processo di essiccazione sono i seguenti:

- produzione di un fertilizzante commerciale, stabile e facilmente trasportabile e spandibile;
- riduzione del volume e del peso del digestato, che comporta una riduzione dei costi di trasporto e gestione;
- concentrazione e recupero dei nutrienti (N, P e K) e della sostanza organica.

Nel trattamento del digestato ed effluenti, generalmente, si utilizzano tecnologie di essiccazione a nastro alloggiate all'interno di una camera chiusa e ventilata da un flusso d'aria calda (70-110°C). Questa soluzione richiede il trattamento mediante scrubber acido dell'aria espulsa dall'essiccatore per evitare emissioni di ammoniaca e composti volatili in atmosfera e per recuperare l'azoto ammoniacale sotto forma di solfato d'ammonio.

Il processo di essiccazione del digestato permette di non disperdere i nutrienti e la sostanza organica presente nel digestato in atmosfera, ma di recuperarli e concentrarli in un fertilizzante rinnovabile e facilmente trasportabile in aree con deficit di nutrienti, in sostituzione di fertilizzanti di sintesi.

Gli impianti si differenziano in base alla temperatura di processo, alle modalità di trasferimento termico ed alla movimentazione del substrato da essiccare.

Il processo si applica comunemente alle frazioni solide del digestato con un contenuto di sostanza secca compreso tra il 14 e il 25%. Il digestato deve essere precedentemente sottoposto a separazione solido-liquido. Se è disponibile un surplus di energia termica, una parte del solido secco che esce dalla camera di essiccazione può essere mescolata con una quantità di frazione liquida prodotta dal separatore e quindi questa miscela può essere caricata in aggiunta alla frazione solida nella camera di essiccazione e così avviare ad essiccazione anche eventuale quota della frazione liquida. L'energia termica, disponibile dalla cogenerazione o appositamente generata, attraverso uno scambiatore di calore, riscalda un flusso d'aria. Appositi ventilatori veicolano questo flusso d'aria calda alla camera di essiccazione.

Il prodotto essiccato può essere anche pellettizzato per una più facile gestione e commercializzazione.

#### Rendimenti:

La sostanza secca del prodotto essiccato finale può arrivare a 80-90% e la riduzione in peso del digestato arrivare al 80-85% del digestato in ingresso. L'azoto (considerando 100 azoto totale in input al processo di essiccazione e con un tenore di azoto ammoniacale pari al 40-45% di NTK) per il 60% risulta nel prodotto finale essiccato mentre per il rimanente 40% nella soluzione di solfato di ammonio dallo scrubber.

La tecnica permette un recupero quasi totale nella frazione essiccata del P, K, micronutrienti e minerali.

Consumi di energia termica: mediamente 1.1 – 1.3 kWh/kg di acqua evaporata in caso di essiccazione a media/bassa efficienza (es. sistemi a nastro ventilato), si può scendere al di sotto di 0.7 - 0.85 kWh/kg di acqua evaporata per i sistemi a più alta efficienza (es. sistemi con rotore interno a circuito chiuso);



Consumi di energia elettrica: da 15-20 kWh/t di prodotto essiccato per gli essiccatoi a nastro ventilato con taglia pari a 1 MW termico, 25-35 kWh/t di prodotto essiccato se di taglia inferiore e prossima ai 300 kW termici. Il consumo di energia elettrica cresce nel caso di sistemi di essiccazione a maggiore efficienza evaporativa ed operanti in circuito chiuso.

- Possibilità di commercializzazione del prodotto essiccato: 40-80 €/t se non pellettizzato e 80-160 €/t se pellettizzato in relazione al contenuto di NPK;
- Possibilità di commercializzazione della soluzione di solfato di ammonio: il valore economico potrebbe raggiungere i 30-50 €/t se il contenuto di N è del 6%.

#### Considerazioni:

Il circuito del flusso d'aria di essiccazione può essere aperto con scarico in atmosfera (generalmente quando la temperatura di processo è bassa < 110° e si sfruttano volumi d'aria elevati), oppure chiuso con condensazione dell'evaporato e ricircolo dell'aria (di solito quando la temperatura di processo è elevata per recuperarne il calore e con bassi volumi dell'aeriforme). Nel primo caso sono necessari dispositivi (scrubber) per la cattura di ammoniacca, composti organici volatili (COV) e polveri per evitare emissioni inquinanti in atmosfera e recuperare l'azoto ammoniacale contenuto nel flusso evaporato. Se si opera a circuito chiuso possono essere invece evitati tali dispositivi di lavaggio dell'aria, ma è necessaria l'energia per la condensazione del vapore.

Il trattamento dell'evaporato, ricco di ammoniacca, attraverso adsorbimento con scrubber a lavaggio acido (di solito con acido solforico) permette il recupero dell'azoto ammoniacale strappato durante il processo di essiccazione e la produzione di una soluzione di solfato di ammonio, che può essere riconosciuta come sospensione di solfato ammonico conforme al D.lgs. 75/2010, se possiede un titolo minimo di azoto pari al 6%.

Le politiche dell'UE in materia di protezione ambientale e di contrasto ai cambiamenti climatici tenderanno sempre più a favorire tecniche di trattamento degli effluenti zootecnici e del digestato che consentano un recupero dei nutrienti contenuti e non una loro dissipazione.

### **Microfiltrazione meccanica**

#### Descrizione:

Di recente si stanno diffondendo sul mercato dispositivi a filtrazione meccanica. Generalmente vengono impiegati a valle dei separatori a rulli contrapposti o dei separatori a compressione elicoidale. La microfiltrazione permette di ottenere, a partire dalla frazione chiarificata prodotta dai separatori solido-liquido, una frazione microfiltrata in cui il tenore di solidi è notevolmente ridotto rispetto alla frazione chiarificata di partenza, ed una frazione addensata in cui vengono concentrati i solidi, parte dell'azoto e del fosforo.

La microfiltrazione meccanica viene attuata mandando in pressione il fluido all'interno di un vaglio in acciaio con maglia filtrante che può andare da 1 a 100 µm. Si crea in tal modo un filtrato contenente

il particolato con granulometria inferiore ai fori della maglia filtrante ed un addensato col particolato a granulometria superiore. Per evitare l'occlusione dei fori, il fluido viene costantemente tenuto in agitazione e fatto scorrere sulla maglia filtrante per asportare le particelle depositate. In certi casi il filtro viene mantenuto in vibrazione ad alta frequenza per sfavorire l'adesione delle particelle alla maglia filtrante.

#### Rendimenti:

Il processo di microfiltrazione può rendere più economico il trasporto e la valorizzazione della frazione densa a distanze maggiori oppure agevolare ulteriori trattamenti quali quello di essiccazione o evaporazione. La frazione microfiltrata, invece ricca in azoto ammoniacale, può essere opportunamente valorizzata come matrice con proprietà fertilizzanti da distribuire su colture in atto con sistemi innovativi di fertirrigazione quali il pivot o le ali gocciolanti, raggiungendo elevate efficienze d'uso dell'azoto distribuito ed evitando l'intasamento delle linee e degli ugelli.

L'addensato prodotto rimane di consistenza liquida/pastosa anche se ad elevato contenuto di solidi (10-14%). Il contenuto di solidi totali nel microfiltrato può scendere anche al di sotto del 2%.

L'efficienza di separazione in peso della frazione addensata varia dal 20 al 30% del flusso in ingresso al trattamento e nella frazione addensata si recuperano dal 40 al 55% dei solidi totali e fosforo e dal 20 al 40% dell'azoto presenti nella matrice in ingresso al trattamento.

#### Considerazioni:

La frazione addensata è generalmente caratterizzata dalla presenza di azoto organico a lenta cessione mentre la frazione chiarificata dalla presenza di azoto nella forma ammoniacale prontamente disponibile per le colture. La frazione microfiltrata risulta ricca di azoto ammoniacale rispetto alla forma organica in quanto forma azotata solubile a differenza dell'azoto organico che segue il destino dei solidi.

## **Compostaggio**

#### Descrizione:

La tecnica di trattamento si basa sostanzialmente su un processo biologico di decomposizione e stabilizzazione aerobica delle sostanze organiche presenti nei materiali di scarto originari, per ottenere un prodotto finale contenente meno acqua, più stabilizzato ed a ridotta carica patogena. La sua produzione e utilizzo può fornire una corretta soluzione sia alla crescente carenza di sostanza organica nei terreni, sia al problema della gestione della ingente quantità di residui, scarti e rifiuti organici prodotti.

Il compostaggio è un processo di ossidazione biologica, articolato in più fasi, di componenti organici naturali che si verifica in condizioni rigorosamente controllate e pilotate all'interno di cumuli o di reattori. A seguito dell'attività dei microrganismi, la sostanza organica subisce profonde

trasformazioni chimico-fisiche che conducono alla sintesi di polimeri complessi con caratteristiche umo-simili e alla stabilità biologica dei materiali.

All'inizio del processo la massa da compostare è a temperatura ambiente, poi, per effetto dell'esotermicità delle reazioni aerobiche biologiche, la temperatura sale rapidamente fino a raggiungere, nel giro di pochi giorni, valori di oltre 50 °C, con punte di oltre 70 °C. La temperatura si mantiene elevata fin quando vi è disponibilità di sostanza organica facilmente biodegradabile e una buona circolazione d'aria; al termine del processo si verifica un progressivo abbassamento fino al raggiungimento della temperatura ambiente.

Nel nostro caso, i materiali che vengono avviati al compostaggio possono essere le frazioni solide separate dei digestati e/o dei liquami zootecnici e/o, effluenti palabili come letami, polline disidratate di avicoli in gabbia, lettieri di avicoli a terra, o frazioni di per sé non palabili, ma che vengono rese tali attraverso l'aggiunta di paglia o di altri materiali coformulanti addensanti.

Le diverse tipologie di impianti di compostaggio si differenziano principalmente per le modalità con cui viene assicurata l'aerazione della massa.

#### Rendimenti:

Il compostaggio è una tecnica consolidata e diffusa per il trattamento degli scarti verdi municipali e delle frazioni organiche da raccolta differenziata dei rifiuti urbani; vanta applicazioni in scala aziendale per gli effluenti zootecnici, in particolare lettieri avicole e frazioni solide di letami e digestati.

Per quanto riguarda la stabilizzazione del materiale si ottengono buoni risultati e se in presenza di una fase attiva oltre i 60°C per almeno 7 giorni, si raggiungono riduzioni delle cariche patogene del 80-95%.

Le condizioni aerobiche del compostaggio portano a perdite di azoto in forma ammoniacale molto variabili, che vanno, normalmente, dal 20 al 50%. Tali emissioni, in genere, devono essere opportunamente captate e l'ammoniaca recuperata con sistemi di lavaggio e cattura.

Il prodotto a fine compostaggio può arrivare ad avere un tenore di umidità notevolmente ridotto ed inferiore al 50-40%.

#### Considerazioni:

Affinché questa tecnica sia considerata MTD (Migliore Tecnologia Disponibile) occorre che il trattamento di aerazione sia ben controllato e che l'ammoniaca persa per volatilizzazione sia catturata, generalmente effettuando il processo in locali chiusi e convogliando l'aria ricca di odori e ammoniaca verso sistemi di lavaggio e cattura (scrubbers) e/o verso biofiltri.

La sostenibilità dei costi è legata alla complessità impiantistica, a sua volta legata alla certezza o meno dell'innocuità delle emissioni in atmosfera.

Importante è anche la valorizzazione economica dei compost prodotti, attualmente non certa. E' quindi molto importante la definizione e l'adozione di standard di qualità. I criteri di qualità sono

stabiliti in base al grado di maturità, a criteri agronomici, a condizioni igieniche e, anche, sulla presenza o meno di impurità (metalli, pietrisco, plastiche, vetri.....) e di semi di piante infestanti, che possono influenzare negativamente la produzione vegetale.

## *AZIONE 1 – Produzione e caratterizzazione dei fertilizzanti rinnovabili*

L'obiettivo è consistito nella valutazione della produzione dei fertilizzanti 'rinnovabili':

A) Solfato di ammonio derivato da strippaggio in processo N-FREE applicato a effluenti di allevamento presso Azienda CERZOO

B) Digestato microfiltrato derivato da digestato di tipo agro-industriale presso Azienda R.G.R. oppure derivato da digestato di tipo agro-zootecnico presso Azienda Leona

### **A) Produzione di solfato di ammonio da strippaggio dell'ammoniaca in processo N-FREE®**

Il processo N-FREE® consiste in una serie di trattamenti i quali permettono la separazione progressiva della matrice in entrata (liquame) e la concentrazione dell'azoto in una frazione liquida che subisce uno strippaggio finale per la produzione di solfato ammonico. In particolare, il processo prevede dapprima una separazione iniziale tramite separatore elicoidale e successivamente una seconda separazione mediante separatore centrifugo ad asse orizzontale. In seguito, il refluo subisce un'ultrafiltrazione e due passaggi in osmosi inversa, riducendo il contenuto ammoniacale al di sotto dei limiti stabiliti per lo scarico in corpo idrico superficiale. Lo scarico di tipo batch consente il continuo monitoraggio dei parametri analitici prima dello scarico. Il retentato (frazione ritenuta dalle filtrazioni successive) della 1° osmosi inversa viene addizionato di calce viva innalzando il pH e trasformando l'ammonio presente in ammoniaca gassosa disciolta, la quale viene spostata nella corrente d'aria gassosa per poter essere poi salificata come solfato ammonico. La tecnologia N-FREE® garantisce l'assoluta assenza di emissioni di ammoniaca in ambiente esterno durante il processo e un limitato consumo energetico operando a temperature relativamente basse.

Nel corso della sperimentazione sono stati fatti diversi campionamenti del solfato ammonico utilizzato per la fertirrigazione in SDI. Di seguito vengono riportate le principali caratteristiche chimico-fisiche.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6
Solidi totali [g/kg tq]	339	335	380	343	336	347
pH [-]	3,16	4,11	4,03	4,04	4,1	3,9
NTK [g/kg tq]	69,7	69,8	68,8	70,6	80,5	71,9
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [g/kg tq]	67,3	68,3	68,6	68,5	70,9	68,7
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> [% NTK]	96,5	97,8	99,7	96,9	88,1	95,8

*Tabella 1. Caratteristiche chimico-fisiche di campioni solfato ammonico da strippaggio prodotto con processo N-FREE® e utilizzato presso CERZOO*

## B) Produzione di digestato microfiltrato con attrezzatura SAVECO WAMgroup

Per le Aziende R.G.R e Leona sono stati seguiti il sistema di separazione solido-liquido costituito da separatore a compressione elicoidale di tipo orizzontale seguito da microfiltrazione (Figura 2), messi a disposizione dalla ditta SAVECO WAMgroup di Cavezzo (MO), per il tempo necessario per la conduzione delle attività previste nel piano.

Il GOI SOS\_AQUAE avendo come obiettivo l'ampliamento delle possibilità di l'utilizzo di matrici fertilizzanti alternative ai fertilizzanti chimici industriali, ha impiegato un sistema integrato di trattamento del digestato per permetterne l'utilizzo in fertirrigazione tramite due sistemi innovativi ed efficienti di distribuzione ed al tempo stesso incrementare l'efficienza d'uso dell'azoto distribuito.

Le due tecniche di fertirrigazione col digestato quale matrice fertilizzante, in miscela all'acqua irrigua, sono state due: la prima **sub-fertirrigazione con ali gocciolanti interrata** ad una profondità di 25-30 cm (Azienda RGR), la seconda **fertirrigazione con rainger** (Azienda Leona).

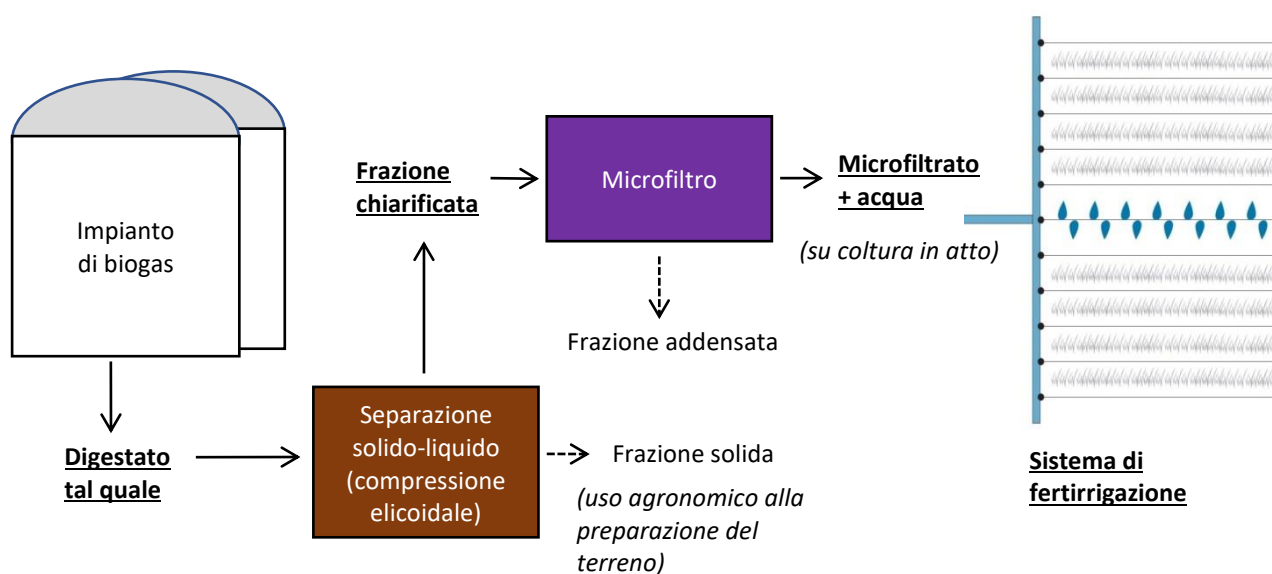


Figura 2. Schema del sistema di trattamento del digestato e di utilizzo delle diverse frazioni ottenute dal processo.

Non risulta sufficiente, tuttavia, il solo trattamento convenzionale di separazione solido-liquido per rendere idoneo a questo utilizzo la frazione chiarificata del digestato in quanto si incontrano problemi di occlusione degli ugelli e dei sistemi di fertirrigazione. Per questo, il Gruppo Operativo ha previsto che la separazione solido-liquido convenzionale fosse seguita dalla microfiltrazione della fase chiarificata e dall'impiego del digestato microfiltrato in fertirrigazione. In particolare, dopo la separazione solido-liquido a compressione elicoidale orizzontale, la frazione chiarificata del digestato è stata sottoposta a microfiltrazione per mezzo di un microfiltro SEPCOM® MFT, attraverso un vaglio caratterizzato da fori della dimensione di 50 µm. La frazione microfiltrata è stata poi impiegata nella fertirrigazione delle colture vegetali.

L'utilizzo della frazione microfiltrata, priva di particelle dal diametro superiore ai 50 µm, ha evitato qualsiasi problematica dovuta all'occlusione ed intasamento del sistema.

Una fase sperimentale di SOS\_AQUAE ha riguardato l'installazione ed il monitoraggio del sistema di separazione solido/liquido + microfiltrazione presso le aziende partner RGR e Leona al fine di valutare l'efficienza del trattamento di microfiltrazione su due tipologie molto differenti di digestato. Presso il partner Leona sono state condotte 2 sessioni di monitoraggio (13 maggio e 10 giugno del 2021 -

Figura 3), mentre presso l'azienda R.G.R. sono state eseguite 4 sessioni (22 giugno e 29 luglio del 2021, 13 giugno e 26 agosto 2022 -

Figura 4).

Le attività condotte durante le sessioni di monitoraggio hanno permesso di determinare le portate in ingresso al separatore ed al microfiltro e le relative quantità delle diverse frazioni ottenute. In ciascuna sessione di monitoraggio si è inoltre provveduto a campionare e sottoporre ad analisi chimico-fisica le seguenti matrici:

- il digestato tal quale in ingresso al sistema;
- la frazione solida palabile in uscita dal separatore solido-liquido;

- la frazione liquida in uscita dal separatore S/L (e in ingresso al microfiltro);
- la frazione addensata e quella microfiltrata in uscita dal microfiltro.



*Figura 3. Illustrazione dell'impianto con separatore a compressione elicoidale solido/liquido (a sinistra) e microfiltro (a destra) installato presso l'azienda Leona*





*Figura 4. Illustrazione dell'impianto con separatore a compressione elicoidale solido/liquido (in alto a sinistra) e microfiltro (sul lato a destra) installato presso l'azienda R.G.R.*

Il numero di campioni prelevati e le analisi effettuate sono risultati in linea con il programma di lavoro: 30 campioni in totale (10 per Leona e 20 per RGR) sui quali sono stati determinati i solidi totali (ST), i solidi volatili (SV), i solidi sospesi totali (SST), l'azoto totale Kjeldahl (NTK), l'azoto ammoniacale ( $N-NH_4^+$ ), il fosforo (P) ed il carbonio organico totale (TOC).

È stata inoltre condotta l'analisi granulometrica e viscosimetrica su 9 campioni RGR (n. 3 digestato tal quale, n. 3 chiarificato e n. 3 microfiltrato) e su 3 campioni LEONA (n. 1 digestato tal quale, n. 1 chiarificato e n. 1 microfiltrato) prelevati nel corso delle sessioni di misura.

I rilievi di portata, unitamente alle analisi chimico-fisiche, hanno consentito di valutare l'efficienza di separazione in peso, dei solidi totali e dei nutrienti azoto e fosforo nelle diverse frazioni che si ottengono dai processi di separazione e microfiltrazione.

L'analisi della granulometria e della viscosità hanno permesso di valutare quanto le frazioni trattate risultassero più idonee all'impiego in fertirrigazione rispetto al digestato tal quale, con l'obiettivo di evitare i problemi di occlusione e fouling degli apparati fertirrigui.

### **1.1. Caratteristiche chimico-fisiche del digestato e delle frazioni derivate dal trattamento**

In Tabella 2 e Tabella 3, rispettivamente per l'azienda Leona ed R.G.R., si riportano i valori analitici medi, con relative deviazioni standard, determinati durante le sessioni di test sul digestato in ingresso al separatore elicoidale e sulle frazioni prodotte (frazione separata solida palabile e frazione

chiarificata); si riportano inoltre i valori analitici medi e relative deviazioni standard sulle frazioni prodotte (addensato e microfiltrato) dal processo di filtrazione della frazione chiarificata.

Dai test di microfiltrazione è emerso che la produzione media di digestato microfiltrato da avviare a fertirrigazione presso LEONA è stata pari a 2.7 m<sup>3</sup>/h (con portate minime riscontrate pari a 2.2 e massime pari a 3.2 m<sup>3</sup>/h), mentre la produzione media riscontrata durante i test R.G.R. è stata di 4.7 m<sup>3</sup>/h (con portate minime riscontrate pari a 3.8 e massime pari a 5.5 m<sup>3</sup>/h).

Dai risultati analitici in Tabella 2 e Tabella 3, emerge che il digestato tal quale sottoposto al processo di separazione solido-liquido e microfiltrazione presso LEONA è stato mediamente caratterizzato da un tenore di solidi totali significativamente più elevato di quello trattato presso R.G.R. (10.7% vs 6.5%). Questo superiore contenuto di solidi totali determina una concentrazione di azoto, fosforo e carbonio organico totale nel digestato tal quale LEONA superiore a quello rilevato per il digestato tal quale RGR. Le diverse caratteristiche iniziali del digestato tal quale avviato al trattamento si ripercuotono a cascata anche sulle frazioni chiarificate e microfiltrate prodotte: un maggiore contenuto di solidi, sostanza organica e nutrienti per le frazioni LEONA rispetto a quelle R.G.R.

Il maggiore tenore di secco del digestato LEONA è stato inoltre causa della minore produzione oraria di microfiltrato nei test presso l'azienda Leona rispetto a quelli condotti presso R.G.R.

La frazione solida palabile prodotta dal separatore a compressione elicoidale ha avuto tenori di sostanza secca sempre superiori al 20% e sino al 27%, con concentrazioni di azoto tra 3.5 e 7.5 g/kg (i valori inferiori riscontrati nei test R.G.R. mentre quelli superiori nei test LEONA). Anche il fosforo si è concentrato in questa frazione, con valori variabili tra 0.5 e 2 g/kg.

Le frazioni microfiltrate mostrano un contenuto di solidi mediamente inferiore del 30% rispetto al digestato tal quale pur mantenendo un'ottima dotazione di nutrienti NP: 3.5 e 7.3 kg N /m<sup>3</sup>, 0.4 e 1 kg P /m<sup>3</sup> rispettivamente per il microfiltrato R.G.R. e LEONA. Se si considera il tenore di azoto e fosforo rapportato al secco (%ST), entrambe le frazioni microfiltrate mostrano valori molto simili.

Un aspetto da sottolineare è la differente composizione azotata dei due digestati. L'azoto presente nel digestato tal quale e microfiltrato LEONA per circa il 50% risulta in forma ammoniacale, forma minerale dell'azoto e prontamente disponibile per le colture, mentre la rimanente parte in forma organica. Al contrario, la quota ammoniacale dell'azoto nel digestato tal quale e microfiltrato R.G.R. sale al 62%, mentre la quota organica scende al 38%. Maggiore è la frazione azotata minerale prontamente disponibile contenuta nel digestato microfiltrato, maggiore saranno i benefici della fertirrigazione, tecnica in grado di fornire azoto ed acqua quando la coltura ne necessita.

Pertanto l'azoto contenuto nel digestato microfiltrato R.G.R., è quello che maggiormente rispecchia le caratteristiche di efficienza e prontezza di un fertilizzante azotato di sintesi.

Tabella 2. Analisi chimico-fisiche medie del digestato tal quale e delle frazioni prodotte dal separatore elicoidale e dal microfiltro (Azienda LEONA)

		ST		SV		NTK		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N organico		Ptot		SST		TOC	
		[g/kg tq]	[%tq]	[g/kg tq]	[%tq]	[mg/kg tq]	[%ST]	[mg/kg tq]	[%NTK]	[mg/kg tq]	[%ST]	[mg/kg tq]	[%ST]	[g/l]	[%ST]	[C/N]	[%ST]
Digestato tal quale	Media	107.1	10.7	78.0	72.8	7474	7.0	3684	49.3	3790	3.5	1263	1.2	70.9	66.3	7.1	49.5
	Dev.St	2.9	0.3	3.4	1.2	91	0.1	81	0.5	10	0.1	143	0.1	4.7	6.1	0.9	5.5
Frazione solida del digestato	Media	261.6	26.2	235.8	90.2	7044	2.7	2822	40.2	4222	1.6	1805	0.7	-	-	19.1	51.6
	Dev.St	12.1	1.2	5.8	2.0	304	0.0	482	8.6	786	0.2	414	0.1	-	-	0.1	0.0
Frazione chiarificata del digestato	Media	90.6	9.1	60.9	67.3	7480	8.3	3654	48.8	3826	4.2	1241	1.4	71.4	78.8	5.7	46.7
	Dev.St	1.0	0.1	0.5	0.1	141	0.1	136	0.9	6	0.0	165	0.2	1.9	1.2	0.4	3.8
Frazione densa del digestato	Media	100.1	10.0	66.7	66.6	7592	7.6	3729	49.1	3863	3.9	1738	1.7	78.5	78.4	6.1	46.4
	Dev.St	0.3	0.0	0.3	0.1	250	0.3	18	1.4	231	0.2	312	0.3	6.3	6.5	0.6	2.8
Frazione microfiltrata del digestato	Media	79.5	7.9	54.3	68.3	7261	9.1	3665	50.5	3597	4.5	997	1.3	60.5	76.2	5.1	46.6
	Dev.St	0.8	0.1	0.6	1.4	132	0.3	23	1.2	155	0.2	161	0.2	2.8	2.7	0.5	3.7

Tabella 3. Analisi chimico-fisiche medie del digestato tal quale e delle frazioni prodotte dal separatore elicoidale e dal microfiltro (Azienda R.G.R.)

		ST		SV		NTK		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N organico		Ptot		SST		TOC	
		[g/kg tq]	[%tq]	[g/kg tq]	[%tq]	[mg/kg tq]	[%ST]	[mg/kg tq]	[%NTK]	[mg/kg tq]	[%ST]	[mg/kg tq]	[%ST]	[g/l]	[%ST]	[C/N]	[%ST]
Digestato tal quale	Media	64.7	6.5	47.9	74.0	3930	6.1	2297	58.6	1634	2.5	512	0.8	46.7	71.8	6.9	42.0
	Dev.St	6.4	0.6	5.5	1.3	333	0.1	178	4.3	276	0.2	86	0.1	7.5	5.5	0.4	1.7
Frazione solida del digestato	Media	214.1	21.4	189.1	88.4	5712	2.7	2110	37.0	3603	1.7	1345	0.6	-	-	16.9	45.0
	Dev.St	14.8	1.5	13.1	3.2	422	0.2	223	3.2	355	0.2	750	0.3	-	-	0.8	2.9
Frazione chiarificata del digestato	Media	51.8	5.2	36.0	69.3	3767	7.3	2237	59.5	1530	3.0	460	0.9	38.5	74.4	5.7	41.3
	Dev.St	4.5	0.4	4.2	2.1	207	0.5	72	2.0	152	0.3	54	0.2	3.1	5.7	0.7	3.5
Frazione densa del digestato	Media	61.4	6.1	44.0	71.4	3870	6.3	2286	59.4	1584	2.6	516	0.8	48.5	78.6	6.9	43.9
	Dev.St	8.1	0.8	7.0	2.2	332	0.5	118	5.6	344	0.4	61	0.1	9.0	6.7	0.5	3.0
Frazione microfiltrata del digestato	Media	40.7	4.1	27.0	66.4	3524	8.7	2186	62.1	1338	3.3	394	1.0	24.7	61.4	4.7	40.7
	Dev.St	2.6	0.3	2.4	1.7	191	0.4	98	3.4	176	0.2	78	0.2	4.6	14.5	0.5	3.5

## 1.2. Efficienze di separazione e reologia delle matrici

La misurazione delle portate integrata dalle analisi chimico-fisiche del digestato tal quale e delle diverse frazioni prodotte sia dalla fase di separazione solido-liquido per mezzo di compressione elicoidale che dalla fase di microfiltrazione, hanno permesso di determinare le efficienze di separazione in peso e le efficienze di ripartizione dei solidi e dei nutrienti.

Per i test LEONA (

Figura 5), fatto pari a 100 il digestato tal quale in ingresso al trattamento combinato di separazione e microfiltrazione, il 9.7% in peso viene separato come frazione solida palabile mentre il 41.7% in peso risulta la frazione microfiltrata utilizzabile in fertirrigazione; il restante 48.6% in peso è la frazione addensata di scarico dal microfiltro. L'azoto manifesta una ripartizione percentuale tra le tre frazioni decisamente congruente con la ripartizione del peso, mentre sia i solidi totali che il fosforo tendono a concentrarsi nella frazione solida palabile a scapito in particolare di quella microfiltrata, che ne risulta alleggerita (31.7% dei solidi e 28.5% del fosforo in ingresso si ritrovano nella frazione microfiltrata che invece rappresenta il 41.7% in peso del digestato tal quale avviato a separazione).

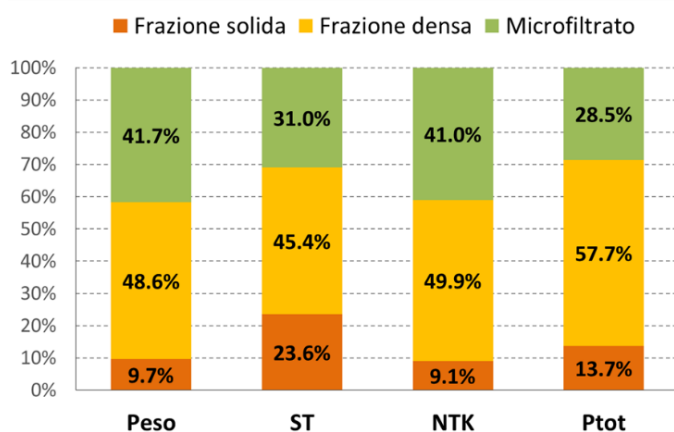
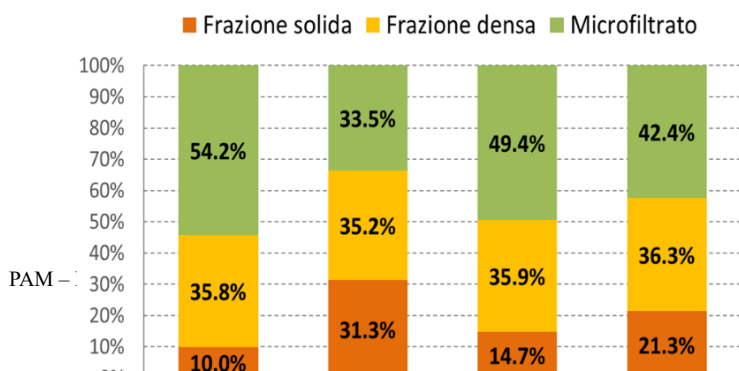


Figura 5. Efficienza media di separazione in peso e dei principali parametri chimici per ciascuna delle 3 frazioni prodotte dal processo di separazione e microfiltrazione (Azienda LEONA).



*Figura 6. Efficienza media di separazione in peso e dei principali parametri chimici per ciascuna delle 3 frazioni prodotte dal processo di separazione e microfiltrazione (Azienda R.G.R.).*

Per i test R.G.R. (

Figura 6), fatto pari a 100 il digestato tal quale in ingresso al trattamento combinato di separazione e microfiltrazione, il 10% in peso viene separato come frazione solida palabile mentre il 54.2% in peso risulta la frazione microfiltrata utilizzabile in fertirrigazione; il restante 35.8% è la frazione addensata.

Il minor tenore di sostanza secca del digestato tal quale ha permesso di ottenere nei test RGR una maggiore frazione microfiltrata (54.2%) rispetto a quella addensata (35.8%), mentre l'elevato tenore di solidi presente nel digestato LEONA ha influito sulla produzione della frazione microfiltrata, risultata pari a 41.7% rispetto a 48.6% della frazione addensata.

L'azoto manifesta una ripartizione percentuale tra le tre frazioni abbastanza in linea con la ripartizione del peso anche se, diversamente da quanto registrato presso LEONA, la separazione solido liquido con compressione elicoidale è risultata più efficiente nel segregare azoto, fosforo e solidi nella frazione palabile.

I solidi totali ed il fosforo tendono a concentrarsi nella frazione solida palabile a scapito di quella microfiltrata, che ne risulta alleggerita (33.5% dei solidi e 42.4% del fosforo in ingresso si ritrovano nella frazione microfiltrata che invece rappresenta ben il 54.2% in peso del digestato tal quale avviato a separazione).

L'analisi granulometrica ha permesso di valutare dal punto di vista reologico l'efficienza dei processi di separazione solido-liquido e di microfiltrazione nella selezione delle particelle di diverso diametro.

In Figura 7 e

Figura 8 si illustrano i valori medi, rispettivamente determinati durante le campagne di test presso l'azienda LEONA ed R.G.R., di ripartizione dei solidi in classi granulometriche. Nel grafico di sinistra di entrambe le figure si riporta la percentuale di solidi, sul totale presente, caratterizzato da granulometria >5mm, tra 5mm e 3,15mm, tra 3,15mm e 2mm, tra 2mm e 1mm, tra 1mm e 0,5mm, tra 0,5mm e 0,3mm ed infine tra 0,3mm e 0,1mm. Nel grafico di destra, invece, la percentuale di solidi con granulometria inferiore a 0.1 mm. L'esclusione dal grafico di sinistra della classe granulometrica < 0.1 mm ha l'obiettivo di migliorare la rappresentazione grafica delle classi caratterizzate da una minore percentuale.

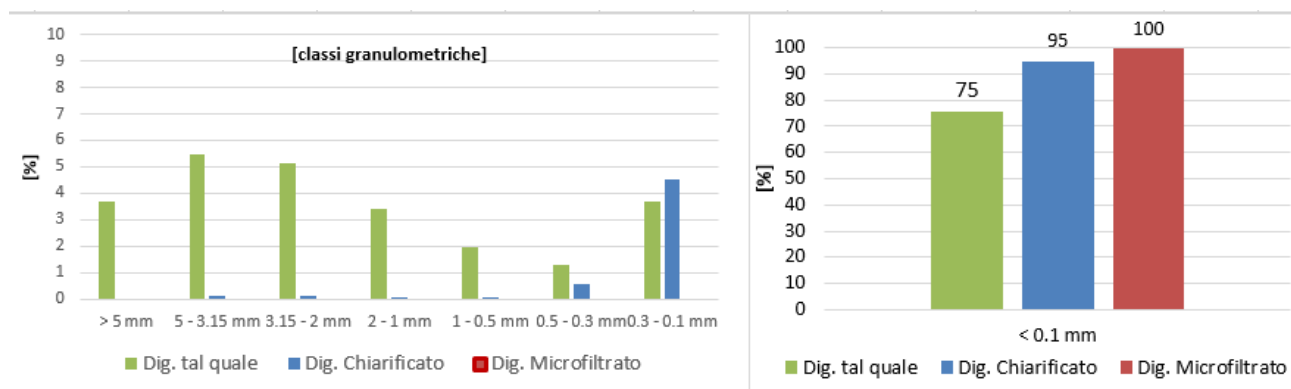


Figura 7 – Analisi granulometrica Azienda LEONA: suddivisione percentuale dei solidi totali presenti nel digestato in classi di setacciatura.

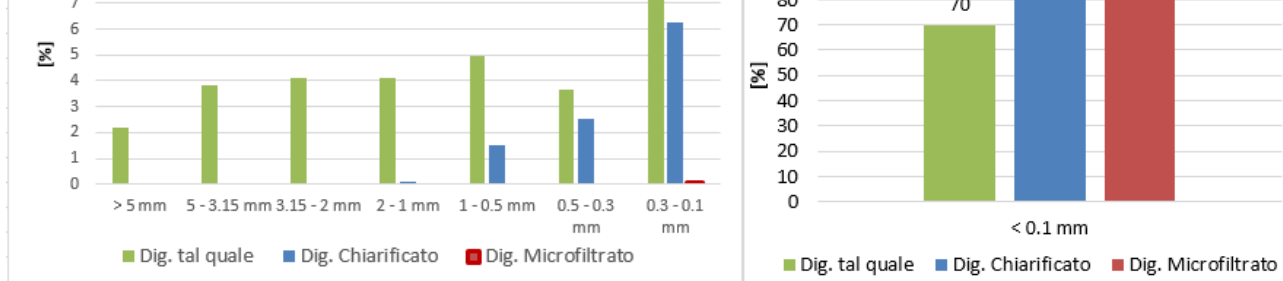


Figura 8. Analisi granulometrica Azienda R.G.R.: suddivisione percentuale dei solidi totali presenti nel digestato in classi di setacciatura.

Mediamente il digestato tal quale avviato ai trattamenti è stato caratterizzato dal 25-30% dei solidi totali avente granulometria superiore ai 100  $\mu\text{m}$  ( $>0,1$  mm). Dopo il trattamento di separazione solido-liquido con separatore elicoidale la percentuale di solidi nel digestato chiarificato al di sopra di 100  $\mu\text{m}$  si è ridotta al 5-10%, mentre nella frazione microfiltrata risultano del tutto assenti (Figura 7 e

Figura 8).

Le analisi di laboratorio della viscosità sulle diverse matrici liquide hanno evidenziato che, grazie alla prima fase di separazione solido-liquido con compressione elicoidale, si ottiene una frazione chiarificata caratterizzata da una viscosità inferiore del 51% rispetto al digestato tal quale relativamente ai test condotti presso LEONA, ed inferiore del 68% per i test R.G.R.

Integrando la separazione solido-liquido con il trattamento di microfiltrazione, è possibile produrre frazioni microfiltrate del digestato che nelle sessioni di test presso LEONA hanno mostrato una viscosità inferiore del 73% rispetto a quella del digestato tal quale iniziale, mentre nelle sessioni R.G.R. la viscosità si è ridotta del 85% rispetto alla viscosità del digestato tal quale in uscita dall'impianto di biogas.

Le **informazioni sulla viscosità** di un digestato risultano importanti per il dimensionamento delle pompe, dei miscelatori, delle valvole e degli ugelli installati sul sistema di fertirrigazione. Un trattamento che riduce la viscosità di un digestato ne permette un possibile e più agevole impiego in fertirrigazione.

In particolare, per RGR le misure di viscosità sono state effettuate su digestato tal quale, chiarificato e microfiltrato utilizzando un viscosimetro rotazionale Brookfield LV DV-E (Brookfield Engineering Laboratories Inc., USA), a 42°C. Le misurazioni sono state eseguite utilizzando la girante n. 61. Poiché le giranti standard fornite con il viscosimetro non hanno valori di gradiente di velocità (shear rate) e sforzo di taglio (shear stress) direttamente definibili, è stata valutata la viscosità a diverse



velocità di rotazione (da 0,5 a 20 rpm per digestato tal quale, da 1,5 a 100 rpm per chiarificato e da 20 a 100 rpm per microfiltrato). I valori sono stati determinati da analisi in triplicato e mediati.

Per RGR i dati dimostrano un comportamento pseudoplastico di tali digestati, tipici di un fluido non-newtoniano in cui la viscosità risulta diminuire all'aumentare del gradiente di velocità (shear rate); questi fluidi hanno un cambiamento di viscosità dipendente dal modo in cui essi si muovono e dal modo con cui viene applicata lo sforzo di taglio (shear stress) su di essi per provocarne il moto; inoltre il comportamento di tali fluidi è reversibile.

Il valore di viscosità è tanto più alto quanto maggiore è la concentrazione di solidi totali del fluido analizzato; tuttavia, la viscosità dipende anche dal contenuto di sostanza organica e dalla differenza di densità delle particelle organiche. Il digestato è una sospensione di particelle irregolari/polimeri organici con catene molecolari circolari e/o riavvolte su se stesse; nello stadio iniziale, la configurazione di tali molecole organiche porta ad una alta resistenza al moto del fluido, e quindi ad una viscosità più elevata; quando aumenta lo sforzo di taglio (la velocità della girante con cui viene analizzato il fluido), le molecole si allungano, si estendono e si orientano sulla stessa direzione del fluido, riarrangiandosi in modo tale da "strisciare" l'una sull'altra in maniera più fluida, e permettendo di ottenere valori di viscosità minori. Più che la quantità, quindi, è la tipologia di sostanza organica che influisce sul valore di viscosità.

Una viscosità elevata, nell'ambito del digestore anaerobico, aumenta la richiesta energetica per la movimentazione del fluido, ed influenza negativamente l'efficienza di miscelazione del digestato, causando la formazione di zone morte, sedimentazione e strati galleggianti, e rischiando di portare ad una minore efficienza di produzione di biogas.

Il grafico 5 riporta il confronto dei valori di viscosità tra digestato tal quale, digestato chiarificato e digestato microfiltrato dell'azienda RGR. I valori di viscosità e di velocità di taglio sono espressi in scala logaritmica.

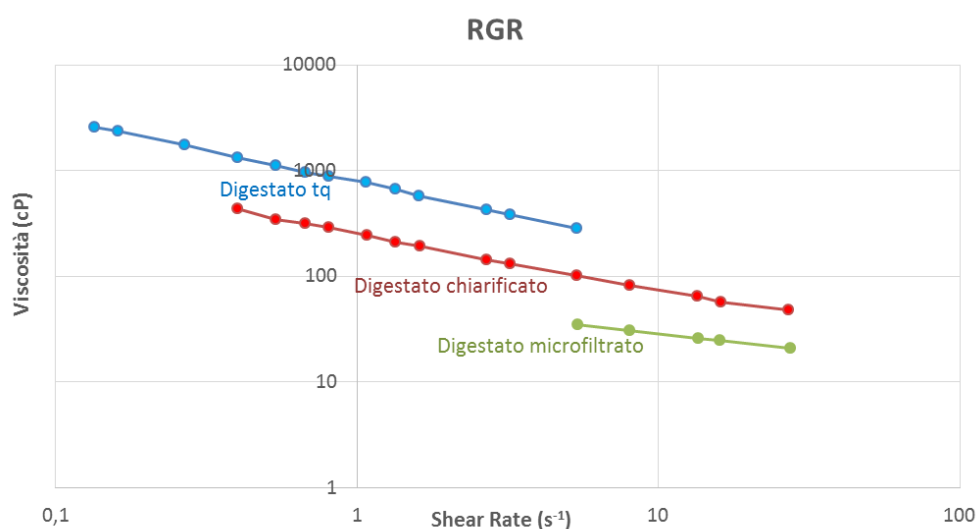


Figura 9. Valori di viscosità delle diverse matrici, Azienda R.G.R.

In linea con quanto precedentemente affermato, si conferma un comportamento pseudoplastico dei fluidi analizzati, vista l'andamento decrescente, in tutti e tre i campioni, della curva di viscosità all'aumentare della velocità di taglio; inoltre, si conferma una diminuzione del valore di viscosità al diminuire della concentrazione di solidi totali nei tre campioni. Infatti, mettendoli a confronto, il digestato microfiltrato è quello che presenta una minore viscosità, quindi una più facile movimentazione ed un comportamento più "simile" a quello di un classico fluido newtoniano (es. acqua); al contrario, il digestato tal quale presenta una maggiore viscosità, tuttavia i valori in questo caso corrispondono a quelli di un fluido comunque ben movimentabile/miscelabile.

Per Az. Leona invece le misure di viscosità sono state effettuate su digestato tal quale, chiarificato e microfiltrato utilizzando lo stesso viscosimetro rotazionale Brookfield LV DV-E (Brookfield Engineering Laboratories Inc., USA), a 42°C, ma le misurazioni sono state eseguite utilizzando la girante n. 67. Poiché le giranti standard fornite con il viscosimetro non hanno valori di gradiente di velocità (shear rate) e sforzo di taglio (shear stress) direttamente definibili, è stata valutata la viscosità a diverse velocità di rotazione (da 0,5 a 20 rpm per digestato tal quale, da 0,5 a 60 rpm per chiarificato e da 1,5 a 100 rpm per microfiltrato). I valori sono stati determinati da analisi in triplicato e mediati.

Il grafico 6 riporta il confronto dei valori di viscosità tra digestato tal quale, digestato chiarificato e digestato microfiltrato dell'azienda Leona. I valori di viscosità e di velocità di taglio sono espressi in scala logaritmica.

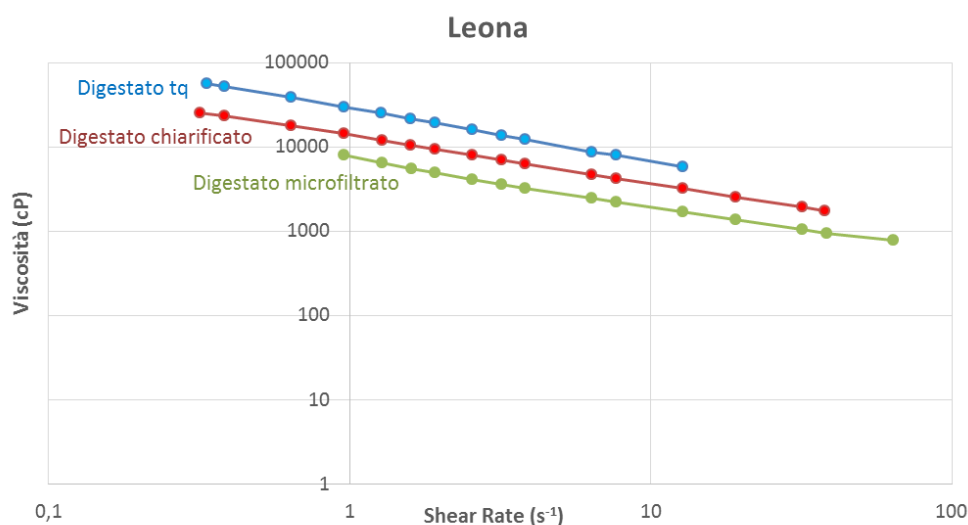


Figura 10. Valori di viscosità delle diverse matrici, Azienda Leona

Anche in questo caso si conferma un comportamento pseudoplastico dei fluidi analizzati, visto l'andamento decrescente, in tutti e tre i campioni, della curva di viscosità all'aumentare della velocità di taglio; inoltre, si conferma una diminuzione del valore di viscosità al diminuire della concentrazione di solidi totali nei tre campioni.

Ponendoli a confronto, di nuovo il digestato microfiltrato è quello che presenta una minore viscosità, quindi una più facile movimentazione e minore resistenza allo sforzo di taglio; al contrario, il digestato tal quale presenta elevati valori di viscosità ed anche una concentrazione di solidi totali del 10,9%, designando un fluido certamente più denso e con una più elevata richiesta energetica per la movimentazione.

L'impiego della frazione microfiltrata mediante la tecnica di fertirrigazione con RANGER impiegata nell'azienda LEONA, nonostante l'elevato contenuto di sostanza secca residua mediamente del 7.9%, non ha comportato problematiche di occlusione delle calate o difficoltà nel gestire le operazioni fertirrigue.

Allo stesso modo la frazione microfiltrata R.G.R., grazie al tenore di secco decisamente inferiore (4.1%), non ha creato alcun problema all'utilizzo in fertirrigazione in ALI GOCCIOLANTI INTERRATE durante gli anni di sperimentazione.

## AZIONE 2 – Gestione sostenibile degli agrosistemi

Di seguito, per ciascuna delle tre aziende, vengono descritte l'organizzazione e le modalità di conduzione delle prove agronomiche, ed i risultati dei rilievi condotti per la caratterizzazione iniziale e finale dei terreni e sulle coltivazioni. Per le strategie di fertirrigazione si veda l'azione n. 3.

### 2.1. Azienda CERZOO

La prova si è svolta su un terreno tenace, tipico della pianura piacentina, a tessitura limo-argillosa e dotato di un buon contenuto in sostanza organica.

Le principali caratteristiche chimico-fisiche del sito sperimentale in prova (all'inizio e alla fine della sperimentazione) sono riportate nella seguente tabella.

	SDI		ASP	
	Inizio prova	Fine prova	Inizio prova	Fine prova
Argilla (%)	41	41	42	42
Limo (%)	47	47	46	46
Sabbia (%)	12	12	12	12
pH (H <sub>2</sub> O)	7,6	7,6	7,8	7,8
Calcare Totale (%)	<1	<1	<1	<1
Conducibilità (µS/cm)	0,18	0,20	0,20	0,21
Sostanza Organica (g/kg)	33	35	31	34
Azoto totale (g/kg)	1,9	2,0	1,8	1,8
Fosforo Assimilabile (g/kg)	43	45	45	46
Potassio scambiabile (g/kg)	292	298	296	301
C.S.C. (meq/kg)	32	32	34	34
WAS (%)	65	67	64	65
Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	1,30	1,31	1,30	1,32

Tabella 4. Caratteristiche del terreno SDI e ASP presso CERZOO, ad inizio e fine sperimentazione.

Il sito è stato quindi suddiviso in due appezzamenti: (i) un primo campo sperimentale (3 ha) con sub-irrigazione (Subsurface Drip Irrigation - SDI), caratterizzato da 4 settori indipendenti a due diverse

distanze di interasse (70 cm e a 140 cm, con profondità delle ali gocciolanti di 45 cm) che ha visto iniezione di solfato ammonico da strappaggio; (ii) un secondo campo sperimentale (2,2 ha) con irrigazione per aspersione mediante irrigatore semovente (ASP) e concimazione minerale convenzionale, come “controllo” delle attività irrigue e di concimazione regionali standard.

Entrambi gli appezzamenti sono gestiti utilizzando tecniche di agricoltura conservativa dal 2015: le lavorazioni del suolo sono totalmente assenti (non lavorazione o no-till) ed è previsto l'utilizzo di un miscuglio di colture intercalari di copertura “a perdere” (*cover crop*) durante i periodi improduttivi tra due colture principali, per mantenere il terreno sempre coperto e produttivo. Il miscuglio è così composto: segale (27%), avena sativa (16%) e strigosa (12%), veccia comune (17%) e pannonica (16%), trifoglio incarnato (4%), trifoglio alessandrino (3%) e rafano daikon (5%) e viene seminato ad una dose di 52 kg/ha.

Per l'intera durata del progetto SOS\_AQUAE, gli appezzamenti SDI e ASP sono stati suddivisi in due per consentire la semina di mais e soia come colture principali, in contemporanea, per ogni tesi irrigua (SDI a 70 cm, SDI a 140 cm e ASP) per un totale di 6 tesi (Figura 11). Il piano culturale ha comportato la rotazione di mais e soia sul medesimo settore, consentendo quindi di avere sia la soia che il mais sullo stesso appezzamento nel medesimo anno.

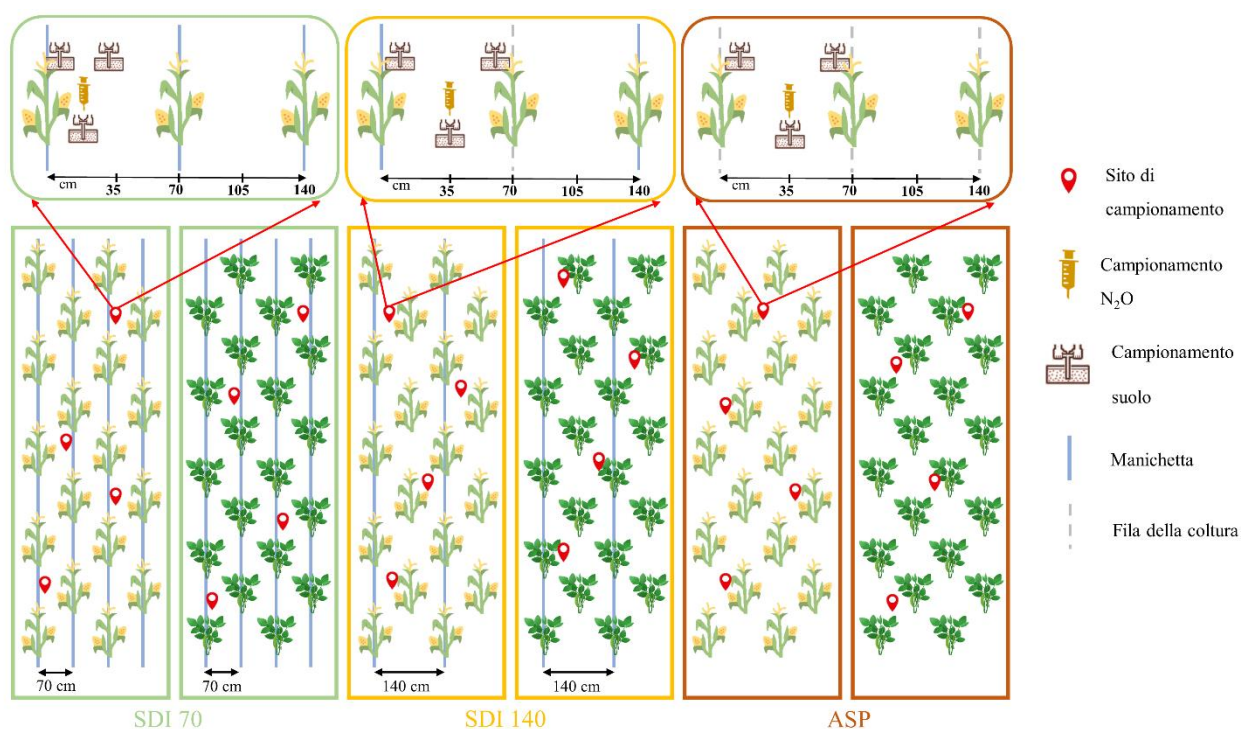


Figura 11. Schema del sito di sperimentazione di Azienda CERZOO

Presso CERZOO, il potenziale di fertilizzazione operato dalla permanenza del residuo delle cover crop, con conseguente rilascio dei nutrienti, da un lato, e le asportazioni delle successive colture da reddito, dall'altro, sono stati valutati determinandone la biomassa prodotta e il contenuto di carbonio, azoto e fosforo.

Mais e soia 2020-2021

A seguito delle colture di copertura, nel 2020, mais (var. LG 30597) e soia (var. Xonia) sono stati seminati il 6 giugno e trebbiati per la granella il 12 ottobre contemporaneamente, previa sostituzione della testata della mietitrebbiatrice.

Nel 2021, invece, mais (var. LG 315454) e soia (var. Avril) sono stati seminati il 23 aprile e trebbiati per la granella il 24 settembre e l'8 ottobre, rispettivamente.

Mentre la soia non è stata concimata ma solamente irrigata, il mais ha visto susseguirsi una serie di irrigazioni e fertirrigazioni lungo l'arco delle campagne colturali: mediamente le irrigazioni sono state effettuate ogni 10-14 giorni su ASP, mentre ogni 3-4 su SDI.

Le irrigazioni su SDI sono state inframmezzate da fertirrigazioni ogni 7-10 giorni, a dosi di 40 kg N ha<sup>-1</sup> l'una, per un totale di 280 kg N ha<sup>-1</sup>. Nell'appezzamento ASP, le concimazioni sono state realizzate con urea granulare (N 46%) in due interventi da 140 kg N ha<sup>-1</sup>, il primo a V2-V3, e il seguente a V8-V9. Ciascuna concimazione con urea è stata seguita da un intervento irriguo al fine di solubilizzare il concime e facilitarne l'assorbimento.

#### Cover crop 2020-2021

Il miscuglio di cover crop è stato seminato il 07 novembre 2020 e successivamente terminato il 10 aprile 2021 con Roundup 360 (3,5 l/ha). Nel complesso la biomassa prodotta dal miscuglio di cover crop è risultata essere di 1,96 Mg/ha e di 2,11 Mg/ha, rispettivamente per i settori ad aspersione e SDI. In termini di contributo azotato da cover crop, i settori SDI hanno beneficiato di 52 kg di N ad ettaro mentre i settori ad aspersione di 46 kg di N ad ettaro.

#### Degradazione del residuo colturale

L'andamento della degradazione del residuo colturale è stato monitorato per 8 tempistiche fino a 156 giorni dopo la terminazione della cover. Nello specifico è stato calcolato un coefficiente (k) che stima il tasso di degradazione della biomassa in termini di massa e azoto. In figura 12 è possibile notare come la perdita di massa del residuo colturale sia più elevata nel caso di ASP rispetto alle tesi SDI, a causa dell'applicazione di maggiori quantitativi di acqua direttamente sulla superficie del terreno. Infatti ciò ha causato una maggiore attività degli organismi deputati alla demolizione di tale materiale organico soprattutto nelle prime 2-3 tempistiche. Questo viene confermato (seppur in maniera più contenuto) dal tasso di degradazione dell'azoto riportato in figura 13. Anche in questo caso l'applicazione dell'acqua di irrigazione sopra la superficie del suolo (quindi direttamente sui residui colturali) ha incrementato il tasso di perdita di azoto. Questo azoto perso può aver contribuito alle perdite per dilavamento e/o alle emissioni di protossido di azoto con problematiche ambientali annesse.

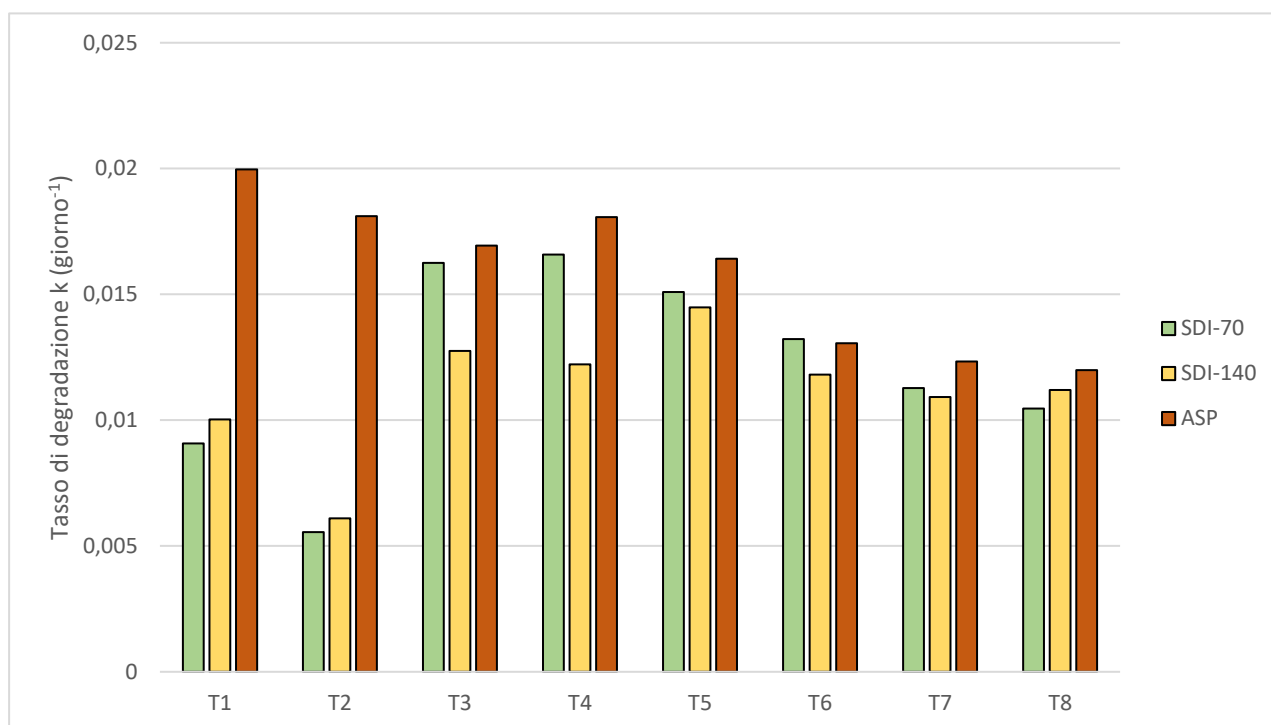


Figura 12. Tasso di degradazione  $k$  della biomassa prodotta dalle colture presso azienda CERZOO.

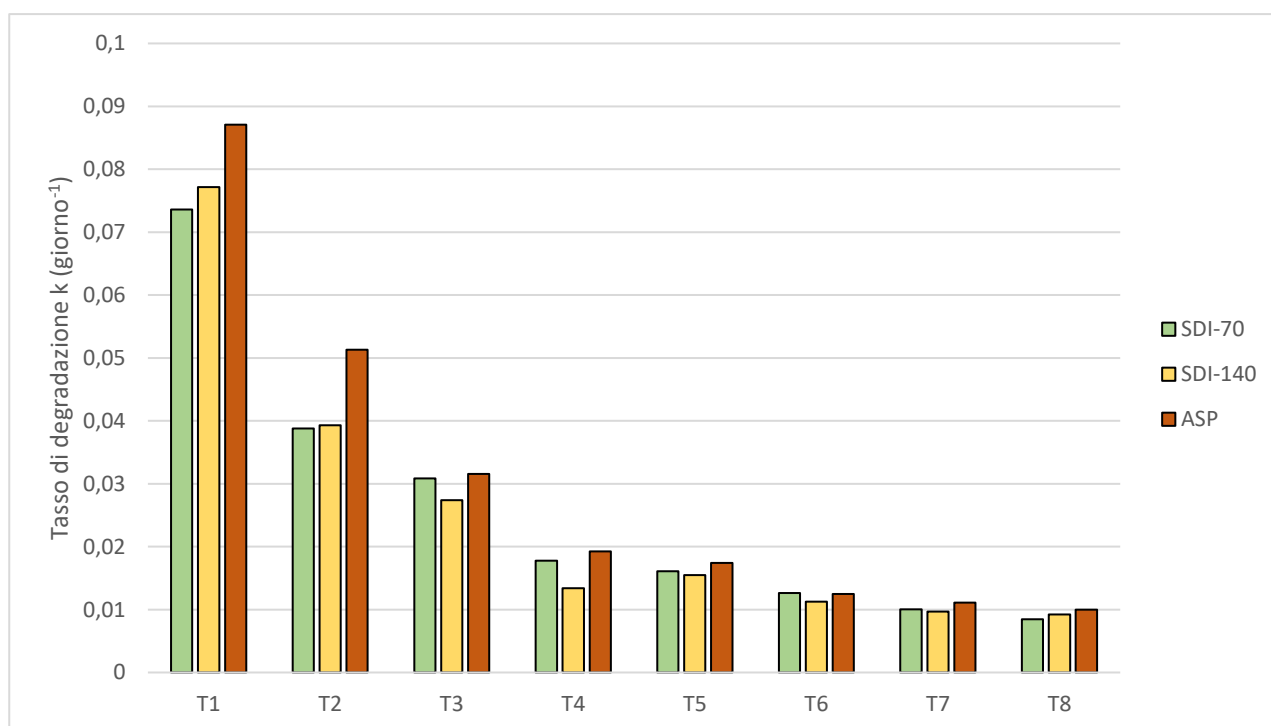


Figura 13. Tasso di degradazione  $k$  dell'azoto contenuto nella biomassa prodotta dalle colture presso azienda CERZOO.

### Contenuto idrico del suolo

Come già evidenziato nella relazione intermedia, a causa del crepacciamento del terreno (riconducibile ai fenomeni di dilatazione delle argille espandibili), le sonde tensiometriche non hanno potuto assolvere al loro compito di fornire un dataset accettabile e continuativo, evidenziando i limiti di questi strumenti nel monitoraggio del tenore di umidità dei terreni franco-argilloso-limosi. Questo non ha però inficiato i risultati agronomici della prova, e si è comunque proceduto a monitorare il tenore di umidità del suolo e il relativo grado di saturazione idrica (WFPS) tramite campionamenti periodici del terreno e determinazione termo-gravimetrica.

In generale, l'andamento della porosità idro-saturata (Figura 14) ha seguito quello meteorologico ha risposto con picchi tendenzialmente superiori nel caso dell'irrigazione per aspersione che apporta elevati quantitativi d'acqua in un limitato arco temporale e in superficie, a differenza dell'SDI che ha permesso di frazionare meglio le irrigazioni lungo tutto l'arco della prova. In linea generale, valori più elevati di WFPS sono stati rilevati nei settori occupati dal mais lungo tutto l'arco della prova, in particolare nelle tesi irrigue SDI-140 e aspersione, che in alcuni momenti hanno raggiunto quasi il 90% di saturazione idrica.

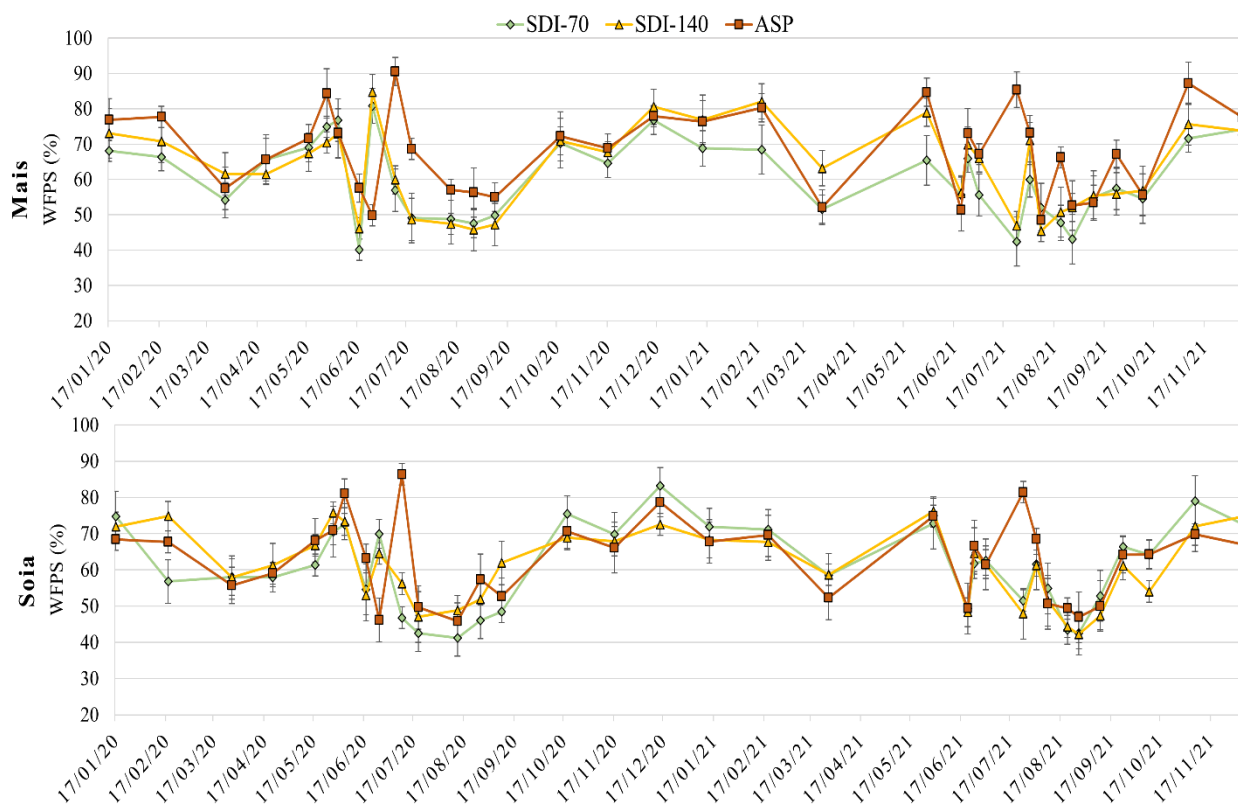


Figura 14. Andamento della porosità idro-saturata nel corso delle due annate sperimentali presso azienda CERZOO.



## 2.2 Azienda R.G.R.

La prova agronomica ha interessato un suolo tipico della pianura reggiana, di medio impasto, con le caratteristiche di cui alla tabella 5, con dotazioni medio-basse sia di sostanza organica che di azoto e fosforo.

Parametri	SDI Digestato 0-25 cm	SDI urea 0-25 cm	ASP conven- zionale 0-25 cm	ASP conven- zionale 25-50 cm
Argilla (%)	23	15	13	13
Limo (%)	36	41	43	46
Sabbia (%)	41	44	44	41
pH (H <sub>2</sub> O)	8,1	8,2	8,2	8,2
pH (CaCl <sub>2</sub> )	7,5	7,5	7,5	7,5
Calcario Totale (%)	5,0	3,5	4,9	6,9
Conducibilità (μS/cm)	201	178	189	202
Sostanza Organica (g/kg)	19,2	17,6	19,8	19,0
Azoto totale (g/kg)	1,3	1,1	1,3	1,2
Fosforo Assimilabile (g/kg)	12	8	14	16
Potassio scambiabile (g/kg)	177	157	210	215
C.S.C. (meq/kg)	15,4	11,0	10,6	10,1

Tabella 5. Caratteristiche del terreno del sito di sperimentazione

Il sito è stato suddiviso in tre appezzamenti, ognuno della stessa dimensione di 0,875 ha, con (i) sub-irrigazione (SDI) con iniezione di digestato microfiltrato, (ii) sub-irrigazione (SDI) con iniezione di urea disciolta, come riferimento per la valutazione dell'efficienza della concimazione minerale in sub-irrigazione e (iii) irrigazione per aspersione mediante irrigatore semovente (ASP) e concimazione minerale convenzionale, come "controllo" delle attività irrigue e di concimazione regionali standard. L'impianto SDI ha interasse regolare di 100 cm e profondità delle ali gocciolanti di 25-30 cm.

I due appezzamenti con sub-irrigazione, attiva dal 2019, vengono gestiti utilizzando tecniche di agricoltura conservativa con minime lavorazioni mentre l'appezzamento con irrigazione per aspersione è gestito in modo convenzionale, con aratura e lavorazioni secondarie.

Le coltivazioni effettuate sono state sorgo nell'estate 2020, un erbaio con triticale, frumento, veccia e trifoglio incarnato nell'autunno-inverno, seguito da mais in secondo raccolto nel 2021, poi segale nell'autunno-inverno seguita da mais in secondo raccolto nel 2022. Quindi il terreno è risultato coltivato in modo continuativo (doppie colture con asportazione della biomassa epigea).

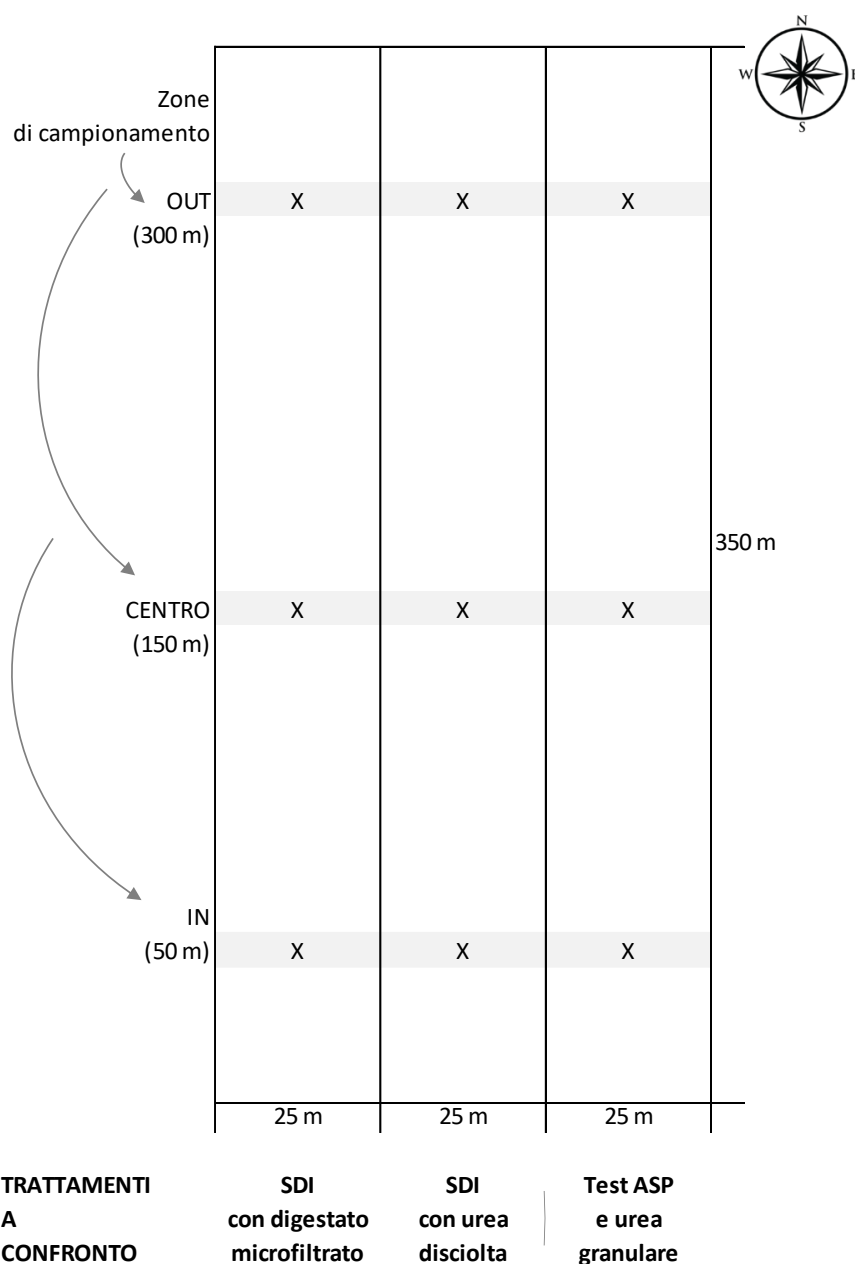


Figura 15. Schema del sito di sperimentazione di Azienda RGR

## Sorgo doppio sfalcio - 2020

Il sorgo (*Sorghum spp.*) è una specie a ciclo C4 (come il mais) e quindi con un'alta efficienza fotosintetica, che però rispetto al mais mostra una maggiore resistenza alla siccità grazie al suo esteso apparato radicale e alla capacità di rallentare il proprio sviluppo nel caso di ridotta disponibilità idrica.

La coltivazione di sorgo è quindi un'opzione promettente nei contesti in cui è più ridotta la presenza di acqua per l'irrigazione (destra Po) e le ditte sementiere da ormai diversi anni hanno proposto varie tipologie (ideotipi) di sorghi da biomassa, contraddistinti come zuccherino, foraggero, da fibra, da granella a taglia alta, da granella a taglia convenzionale.

Per valutare l'attitudine al ricaccio estivo e la possibilità di effettuare una seconda trinciatura autunnale, nell'anno 2020 è stata utilizzata la varietà di sorgo PR88Y20 di Pioneer, classe 400/500 a granella bianca, caratterizzata da omogeneità di altezza e rapido dry-down della pianta.

La semina è stata effettuata in data 24 aprile, in due diverse condizioni di lavorazione del terreno: aratura convenzionale vs minima lavorazione (erpatura a dischi), questa seconda sulla parte di prova con SDI, suddivisa in due settori per sperimentare sia la fertirrigazione con urea tecnica solubile che quella con digestato sottoposto a microfiltrazione.

Ad un mese dalla semina è stato effettuato un intervento di fertilizzazione con urea granulare, procedendo inoltre con sarchiatura e diserbo. Sono stati distribuiti 80 kg/ha di azoto nella parte arata e solo 15 kg/ha in quella attrezzata per fertirrigazione, dove in seguito si sono apportati 80 kg N/ha nel settore con urea solubile e quasi 100 kg N/ha in quello con digestato microfiltrato.

La prima raccolta di trinciato, a maturazione latteo-cerosa, è stata effettuata in data 27 luglio 2020. La produzione media è risultata superiore a 35 t/ha di trinciato tal quale al 32% di sostanza secca. Pertanto, la resa media espressa in tonnellate di sostanza secca è stata di 11,5 t SS/ha.

A seguito della prima raccolta e per il permanere di buone condizioni di umidità del terreno, favorite anche da una stagione estiva con frequenti precipitazioni e dalla presenza di subirrigazione, le stoppie di sorgo hanno emesso nuovi culmi in modo abbondante. Tali piante hanno quindi dato origine a nuovi panicoli.

La seconda raccolta di trinciato è avvenuta in data 8 ottobre, anticipata di qualche giorno rispetto alla data programmata attorno a metà mese, tenuto conto della forte perturbazione che era stata prevista per i giorni successivi. In questo caso la produzione media è risultata superiore a 31 t/ha di trinciato tal quale al 22% di sostanza secca e pertanto la resa in sostanza secca è stata di 7 t SS/ha.

Nel complesso delle due raccolte si sono quindi prodotte 18,5 t SS/ha, con punte massime sino a circa 20 t SS/ha in alcune aree del campo. La prova ha quindi conseguito risultati notevoli, dimostrando che il sorgo in duplice sfalcio può produrre attorno a 60 t/ha di trinciato standardizzato al 33% di SS, con necessità di avere acqua disponibile per potersi esprimere al massimo e con asportazioni complessive di azoto molto vicine a quelle del mais, che quindi giustificano importanti apporti fertilizzanti nonostante tale specie sia in grado di estrarre efficacemente i nutrienti dal terreno.

Naturalmente, la qualità del trinciato raccolto a luglio è risultata superiore a quella della raccolta autunnale dei ricacci, a partire dal tenore di sostanza secca ma soprattutto per la diversità della concentrazione di amido. Tale diversità della composizione del trinciato non può che riflettersi sulla produzione specifica di metano che per il latteo-ceroso di luglio è risultato di 314 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t di solidi volatili mentre per quello da ricacci di ottobre si è ridotto a 258 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t di solidi volatili (e con più alte umidità e ceneri nella biomassa). Considerando i livelli produttivi dei due raccolti, ne consegue una produzione potenziale complessiva di oltre 5.000 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha, di cui 1/3 dovuto alla raccolta dei ricacci.

La prova condotta ha dimostrato che nell'arco di sei mesi (maggio-ottobre) può essere possibile raccogliere per due volte il sorgo da granella, raggiungendo una produzione di 20 tonnellate di sostanza secca per ettaro. Evidentemente, dal punto di vista economico ed energetico, la doppia raccolta incide in modo significativo ma diventa la chiave di volta per rendere sufficientemente produttiva una coltivazione che ha il pregio di essere rustica (e praticamente inallettabile) ma con buona qualità della biomassa, adeguata per la digestione anaerobica, e che rappresenta una valida alternativa in particolare in quegli areali ove le disponibilità idriche per l'irrigazione sono più limitate. Altro vantaggio è sicuramente quello di poter utilizzare, con il massimo di efficienza (starter nutritivo e idrico), quote di digestato subito dopo il primo sfalcio al fine di favorire un pronto ricaccio della coltura.

27 lug 2020	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	31,5	10,2	1,45	147	0,27	28	52,5	5339
SDI urea	34,7	10,9	1,46	159	0,29	31	52,0	5663
ASP urea	41,4	12,9	1,53	198	0,28	36	51,0	6579

Tabella 6. Asportazioni di biomassa, dei nutrienti e del carbonio (sorgo, primo sfalcio)

27 lug 2020	Sostanza secca	Ceneri	Amido	Proteine	Emicellulosa	Cellulosa	Lignina
	% t.q.	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS
SDI digestato	32,3	6,2	24,0	9,1	17,1	22,1	3,9
SDI urea	31,4	6,1	23,9	9,1	18,1	21,7	3,8
ASP urea	31,1	6,1	25,7	9,6	18,3	21,4	3,7

Tabella 7. Caratteristiche qualitative della biomassa asportata (sorgo, primo sfalcio)

08 ott 2020	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	29,2	6,4	1,62	104	0,35	23	46,4	2979
SDI urea	33,2	7,4	1,64	122	0,34	25	47,1	3485
ASP urea	29,9	6,7	1,58	106	0,34	23	47,1	3160

Tabella 8. Asportazioni di biomassa, dei nutrienti e del carbonio (sorgo, secondo sfalcio)

27 lug 2020	Sostanza secca	Ceneri	Amido	Proteine	Emicellulosa	Cellulosa	Lignina
	% t.q.	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS
SDI digestato	22,0	8,0	4,6	10,1	24,8	33,1	5,2
SDI urea	22,3	8,0	5,6	10,2	26,0	32,4	5,2
ASP urea	22,4	8,1	3,5	9,9	25,7	33,6	5,2

Tabella 9. Caratteristiche qualitative della biomassa asportata (sorgo, secondo sfalcio)

08 ott 2020	Trinciato integrale		N	P	TOC
	t t.q. /ha	t SS/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
SDI digestato	60,7	16,8	251	51	8318
SDI urea	55,5	18,3	281	56	9148
ASP urea	71,3	19,6	304	59	9439

Tabella 10. Asportazioni di biomassa, dei nutrienti e del carbonio (sorgo, primo + secondo sfalcio)

Erbaio misto 2020-2021

In questo caso il miscuglio di sementi includeva triticale, frumento, veccia e trifoglio incarnato.

Trattamenti a confronto	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	42,7	12,0	1,86	224	0,25	30	48,5	5832
SDI urea	38,4	10,4	2,03	212	0,28	30	47,3	4927

ASP urea	48,5	12,3	2,10	258	0,26	32	50,6	6223
----------	------	------	------	-----	------	----	------	------

Tabella 11. Produzioni e asportazioni del trinciato di erbaio misto nei tre trattamenti

Trattamenti a confronto	Sostanza secca	Ceneri	Amido	Proteine	Emicellulosa	Cellulosa	Lignina
	% t.q.	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS
SDI digestato	28,1	7,3	12,8	11,7	15,6	27,9	5,2
SDI urea	27,1	7,0	12,5	12,7	16,6	27,6	5,0
ASP urea	25,4	7,5	10,0	13,1	17,7	29,3	5,4

Tabella 12. Caratteristiche di qualità del trinciato di erbaio nei tre trattamenti

#### Mais secondo raccolto - 2021

La semina su sodo di mais DKC4316 (FAO 300), con sesto di semina di 75 x 15 cm (8,88 piante/m<sup>2</sup>) è stata il giorno 03 giugno 2021 e il successivo intervento agronomico è stato un diserbo post-emergenza con Nic4 + Pyxides (5 litri per ciascuno dei due, distribuiti su una superficie totale di 3,5 ha).

Sulla tesi testimone ASP l'urea granulare è stata distribuita alla dose di 294 kg/ha, pari a 135 kg N/ha, il giorno 24 giugno 2021 ed il giorno successivo è stata effettuata una irrigazione per aspersione con rotolone e 'gettone' (30 mm).

La tesi testimone è stata concimata con urea granulare (170 kg/ha pari a 78 kg N/ha) di nuovo il 14 luglio, subito seguita da irrigazione per aspersione con rotolone e 'gettone' (30 mm).

Trattamenti a confronto	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	35,3	10,0	1,13	113	0,23	23	53,3	5321
SDI urea	34,2	10,2	1,09	111	0,21	21	53,9	5494
ASP urea	37,8	12,1	1,16	140	0,21	25	52,9	6396

Tabella 13. Produzioni e asportazioni del trinciato di mais nei tre trattamenti

Trattamenti a confronto	Sostanza secca	Ceneri	Amido	Proteine	Emicellulosa	Cellulosa	Lignina
	% t.q.	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS
SDI digestato	28,3	4,25	23,0	7,1	17,0	24,8	2,9
SDI urea	29,8	4,07	23,9	6,8	18,3	23,7	3,1
ASP urea	32,0	4,11	25,6	7,2	15,8	23,6	2,8

Tabella 14. Caratteristiche di qualità del trinciato di mais nei tre trattamenti

In questo caso si è proceduto anche all'analisi del Potenziale Biochimico Metanigeno del trinciato raccolto nelle tre tesi, con valori espressi in  $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{t SV}$  che sono risultati rispettivamente pari a 359,2 – 327,5 – 316,9 per SDI digestato, SDI urea e ASP urea, a testimonianza della migliore qualità dei trinciati provenienti dalle tesi su SDI rispetto al testimone, probabilmente dovuta alla raccolta di piante meno mature su SDI (stato latteo) rispetto a quelle di ASP (stato ceroso e attacchi di piralide).

Mais secondo raccolto - 2022

In questo anno la precessione è stata con segale autunno-vernina.

Trattamenti a confronto	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	33,74	10,2	1,51	154	0,22	22	48,5	5100
SDI urea	34,73	10,5	1,57	165	0,20	21	49,8	5102
ASP urea	41,36	12,0	1,52	182	0,21	25	48,5	5802

Tabella 15. Produzioni e asportazioni del trinciato di segale nei tre trattamenti

Trattamenti a confronto	Trinciato integrale		N		P		TOC	
	t t.q. /ha	t SS/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha	% SS	kg/ha
SDI digestato	29,43	9,3	1,18	109	0,20	19	47,76	4423
SDI urea	27,41	9,9	1,22	121	0,19	18	48,70	4818
ASP urea	31,52	10,9	1,10	120	0,22	24	48,12	5253

Tabella 16. Produzioni e asportazioni del trinciato di mais nei tre trattamenti

### 2.3 Azienda Leona

Su un terreno tipico dell'area di bonifica ferrarese, caratterizzato da elevate dotazioni di sostanza organica, azoto e fosforo, coltivato a mais destinato a trinciato integrale, sono stati messi a confronto due trattamenti, ciascuno su di un'area di un ettaro: la gestione convenzionale che prevede concimazione in copertura con urea ed una gestione alternativa basata sulla fertirrigazione con digestato microfiltrato. È stata inoltre considerata un'area della stessa dimensione, localizzata nella testata del campo, trattata come testimone non fertilizzato.

Parametri	Convenzionale 0-30 cm	Convenzionale 30-60 cm	Innovativo 0-30 cm	Innovativo 30-60 cm
Argilla (%)	29,3	37,95	24,6	18,7
Limo (%)	49,45	43,45	58,45	60,4
Sabbia (%)	21,25	18,6	16,95	20,9
pH (H <sub>2</sub> O)	7,45	7,40	7,59	7,44
pH (CaCl <sub>2</sub> )	7,09	7,10	7,18	7,19
Calcare Totale (%)	3,9	5,8	4,8	4,8
Conducibilità (μS/cm)	744	953	463	1148
Sostanza Organica (g/kg)	61,5	51,8	52,7	47,4
Azoto totale (g/kg)	3,3	3,0	2,8	2,7
Fosforo Assimilabile (g/kg)	120	94	115	110
Potassio scambiabile (g/kg)	861	698	757	692
Capacità di Scambio Cationico (cmol+/kg)	27,0	29,3	22,8	18,8

Tabella 17. Caratteristiche del terreno del sito di sperimentazione





Figura 16. Schema del sito di sperimentazione di Azienda Leona

Il mais (var. P0943 di Pioneer, Classe 500, 128 giorni) è stato seminato ad una densità di 8,3 piante/m<sup>2</sup> il 03 aprile 2021, su terreno preparato per la semina con ripuntatura e disco-estirpatura autunnali, e affinatura con erpice a denti a fine marzo. Gli interventi di diserbo sono stati in pre-semina con Roundup 360 e in post-emergenza con Laudis + Mondak.

La raccolta del mais trinciato integrale è avvenuta il 18 agosto 2021 e i quantitativi raccolti sono risultati nella norma, così come il loro tenore di sostanza secca, per cui sono derivate produzioni di sostanza secca attorno alle 21 t/ha e non diverse per i due trattamenti, con asportazioni di quasi 300 kg/ha di azoto. Anche dal punto di vista qualitativo non sono state rilevate differenze significative tra i due trattamenti.

Avendo a disposizione anche i dati dell'area testimone non fertilizzata è stato possibile calcolare degli incrementi produttivi rispettivamente del 12,5% e del 14,1% per le due tesi urea e digestato. Mentre le differenze nelle asportazioni di azoto scaturiscono in un'efficienza d'uso (indice NUE – *Nitrogen Use Efficiency*) delle fertilizzazioni in copertura pari al 66% per l'urea e al 51% per il digestato microfiltrato, valore che però sale a quasi il 100% se si considera la sola quota di azoto ammoniacale, quella a pronto utilizzo da parte della coltura (escludendo dal calcolo la parte di azoto organico che deve mineralizzare nel terreno).

Tesi a confronto	Produzioni		Asportazioni			
	t/ha di t.q.	t SS/ha	kg N/ha	kg P/ha	t TOC/ha	t CO <sub>2</sub> /ha
Testimone	50,8	18,4	235	30	9,4	34,4
Digestato	62,8	21,0	295	38	10,4	38,2
Urea	60,6	20,7	294	31	10,1	37,0

Tabella 18. Produzioni e asportazioni per le tre tesi a confronto

Tesi a confronto	Sostanza secca	Ceneri	Amido	Proteine	Emicellulosa	Cellulosa	Lignina
	% t.q.	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS	%SS
Testimone	36,2	5,3	32,2	8,0	16,2	22,8	3,0
Digestato	33,4	4,5	26,7	8,8	16,8	26,3	3,7
Urea	34,2	4,6	26,7	8,9	18,7	25,9	3,5

Tabella 19. Qualità del trinciato per le tre tesi a confronto

### AZIONE 3 – Strategie di fertirrigazione efficienti

In ciascuna delle tre prove agronomiche, le strategie di fertirrigazione innovative sono state poste a confronto con la tecnica tradizionale di gestione e distribuzione (tesi convenzionale).

I partner scientifici hanno collaborato strettamente con le tre aziende agricole per la gestione operativa degli interventi irrigui e fertirrigui e comunque di tutti quelli di fertilizzazione nei diversi siti agronomici. È incluso in questa azione il lavoro che è servito per il trasporto ai campi dei fertilizzanti rinnovabili e per la loro iniezione nei sistemi di fertirrigazione.

Sono state campionate e caratterizzate le acque irrigue e le miscele tra queste ed i fertilizzanti rinnovabili. Inoltre, sono state monitorate le concentrazioni di azoto minerale (ioni nitrato e ammonio) nel suolo e nelle acque di ritenzione del suolo attraverso campionamenti diretti di terreno ed il posizionamento di opportuni lisimetri a suzione (previsti presso CERZOO ed RGR).

#### 3.1 Azienda CERZOO

Nel corso dei due anni di sperimentazione presso l'azienda CERZOO, sono state effettuate 12 fertirrigazioni su SDI (7 nel 2020 e 5 nel 2021) e 3 concimazioni con urea su ASP (2 interventi nel 2020, e un'unica distribuzione nel 2021).

Per quanto concerne le fertirrigazioni, mediamente sono stati distribuiti 42 kg N ad intervento, con un apporto idrico variabile tra gli 8 e i 15 mm per intervento. Nell'arco della sperimentazione sono stati complessivamente apportati 294 e 255 kg N per ettaro su SDI nel 2020 e 2021, rispettivamente, mentre 280 kg N/ha su ASP in ognuno dei due anni.

Analisi del solfato ammonico 2020 (1 cp.): pH = 3.16; ST = 339 g kg<sup>-1</sup> tq; NTK = 69.7 g kg<sup>-1</sup> tq; TAN = 67.3 g kg<sup>-1</sup> tq.

Di seguito vengono riportati i risultati delle analisi delle acque irrigue e relative miscele con solfato di ammonio.

Parametro	Valore (mg L <sup>-1</sup> )	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	

Tabella 20. Analisi delle acque irrigue da pozzo aziendale

Data	Volume acqua per fertirrigazione (L/ha)		Dose solfato ammonico (L/ha)	N solfato ammonico (%)	N apportato (kg N/ha)	N conc. acqua fertirrigua (mg N/L)	
	SDI-70	SDI-140				SDI-70	SDI-140
24/06/2020	80000	80000	600	7	42	525	525
01/07/2020	150000	150000	600	7	42	280	280
08/07/2020	80000	80000	600	7	42	525	525
12/07/2020	80000	80000	600	7	42	525	525
23/07/2020	150000	150000	600	7	42	280	280
01/08/2020	80000	80000	600	7	42	525	525
08/08/2020	80000	80000	600	7	42	525	525
Somma					294		
26/05/2021	110000	110000	600	7	42.5	386	386
27/05/2021	110000	110000	600	7	42.5	386	386
16/06/2021	170000	170000	600	7	42.5	250	250
24/06/2021	170000	170000	1180	7	85	500	500
08/07/2021	170000	170000	590	7	42.5	250	250
Somma					255		
ASP			Dose urea (kg/ha)	N urea (%)			
24/06/2020			376	46	140		
17/07/2020			276	46	140		
Somma					280		
27/05/2021			608	46	280		

Tabella 21. Interventi di fertirrigazione e di fertilizzazione effettuati presso il sito CERZOO

Nel corso della prova è stato poi monitorato il contenuto di azoto nitrico e ammoniacale del suolo su due profondità: 0-10 e 10-30 cm. Nel complesso sono state effettuate 23 misurazioni tra il 2020 e il 2021. Lo stesso estratto è servito sia per la determinazione dell'azoto nitrico che ammoniacale (Figura 17 e 18).

L'andamento della concentrazione del nitrato nel 2020 è risultato simile tra i vari trattamenti, ma con residuazioni più pronunciate all'uscita dell'estate sui settori mais SDI. Nel 2021, invece, le concentrazioni maggiori sono state rilevate a partire dalla fine dell'estate e per la durata dell'autunno, nei settori mais SDI-140 e ASP, sia nello strato 0-10 che 10-30 cm di profondità. Nei settori occupati dalla soia, invece, la concentrazione media di azoto nitrico è risultata più omogenea tra le varie tesi, con valori mediamente superiori per il settore SDI-140.

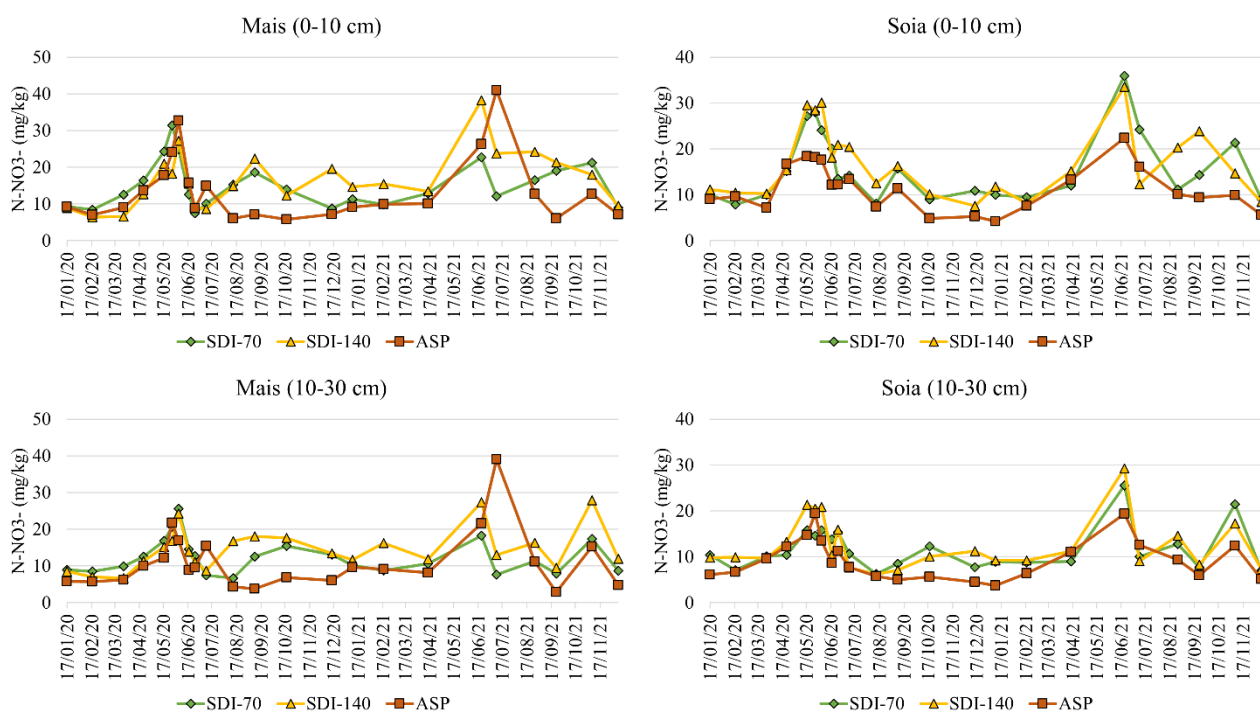


Figura 17. Andamento del tenore dell'azoto nitrico nel terreno per mais e soia (0-10 e 10-30 cm) negli anni 2020-2021 presso l'azienda CERZOO.

La concentrazione dell'ammonio è generalmente risultata piuttosto contenuta, con valori raramente superiori agli 8-10 mg/kg e solo limitatamente al mais, per lo più in concomitanza delle fertirrigazioni con solfato di ammonio, ovvero a seguito delle fertilizzazioni con urea sul settore ASP. Per entrambi gli anni, la soia, invece ha mostrato una sostanziale omogeneità nell'andamento del contenuto in azoto ammoniacale su entrambi gli strati di suolo, con valori medi non superiori ai 5 mg/kg, verosimilmente a causa dell'assenza di fertilizzazioni.

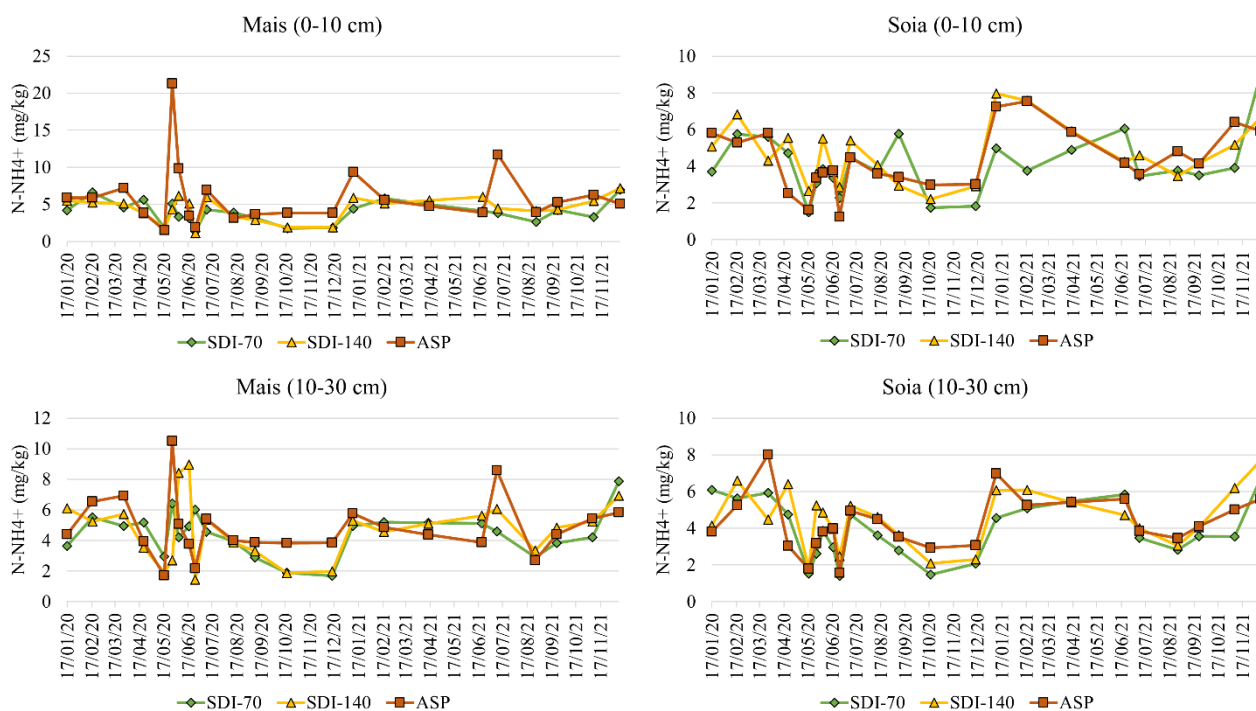


Figura 18. Andamento del tenore dell'azoto ammoniacale nel terreno (0-10 e 10-30 cm) per mais e soia negli anni 2020-2021 presso l'azienda CERZOO.

Parallelamente al monitoraggio del contenuto ammoniacale e nitrico del suolo, è stata valutata la concentrazione anche nella soluzione circolante del terreno tramite delle coppe porose a suzione (Figura 19).

In generale le concentrazioni possono essere valutate come basse, non avendo quasi mai superato la soglia dei 10 mg/l  $N-NO_3^-$  (solo su mais ASP e SDI-140 il 10/07 e il 23/09/2021, rispettivamente): questo fatto può essere messo in relazione con il tipo di azoto dei fertilizzanti impiegati su SDI e ASP (solfato di ammonio e urea, rispettivamente) che, unitamente all'elevato contenuto idrico del suolo monitorato nel corso della sperimentazione - e quindi ad un'attività tendenzialmente riducente -, nonché all'elevata CSC conferita dall'alto tenore in argilla e sostanza organica del terreno, possono essere rimasti a lungo adsorbiti sulle argille in forma ammoniacale, prima di subire una nitrificazione, riducendo così il potenziale di lisciviazione in forma di nitrato.

Inoltre, il frazionamento ottenuto mediante fertirrigazione, nonché l'impiego di *cover crop* durante il periodo invernale, in grado di assorbire l'azoto nitrico a rischio di lisciviazione, possono essere stati ulteriori fattori in grado di contenere la concentrazione di azoto nitrico nella soluzione circolante del suolo.

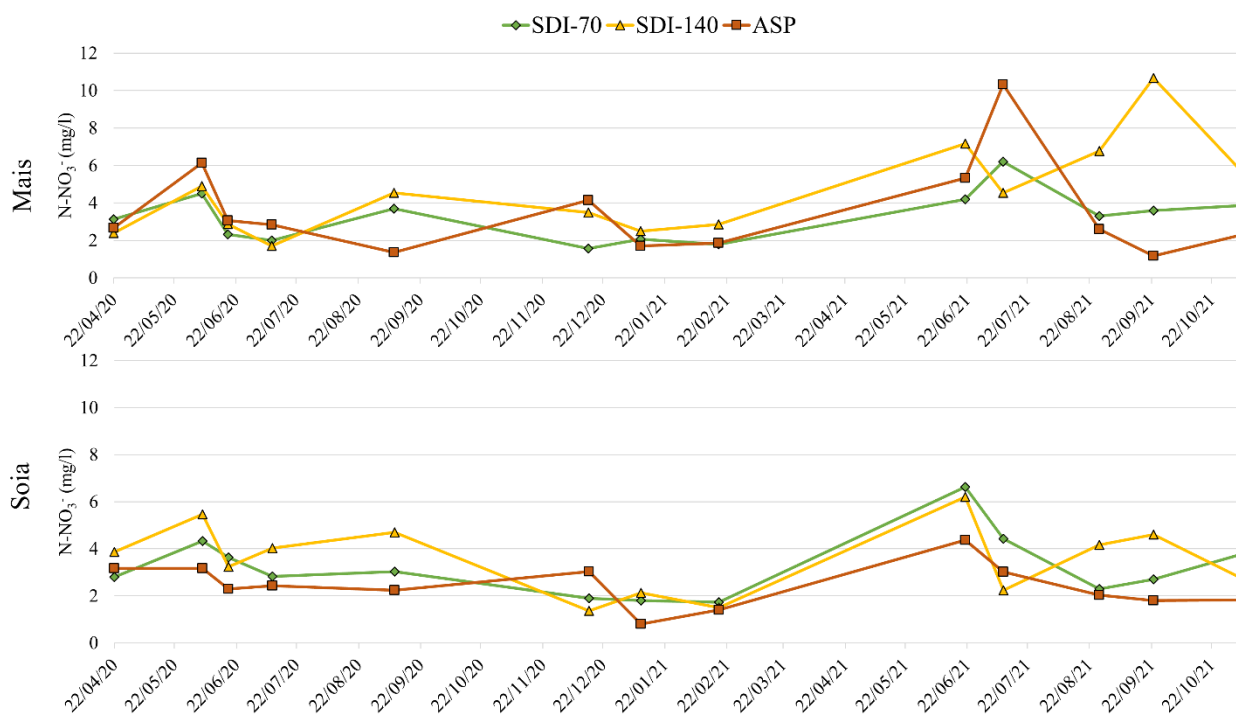


Figura 19. Andamento della concentrazione di azoto nitrico nella soluzione circolante del terreno per l'azienda CERZOO.

### 3.2 Azienda RGR

Il digestato impiegato per la fertirrigazione è stato ottenuto attraverso un trattamento con separatore solido-liquido orizzontale a vite elicoidale, seguito da microfiltro applicato alla fase chiarificata (vedi Azione n. 1).

	Sorgo primo raccolto			Sorgo secondo raccolto su ricaccio		
	Settore acqua +digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale	Settore acqua+digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale
Ore irrigazione	33	35	3	10	12	0

Turni irrigui	4	4	1	1	1	-
(di cui con digestato)	3	(-)	(-)	1	(-)	(-)
Acqua distribuita(mm)	84	68	30	39	42	0
Digestato iniettato m <sup>3</sup> /ha	30	0	0	6	0	-
Azoto nel digestato microfiltrato(kg/m <sup>3</sup> )	3,75	-	-	3,75	-	-
Azoto totale distribuito in fertirrigazione(kg/ha)	111	-	-	24	-	-
Azoto totale distribuito come urea(kg/ha)	14,8	106,8	79	0	26	0

Tabella 22. Irrigazioni e fertilizzazioni effettuate su sorgo in primo raccolto e sorgo secondo raccolto (su ricaccio del 1°raccolto), anno 2020

	Erbaio misto autunno-primaverile			Mais in seconda coltura		
	Settore acqua+digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale	Settore acqua+digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale
Ore irrigazione	0	0	0	92	92	12
Turni irrigui	0	0	0	9	9	4
(di cui con digestato)	0	(-)	(-)	6	(-)	(-)
Acqua distribuita(mm)	0	0	0	198	202	120
Digestato iniettato m <sup>3</sup> /ha	0	0	0	75	-	-
Azoto nel digestato microfiltrato(kg/m <sup>3</sup> )	0	-	-	3,69	-	-



Azoto totale distribuito in fertirrigazione(kg/ha)	0	0	0	277	-	-
Azoto totale distribuito come urea(kg/ha)	78	78	78	-	276	213

Tabella 23. Irrigazioni e fertilizzazioni effettuate su erbaio misto autunno-primaverile e mais in seconda coltura, anno 2021

	Segale autunno-primaverile			Mais in seconda coltura		
	Settore acqua+digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale	Settore acqua+digestato	Settore acqua+urea	Convenzionale
Ore irrigazione	0	0	0	87	91	12
Turni irrigui	0	0	0	9	8	4
(di cui con digestato)	0	(-)	(-)	4	(-)	(-)
Acqua distribuita(mm)	0	0	0	188	196	120
Digestato iniettato m <sup>3</sup> /ha	0	0	0	49	-	
Azoto nel digestato microfiltrato(kg/m <sup>3</sup> )	0	-	-	3,63	-	
Azoto totale distribuito in fertirrigazione(kg/ha)	0	0	0	180	-	-
Azoto totale distribuito come urea(kg/ha)	49	49	56	-	171	91

Tabella 24. Irrigazioni e fertilizzazioni effettuate su segale e mais in seconda coltura, anno 2022

### 3.3 Azienda Leona

Anche in questo caso il digestato impiegato per la fertirrigazione è stato ottenuto attraverso un trattamento con separatore solido-liquido orizzontale a vite elicoidale, seguito da microfiltro applicato alla fase chiarificata. La frazione microfiltrata risulta adeguata all'impiego in fertirrigazione in quanto non contiene particelle di dimensioni superiori al decimo di millimetro (0,1 mm) e quindi non si rischiano intasamenti degli ugelli spruzzatori del rainger.

Nel trattamento convenzionale con urea la concimazione è stata effettuata il giorno 19 maggio con 200 kg/ha (equivalenti a 92 kg di azoto per ettaro).

Il digestato microfiltrato è invece stato distribuito nel corso di due interventi irrigui del 3 e 10 giugno 2021.

Il 03 giugno sono state distribuite sulla superficie di circa 1 ettaro (500 m di lunghezza ranger x 20 m di percorrenza) 4,8 tonnellate di microfiltrato, corrispondenti a 36 kg N/ha. Questo è stato diluito in una miscela composta in carbotte, con circa 1 parte di microfiltrato ogni 2 parti di acqua, con lo scopo di ridurre il tenore sostanza secca residua, piuttosto elevata (7,8%), e la viscosità del digestato microfiltrato (vedi risultati Azione 1).

Il 10 giugno 2021 sulla stessa superficie sono state distribuite 11,2 t di microfiltrato, sottoforma di una miscela composta in carbotte con 11 parti di microfiltrato ogni 9 di acqua, per le stesse motivazioni di cui all'intervento precedente. Nel corso di questo intervento è stata campionata anche la miscela di acqua e digestato distribuita dal ranger sul mais, per verificare il grado complessivo di diluizione del digestato microfiltrato che è risultato di circa 1:9 in acqua irrigua.

		Digestato microfiltrato	Acqua irrigua	Miscela acqua e microfiltrato
pH	-		8,2	8,4
Solidi Totali o Sostanza Secca	g/kg	78,9	0,6	8,2
Solidi Sospesi Totali	g/l	58,6	0,01	5,7
Azoto totale	mg/kg	7354	6	754
Azoto ammoniacale	mg/kg	3648	NR	400
Azoto nitrico	mg/kg		1	2
Fosforo	mg/kg	883	NR	82
TOC	%ST	44,0		
COD	mg O <sub>2</sub> /l		27	8431
Conducibilità	mS/cm		0,43	4,7

Tabella 25. Caratteristiche del microfiltrato, dell'acqua irrigua e della miscela distribuita al campo

Nei due interventi complessivamente sono stati distribuiti 118 kg di azoto per ettaro, di cui circa 60 in forma ammoniacale pronta all'assorbimento da parte della coltivazione, il resto in forma organica a disponibilità prolungata nel tempo.

Il digestato microfiltrato, trasportato nei pressi della motopompa del rainger per mezzo di un carrobotte (Foto X), è stato 'iniettato' nell'impianto irriguo attraverso un tubo in gomma flessibile in uscita dal carrobotte ed innestato sul tubo metallico di aspirazione dell'acqua dal canale di bonifica, con apertura regolabile attraverso una valvola manuale. In una situazione non sperimentale, il microfiltrato potrebbe essere trasferito dagli stoccaggi all'impianto fertirriguo per mezzo di una condotta dedicata.



*Foto - Operazione di fertirrigazione con acqua e digestato microfiltrato, attraverso sistema di irrigazione lineare ad ali traslanti (rainger)*

Gli interventi di irrigazione col rainger sono stati 8, per un apporto complessivo di oltre 150 mm, con i 5 interventi più significativi da metà giugno a metà luglio, e uguali in tutti e due i trattamenti. Si specifica inoltre che tutta la superficie aveva ricevuto 50 t/ha di digestato tal quale, corrispondenti a circa 350 kg N/ha, prima della ripuntatura autunnale.

Per il monitoraggio delle concentrazioni di azoto minerale (ioni nitrato e ammonio) nel suolo, sono stati effettuati campionamenti diretti di terreno alle profondità di 0-30 e 30-60 cm, alle date del 10 maggio (prima delle fertilizzazioni), 23 giugno (dopo le fertilizzazioni) e 18 agosto 2022 (alla raccolta del mais), per i due trattamenti convenzionale con urea granulare e innovativo con digestato microfiltrato in fertirrigazione (tre repliche per ogni campionamento, lungo la larghezza del sito).

La Figure 25 e 26 rappresentano l'andamento delle due specie chimiche nei tre momenti di campionamento e mettono in evidenza sia per l'azoto nitrico che per quello ammoniacale valori generalmente elevati e maggiormente nel trattamento con urea, tranne alla raccolta del mais e alla

profondità di 30-60 cm dove sono risultati maggiori i valori della tesi digestato, in modo più importante per l'azoto ammoniacale. Tali andamenti risultano probabilmente più dovuti alle caratteristiche del suolo che non alle fertilizzazioni effettuate nella stagione di monitoraggio; per nessuna delle due specie chimiche infatti non si notano innalzamenti dei valori tra la date 'prima' e 'dopo' gli interventi di fertilizzazione (10 maggio vs 23 giugno).

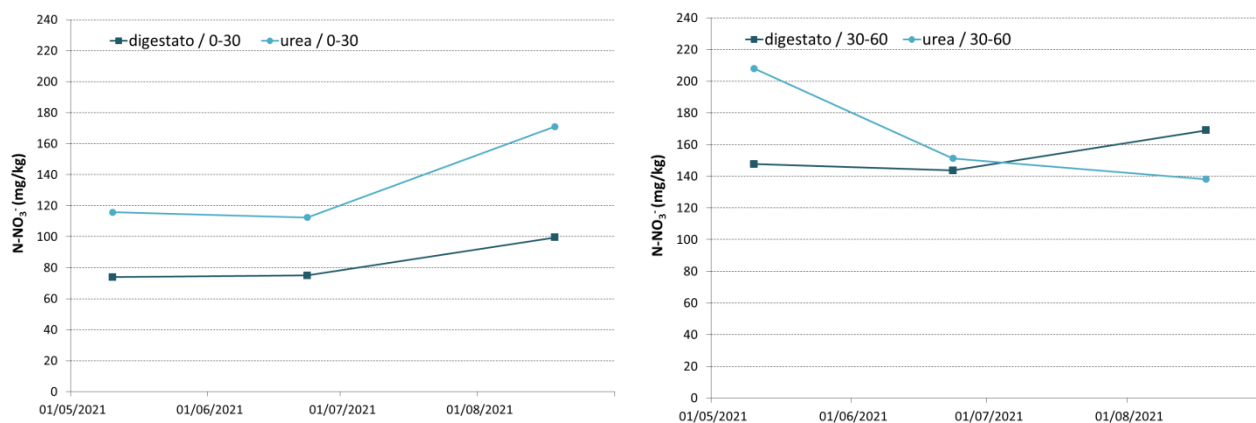


Figura 20. Concentrazioni di azoto nitrico nei terreni nel corso della coltivazione, a due profondità

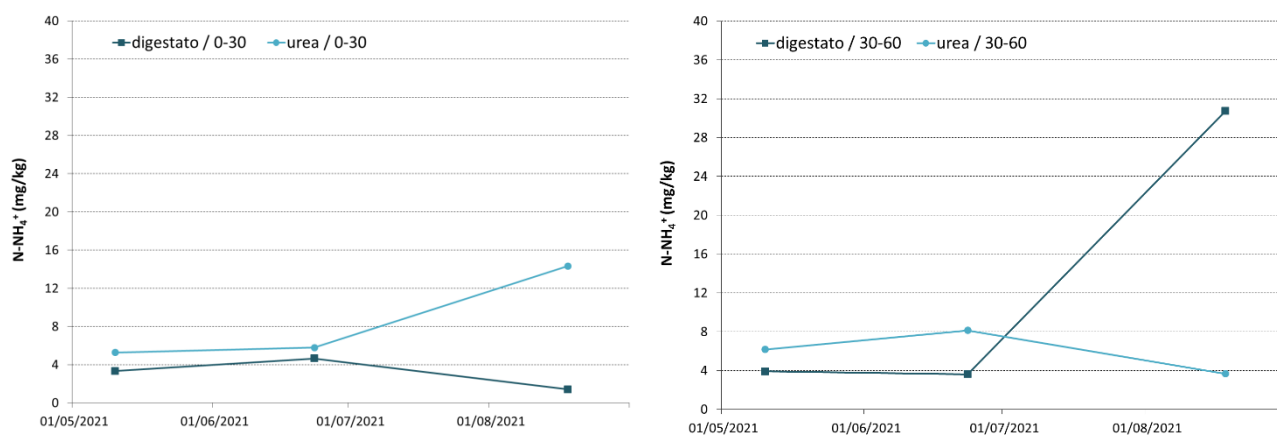


Figura 21. Concentrazioni di azoto ammoniacale nei terreni nel corso della coltivazione, a due profondità

## AZIONE 4 – Analisi della sostenibilità ambientale ed economica

### 4.1. Risultati della valutazione di sostenibilità ambientale

Per l’Azienda Leona si è proceduto al calcolo dell’impronta carbonica delle due gestioni, con urea o digestato microfiltrato, che rappresenta il potenziale di riscaldamento globale associato alle emissioni di gas climalteranti (GHG). L’impatto è stato stimato in kg CO<sub>2</sub> equivalente su ettaro mediante l’analisi del ciclo di vita Life Cycle Assessment (LCA), la quale, in accordo con le norme ISO 14040-44, ha considerato e valutato tutti gli input necessari per la coltivazione di un ettaro di mais (Figura 22).

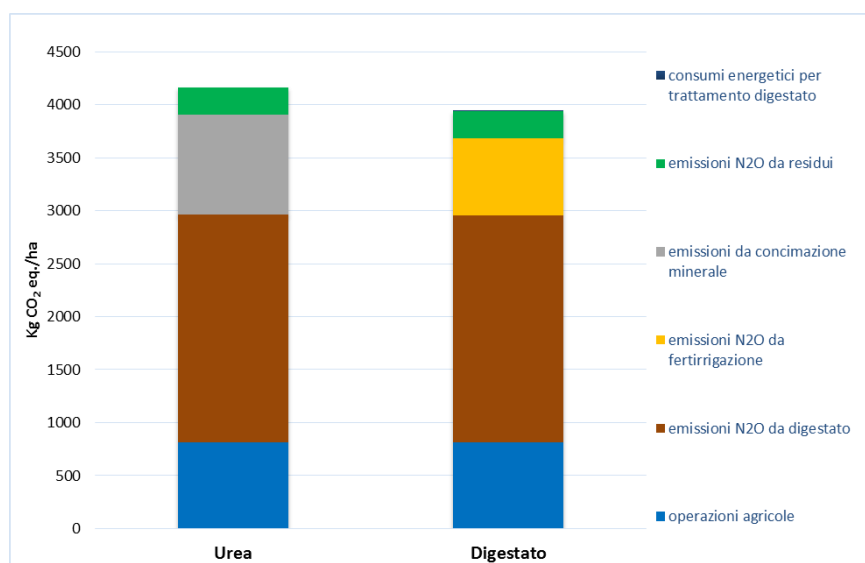


Figura 22. Impronta carbonica dei due trattamenti a confronto, con i rispettivi contributi

I contributi di GHG nel caso di studio esaminato sono le emissioni di protossido di azoto (N<sub>2</sub>O) legate ai processi di nitrificazione-denitrificazione del suolo e allo spandimento del digestato, le emissioni di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) dovute ai consumi energetici per trattare il digestato, alle operazioni agricole e alla produzione di urea.

Tra questi input un ruolo rilevante è rappresentato dalle emissioni derivanti dallo spandimento in fase autunnale del digestato, dalle emissioni della concimazione minerale e della fertilizzazione.

La coltivazione di un ettaro di mais in gestione convenzionale con concimazione in copertura con urea ha generato 4159 kg CO<sub>2</sub> eq./ettaro, mentre la gestione alternativa basata sulla fertilizzazione con digestato microfiltrato ha comportato una riduzione dell’impronta a 3948 kg CO<sub>2</sub> eq./ettaro. I due valori si traducono in 201 e 188 kg CO<sub>2</sub> eq./t di sostanza secca di mais trinciato, rispettivamente per i due trattamenti convenzionale con urea e alternativo col digestato in fertilizzazione.

Queste differenze sono dovute al minor impatto della fertilizzazione col digestato microfiltrato (724 kg CO<sub>2</sub> eq./ha) rispetto alla concimazione minerale (947 kg CO<sub>2</sub> eq./ha) mentre le emissioni legate ai residui colturali, così come quelle delle operazioni agricole, sono simili nelle due gestioni; i

consumi energetici per trattare il digestato (separazione e microfiltrazione) generano un contributo minimo.

Per l'azienda CERZOO sono state monitorate le emissioni da suolo dei principali gas climalteranti ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  e  $\text{CH}_4$ ) lungo il corso del 2020 e del 2021. Sono inoltre stati calcolati i valori cumulati sia in termini assoluti che in forma di  $\text{CO}_2$  equivalenti.

Nel 2020, i principali picchi emissivi di  $\text{N}_2\text{O}$  su mais (Figura 23, alto) sono stati registrati a seguito delle applicazioni di urea o in seguito alle fertirrigazioni; mentre su soia sono stati rilevati successivamente alla terminazione delle *cover crop* e in concomitanza delle irrigazioni (Figura 23, basso).

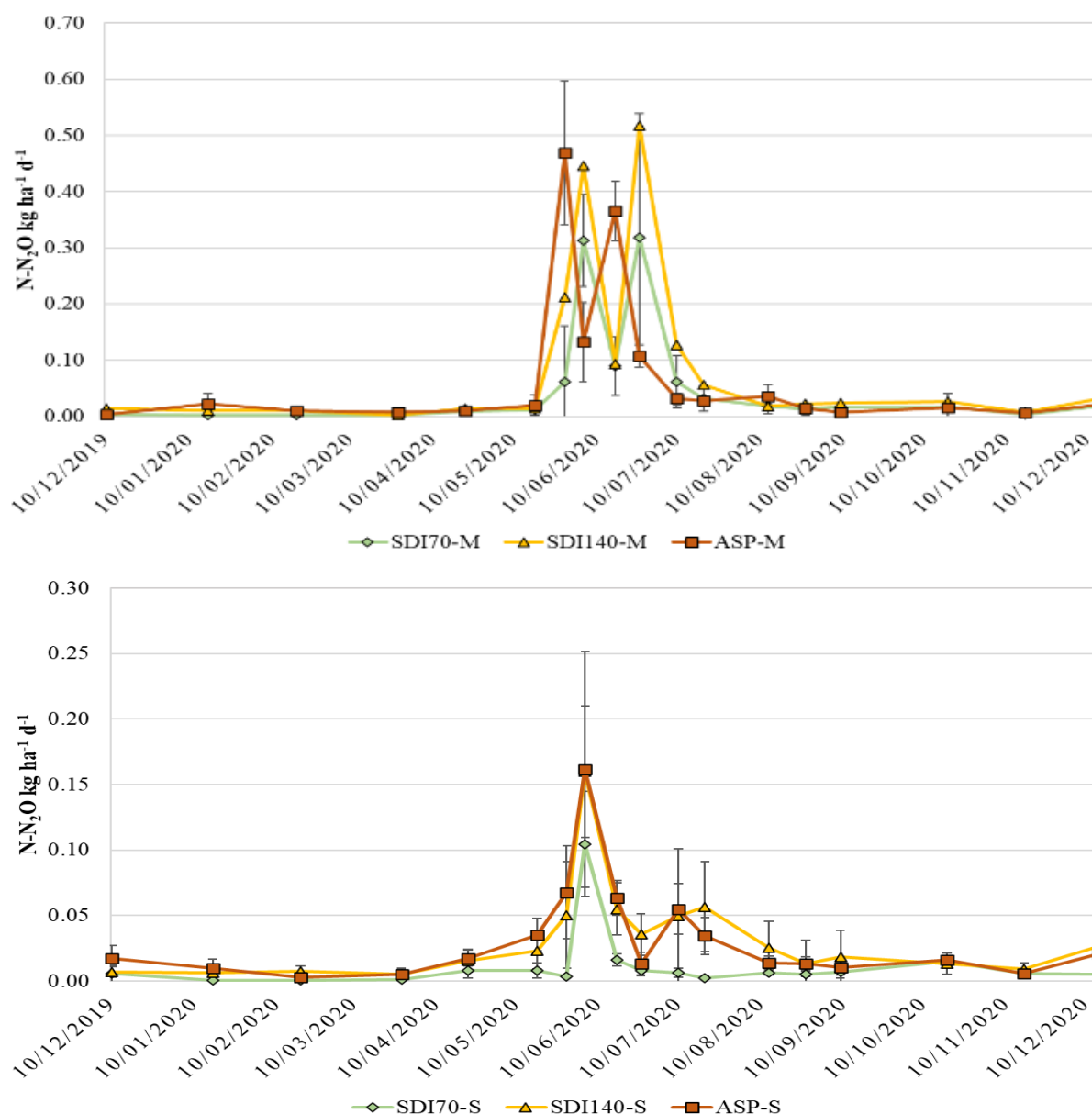


Figura 23. Flussi emissivi di  $\text{N}_2\text{O}$  per mais (alto) e soia (basso) nell'anno 2020, presso l'azienda CERZOO

Per il 2021, invece, le emissioni di  $N_2O$  su mais si sono rivelate più contenute rispetto all'anno precedente (Figura 24, alto).

Le emissioni si sono dimostrate contenute fino al momento della terminazione delle *cover crop* e all'inizio delle irrigazioni e fertirrigazioni (su mais). Anche per la soia (Figura 24, basso) i picchi emissivi hanno principalmente seguito l'andamento delle irrigazioni, benché su scala più contenuta.

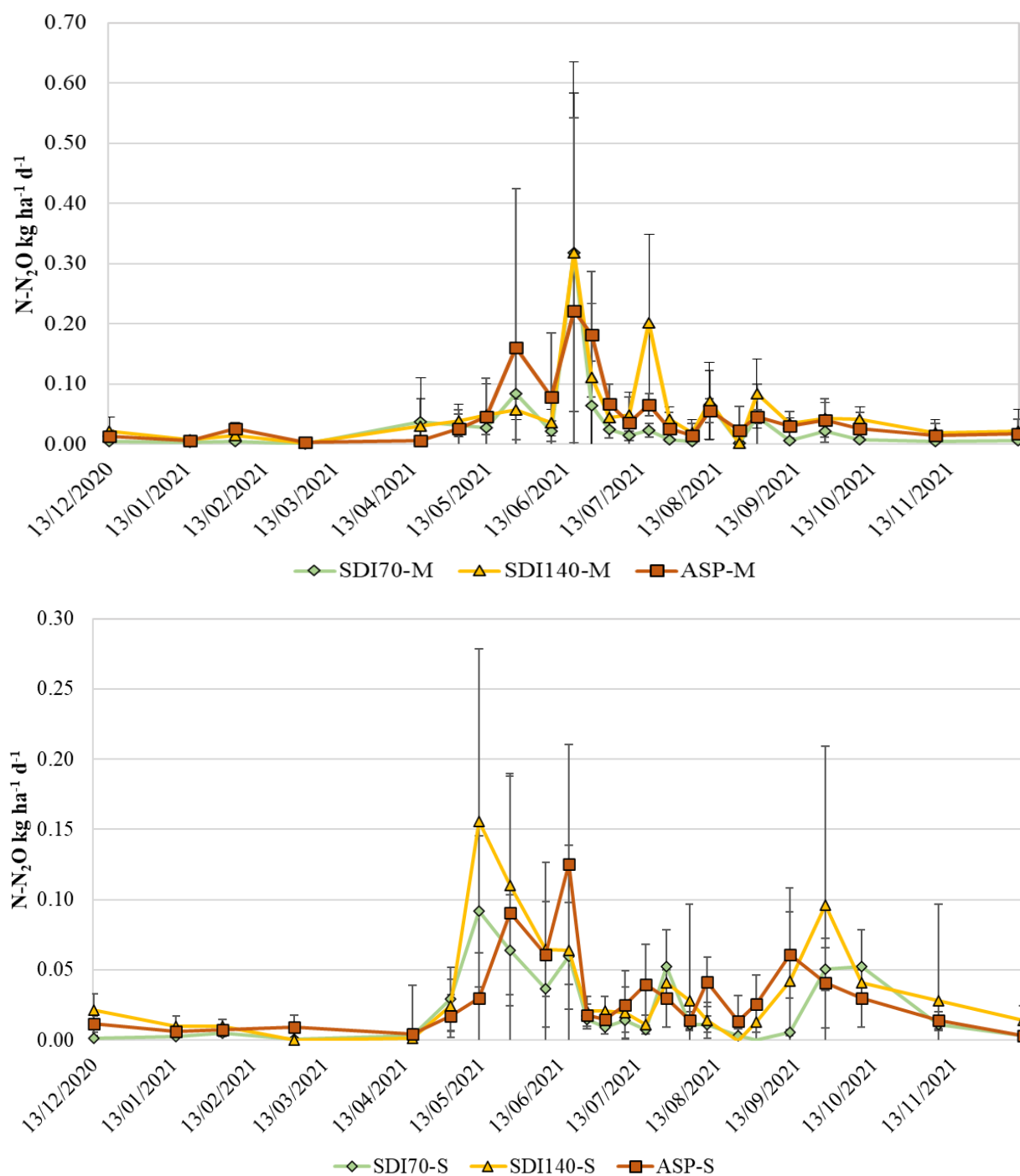


Figura 24. Flussi emissivi di  $N-N_2O$  per mais (alto) e soia (basso) nell'anno 2021, presso l'azienda CERZOO.

Nel complesso le emissioni sono state generalmente contenute da una distanza più ridotta tra le ali gocciolanti (SDI-70), in comparazione all'irrigazione per aspersione (ASP). Questo non si è verificato con un maggiore spaziamento delle manichette: la spaziatura a 140 cm tra le ali gocciolanti può aver infatti accresciuto la disomogeneità di distribuzione dell'azoto minerale, creando degli "hot spots" ad elevata emissività nell'intorno dei fori, a seguito di un'accresciuta attività di denitrificazione.

Nella tabella che segue vengono riportate le emissioni cumulate per i vari gas climalteranti, nonché espresse in termini di resa.

Anno	Coltura	Settore	N <sub>2</sub> O		CO <sub>2</sub>		CH <sub>4</sub>	
			kg N- N <sub>2</sub> O/ha	kg N- N <sub>2</sub> O/t granella	t C- CO <sub>2</sub> /ha	t C- CO <sub>2</sub> /t granella	kg C- CH <sub>4</sub> /ha	kg C- CH <sub>4</sub> /t granella
2020	Mais	SDI-70	12,02	0,82	31,91	2,19	0,20	0,01
		SDI-140	20,08	1,72	44,49	3,80	-0,09	-0,01
		ASP	15,75	1,16	26,14	1,92	-1,10	-0,08
	Soia	SDI-70	3,04	0,92	22,58	6,84	0,74	0,22
		SDI-140	8,38	1,90	31,73	7,21	0,55	0,12
		ASP	7,70	1,75	29,40	6,68	-0,88	-0,20
2021	Mais	SDI-70	8,98	0,85	23,95	2,26	0,13	0,012
		SDI-140	15,49	1,47	34,48	3,27	0,04	0,004
		ASP	13,59	1,00	43,60	3,21	-0,14	-0,010
	Soia	SDI-70	6,69	1,52	18,87	4,29	0,02	0,004
		SDI-140	10,98	2,97	30,88	8,35	-0,01	-0,003
		ASP	9,04	2,05	26,31	5,98	-0,17	-0,038

Tabella 26. Emissioni cumulate tal quali, ovvero espresse in termini di resa (yield-scaled), dei principali GHG (N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>).

In generale si può notare la differenza di scala tra le varie forme di emissione: il metano ha mostrato dei valori abbastanza contenuti, o addirittura negativi: in particolare le tesi irrigate per aspersione hanno dimostrato una maggiore capacità ossidativa di questo gas.



La CO<sub>2</sub>, d'altro canto, ha mediamente contribuito per più del 90% alla somma delle varie frazioni, andando ad incidere considerevolmente sul bilancio finale in termini di CO<sub>2</sub> equivalenti (Figura 25).

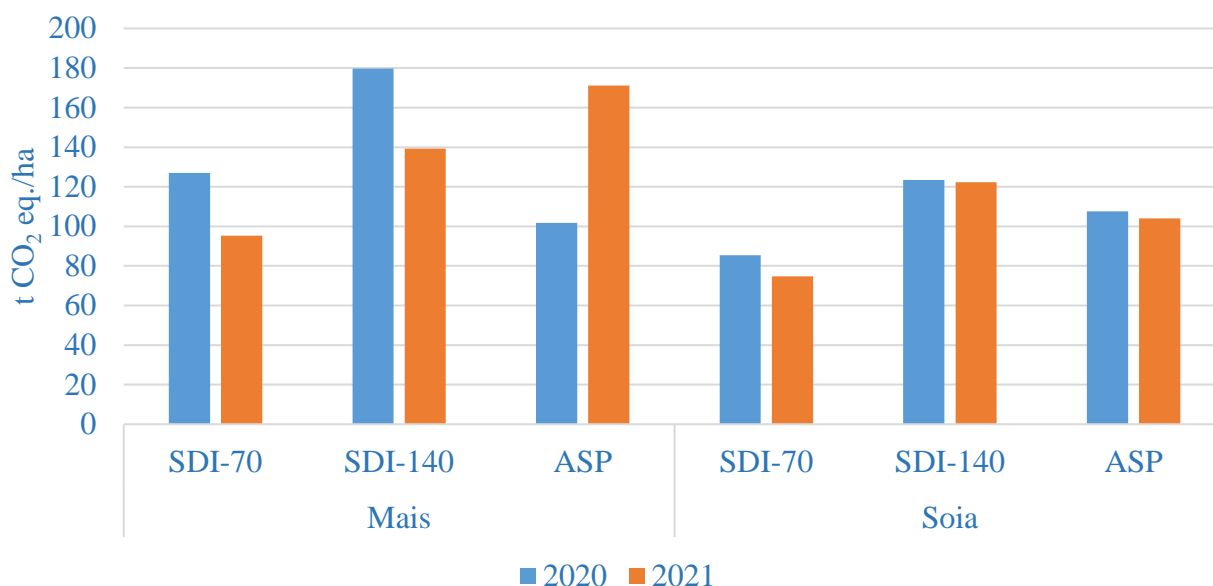


Figura 25. - Emissioni cumulative di CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> espresse in termini di CO<sub>2</sub> equivalenti per il 2020 e il 2021.

Dal grafico si può ricavare una notevole stabilità interannuale delle emissioni per la coltura di soia, mentre per il mais sono stati rilevati cambiamenti più pronunciati: in questo caso, l'effetto delle concimazioni - non effettuate su soia - può aver accentuato tali cambiamenti. Nello specifico, mentre l'SDI sembra aver causato emissioni più alte nel 2020; al contrario, il settore ASP ha visto un incremento. A tal proposito, la molto maggiore produzione di biomassa da parte delle *cover crop* (e conseguente restituzione di carbonio) nel 2021 su questo settore rispetto al 2020 - 4,71 t/ha e 0,95 t/ha, rispettivamente (vedi sezione 2) - può aver spinto l'attività di respirazione microbica nel suolo, favorita oltretutto dalla fertilizzazione con urea che può aver ridotto il rapporto C/N del residuo colturale e dalle irrigazioni per aspersione.

Nel corso del 2020 il mais su SDI-70 e ASP ha prodotto di più rispetto al settore SDI-140 (+25% e +16%, rispettivamente)

Benché più contenute rispetto all'anno precedente, le produzioni di granella di mais su SDI nel 2021 sono state generalmente superiori rispetto all'irrigazione per aspersione (+20%), così come l'efficienza d'uso dell'azoto (NUE). La produzione di biomassa totale è risultata inferiore per SDI-140 rispetto a SDI-70 nel 2020, mentre tale discrepanza è risultata molto minore nell'anno seguente. Come per la granella, poi anche la produzione di biomassa totale in SDI-70 e ASP è risultata superiore nel 2020, rispetto al 2021.

Le maggiori rese in granella e NUE su SDI, rispetto ad ASP, portano quindi a considerare favorevolmente questa tecnica nel verso di un ottimizzato sfruttamento della risorsa azoto, se non altro per la coltura di mais.

D'altro lato, le rese in granella della soia e la relativa NUE non sono state influenzate né dall'anno, né dalla tipologia di irrigazione e questo può essere in parte dovuto alle minori esigenze idriche (-9-12%) rispetto al mais, fatto che limita l'importanza dell'adozione di tecniche ad alta efficienza irrigua.

Le asportazioni di fosforo sono risultate essere mediamente simili in tutte le tesi, di conseguenza non sembra esserci un effetto significativo da parte delle diverse tipologie di irrigazione.

Anno	Coltura	Settore	Produzione di granella (t/ha ss)	Produzione di biomassa totale (t/ha ss)	Asportazioni N granella (kg/ha)	Asportazioni N totali (kg/ha)	NUE (kg granella/kg N)	Asportazioni P granella (kg/ha)	Asportazioni P totali (kg/ha)
2020	Mais	SDI-70	14,6	26,3	197	306	31,9	42,9	44,4
		SDI-140	11,7	22,6	178	284	25,6	38,0	39,4
		ASP	13,6	26,4	189	292	32,5	40,4	45,5
	Soia	SDI-70	3,3	10,0	219	256	21,0	24,0	38,8
		SDI-140	4,4	11,5	282	321	23,9	27,7	34,7
		ASP	4,4	10,7	279	320	32,4	25,8	29,4

2021	Mais	SDI-70	10,7	18,7	115	162	28,8	20,5	33,3
		SDI-140	10,7	19,8	139	221	22,4	17,6	33,4
		ASP	8,9	20,5	133	243	21,0	20,4	35,8
	Soia	SDI-70	3,0	9,5	180	215	30,5	22,5	28,8
		SDI-140	3,2	10,1	204	239	19,9	22,0	27,8
		ASP	3,4	11,0	211	258	26,5	22,3	31,2

Tabella 27. Produzioni vegetali e asportazioni di nutrienti ottenute presso il sito CERZOO

La sostenibilità ambientale delle tesi testate nell'ambito del GO è stata determinata mediante la quantificazione dell'impronta carbonica (Carbon Footprint, CFP) applicando la metodologia LCA (Life Cycle Assessment). In particolare, con il termine "*Carbon Footprint*" si identifica la stima di tutti i potenziali gas serra (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) emessi da un prodotto o da un sistema di prodotto durante tutto il suo ciclo di vita.

Per valutare il beneficio indotto da una gestione innovativa del terreno l'impronta carbonica è stata calcolata e confrontata sia sui terreni gestiti in modo convenzionale sia su quelli dove vengono sperimentate le agrotecniche innovative.

#### Unità funzionale

Considerando gli obiettivi del piano gli impatti sono stati stimati quantificando le emissioni di gas serra in kg di CO<sub>2</sub> equivalente per la produzione di una tonnellata di sostanza secca di prodotto.

#### Confini del sistema

I "confini del sistema" hanno riguardato nello specifico la fase di coltivazione, per cui si sono considerati tutti gli input fino ad ottenere il prodotto in tonnellata di sostanza secca.

Nello specifico sono state quindi raccolte una serie di informazioni relative alle rotazioni presenti e alle relative superfici: produttività delle colture, lavorazioni effettuate e macchine agricole utilizzate, consumi idrici, consumi energetici, tipo e quantità di fertilizzanti di sintesi e di effluenti di allevamento applicati, tipo e quantità di agrofarmaci e di sementi utilizzati.

In particolare nei confini del sistema sono stati inclusi i seguenti input/output:

La produzione dei mezzi tecnici impiegati in campagna (sementi, fertilizzanti, diserbanti, fitofarmaci, carburanti).

Consumi energetici per produrre i fertilizzanti rinnovabili (digestato microfiltrato e solfato ammonico da strippaggio).

La coltivazione dei foraggi e delle materie prime autoprodotti in azienda, includendo gli impatti dovuti alla produzione e applicazione dei fertilizzanti, alla utilizzazione agronomica dei digestati, alla produzione e consumo di carburanti per le operazioni meccaniche eseguite in azienda relativamente a: lavorazioni del terreno, semina, distribuzione di fertilizzanti, eventuali trattamenti diserbanti e fitosanitari, irrigazione, eventuali operazioni di fienagione e raccolta del prodotto.

Le emissioni dirette di N<sub>2</sub>O dalle fertilizzazioni sono state stimate con la metodologia IPCC 2019 Refinement to the 2006, che considera le emissioni dirette di N-N<sub>2</sub>O pari a 1% dell'azoto distribuito con i fertilizzanti organici e minerali e riportato al suolo dai residui colturali.

Le emissioni indirette di N<sub>2</sub>O dalle fertilizzazioni sono state stimate utilizzando la metodologia IPCC 2019 Refinement to the 2006, che considera le emissioni indirette di N-N<sub>2</sub>O pari a 1% delle perdite di N sotto forma di emissioni di NH<sub>3</sub>+NO, dovute ai fertilizzanti azotati applicati (sia minerali che organici), e pari a 1.1% delle perdite di N sotto forma di rilasci azotati come percolazione +

ruscellamento. In base ai fattori di emissione dell'IPCC 2019 Refinement to the 2006, le emissioni NH<sub>3</sub>+NO rappresentano l'11% dell'azoto applicato con i fertilizzanti sintetici e il 24% di quello applicato con i fertilizzanti organici, le emissioni di N sotto forma di nitrati per percolazione + ruscellamento sono stimate pari al 4% di N applicato.

I kg di CO<sub>2</sub> equivalente sequestrati dall'atmosfera e stoccati nel terreno sono stati quantificati utilizzando i risultati analitici effettuati sui campioni di terreno. La differenza del contenuto di carbonio in t dei campioni prelevati all'inizio e alla fine del progetto è stata convertita in kg di CO<sub>2</sub> equivalente moltiplicando la quantità di C per il fattore 3.67, dato dal rapporto tra le masse molari di CO<sub>2</sub> e C pari a  $44/12 = 3,67$ . Quando non è stato possibile disporre di campioni del terreno, si è fatto ricorso alla metodologia Tier 1 dell'IPCC 2019 Refinement to the 2006, che riporta fattori di stoccaggio di carbonio collegati al cambiamento di utilizzo del suolo (F<sub>LU</sub>), alle pratiche agricole (F<sub>MG</sub>) e alle fertilizzazioni (F<sub>I</sub>) che variano a seconda delle condizioni climatiche.

La categorizzazione dei risultati per fasi emissive rilevanti nella gestione agronomica dei terreni è schematizzata come segue.

Descrizione delle fonti di impatto considerate nel calcolo della impronta del carbonio della tonnellata di sostanza secca prodotta dai terreni gestiti sia in modo convenzionale che innovativo

Operazioni agricole	Emissioni di CO <sub>2</sub> per l'utilizzo dei combustibili delle macchine agricole per le operazioni colturali (lavorazioni terreno, semina, fertilizzazioni, diserbi, trattamenti fitosanitari, sfalci, raccolta prodotto).
Irrigazione	Emissioni di CO <sub>2</sub> per l'utilizzo dei combustibili delle macchine agricole impiegate esclusivamente nella fase di irrigazione.
Fertilizzazione	Emissioni di N <sub>2</sub> O a seguito della fertilizzazione azotata delle colture, sia con i fertilizzanti sintetici (urea) per le tesi che prevedono la gestione convenzionale del terreno sia con i fertilizzanti rinnovabili (digestato microfiltrato e solfato ammonico da strippaggio) per le tesi che prevedono la prova di agrotecniche innovative.  Emissioni di CO <sub>2</sub> eq per la produzione dei fertilizzanti sintetici (urea).  Emissioni di CO <sub>2</sub> dovuto ai consumi energetici per produrre i fertilizzanti rinnovabili (digestato microfiltrato e solfato ammonico da strippaggio).
Trattamenti/semi	Emissioni di CO <sub>2</sub> per la produzione di semi, erbicidi, pesticidi e diserbanti.

Residui colturali	Emissioni di N <sub>2</sub> O dovute alla presenza di residui colturali in campo
Sequestro di carbonio	Sequestro di CO <sub>2</sub> nel suolo dovuto all'attuazione di tecniche di lavorazioni conservative (no tillage, minimum tillage e/o copertura del terreno con cover crops).

### Azienda Cerzoo

Nell'azienda Cerzoo sono stati sperimentati nell'arco di due annate agrarie diverse agrotecniche innovative, dall'agricoltura conservativa alle tecniche di irrigazione e fertilizzazioni innovative.

La subirrigazione con ali gocciolanti a distanza di 70 e 140 cm (SDI 70 e SDI 140) unitamente alla fertilizzazione mediante solfato ammonico da strippaggio è stata confrontata con tecniche irrigue e concimazioni convenzionali, ovvero irrigazione per aspersione mediante semovente (ASP) e concimazione minerale con urea. In entrambe le tesi sono stati coltivati mais e soia utilizzando l'approccio dell'agricoltura conservativa, ovvero senza lavorare il terreno (no-tillage) e mantenendo il suolo coperto durante tutto il periodo di sperimentazione attraverso l'utilizzo di cover crops tra una coltura e l'altra. I risultati dell'impatto ambientale delle tesi sperimentate è riportato nella figura sottostante (Figura 26).

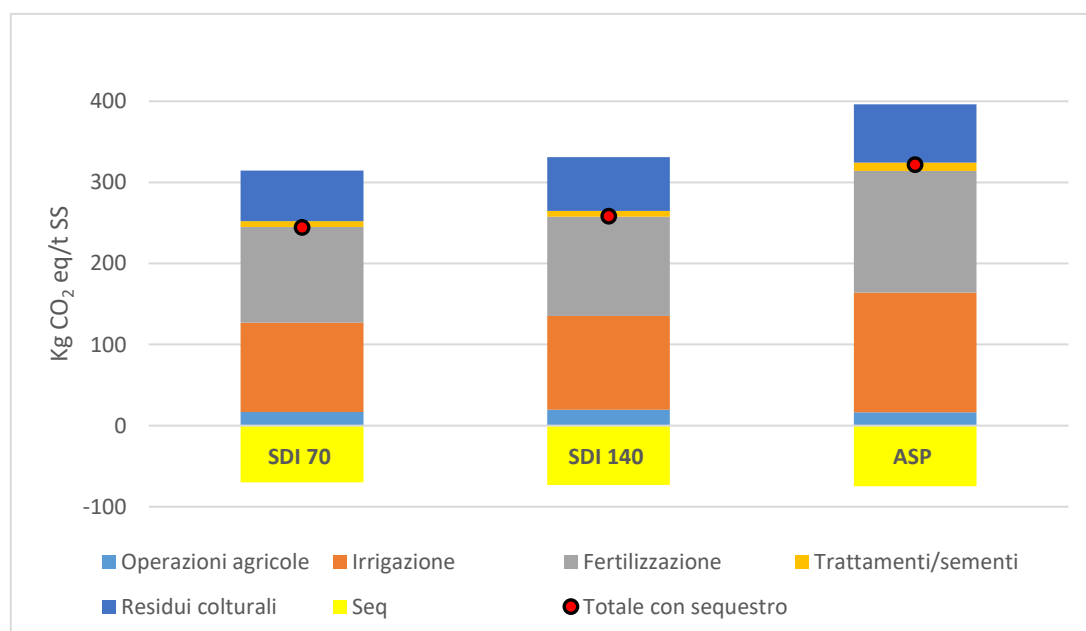


Figura 26. Risultati dell'Impronta Carbonica delle tesi sperimentate nell'azienda Cerzoo

L'impiego dell'agricoltura conservativa permette lo stoccaggio di 73 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS in media per le tre tesi esaminate, riducendo l'impronta carbonica nella tesi SDI 70 da 314 a 244 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS, in quella SDI 140 da 331 a 258 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS e nella tesi con aspersione (ASP) da 396 a 322 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS.

Le agrotecniche innovative sperimentate nell'azienda Cerzoo risultano più sostenibili delle tecniche di irrigazione e fertilizzazione convenzionali, con un'impronta carbonica media nelle due tesi SDI di 251 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS rispetto ai 322 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS prodotti dalla tesi ASP.

Questo risultato viene raggiunto grazie ad un minore impatto della fertilizzazione, prima voce d'impatto, dovuto al risparmio di emissioni per l'impiego di fertilizzante rinnovabile in sostituzione all'urea e ad un minor quantitativo di azoto applicato, fattori che insieme determinano meno emissioni di N<sub>2</sub>O nelle tesi innovative (SDI 70 e 140) rispetto al controllo (ASP). Dai dati raccolti emerge infatti che nonostante vengano applicati 255 kg N/ha nei terreni con sub-irrigazione rispetto 290 kg N/ha distribuiti sui terreni gestiti in modo convenzionale, la resa media dei terreni sperimentali è maggiore del controllo (16.19 t SS/ha rispetto 15.48 t SS/ha per il complesso della rotazione mais+soia da granella). La maggiore resa, oltre a fornirci indicazioni sulle efficienze dei sistemi di fertilizzazione e irrigazione, è un fattore chiave nel determinare il minor impatto ambientale delle agrotecniche innovative, in quanto le tonnellate di sostanza secca prodotta rappresentano l'unità di misura sulla quale vengono distribuite le emissioni di gas serra.

Anche per l'azienda Cerzoo l'impatto ambientale per produrre il fertilizzante rinnovabile risulta minore rispetto al concime minerale di sintesi: la produzione dell'urea apporta il 27% delle emissioni totali dalla fertilizzazione mentre i consumi energetici per lo strippaggio dell'ammoniaca rappresentano il 23% delle emissioni della fertilizzazione con solfato ammonico.

Un altro fattore che concorre a determinare i risultati dell'analisi LCA è l'irrigazione, che rappresenta la seconda voce di impatto apportando in media il 35% delle emissioni totali del ciclo produttivo. Nei terreni gestiti in modo innovativo viene richiesto un minor quantitativo di acqua su ettaro rispetto ai terreni convenzionali (532 l/ha rispetto a 666 l/ha), dove nonostante la maggiore irrigazione e fertilizzazione si è registrata in media una resa minore.

In base ai risultati ottenuti si può concludere che la subirrigazione, in particolare quella effettuata ad una distanza di interasse di 70 cm, unitamente alla fertirrigazione con solfato ammonico da strippaggio rappresentano le tecniche di coltivazione meno impattanti grazie un utilizzo più efficiente di risorse ed una maggiore resa produttiva.

## Azienda R.G.R

Le prove all'azienda R.G.R hanno riguardato 3 annate agrarie e la produzione delle seguenti colture: sorgo insilato 1° raccolto, sorgo insilato 2° raccolto, erbaio misto, mais 1° raccolto, segale, mais 2° raccolto.

In particolare le agrotecniche innovative sperimentate in questo caso studio hanno previsto la subirrigazione in fertirrigazione con il digestato microfiltrato (“SDI\_digestato.microfiltrato”) e con l'urea disciolta (“SDI\_ureadisciolta”), confrontate con il controllo dove si è applicata l'irrigazione per aspersione unitamente all'urea convenzionale come fertilizzante (“ASP\_ureaconvenzionale”).

Esclusivamente sui terreni dove si è testata una gestione innovativa è stata inoltre applicata un'agricoltura conservativa con l'utilizzo di cover crops e praticando lavorazioni ridotte del terreno (“minimum tillage”).

I risultati dell'analisi LCA per le tre gestioni colturali sono riportati nella figura 27.

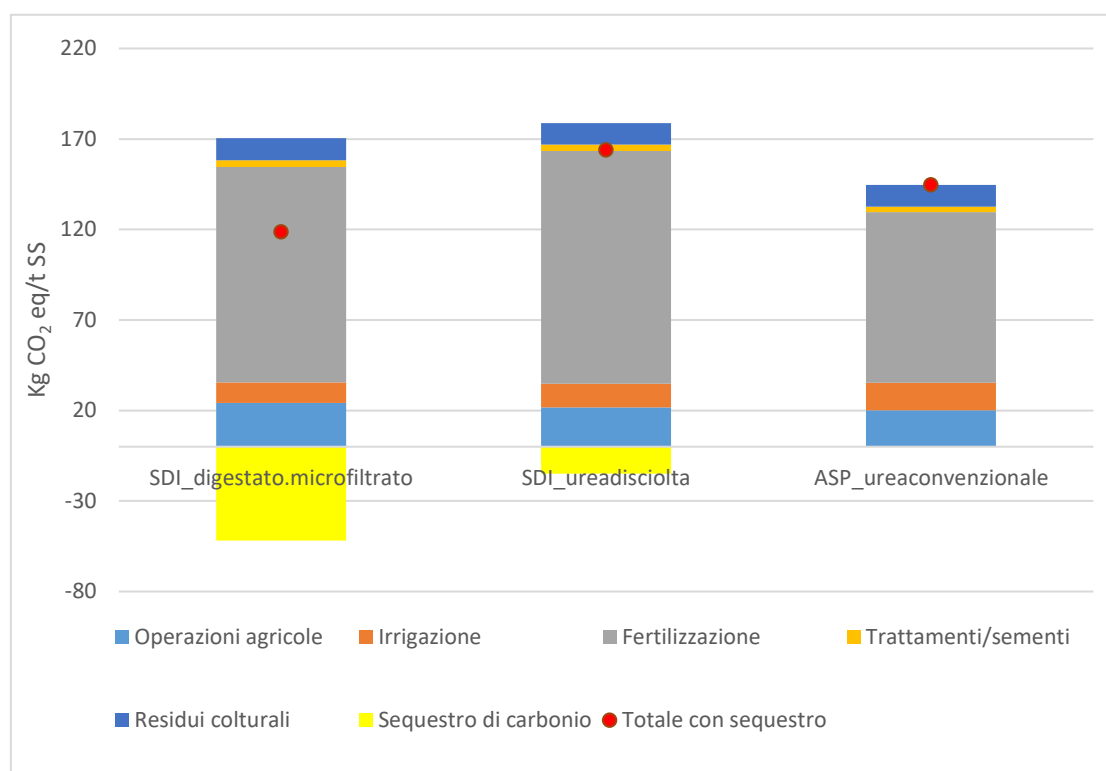


Figura 27. Risultati dell'Impronta Carbonica delle tesi sperimentate nell'azienda RGR



Tenendo conto del sequestro di carbonio dovuto alle minime lavorazioni sui terreni innovativi, la subirrigazione con digestato microfiltrato impatta per 119 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS, la subirrigazione con urea disciolta per 164 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS e l'irrigazione per aspersione con urea per 145 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS. L'agricoltura conservativa si conferma anche in questo caso un'alleata della sostenibilità ambientale, riducendo l'impronta carbonica nelle tesi innovative di 52 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per il SDI\_digestato.microfiltrato e 15 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per SDI\_ureadisciolta.

L'impronta carbonica più alta della subirrigazione con l'urea disciolta è da imputare ad un impatto maggiore della fertilizzazione per l'utilizzo di fertilizzante di sintesi rispetto a quello rinnovabile (digestato microfiltrato) e per lo spandimento di un maggior quantitativo di azoto su ettaro rispetto alla tesi convenzionale (1030 kg N/ha rispetto a 841 kg N/ha). La fertilizzazione, che risulta anche in questo caso la prima voce di impatto dei sistemi agricoli analizzati, emette 119 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per "SDI\_digestato.microfiltrato", 128 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per "SDI\_ureadisciolta" e 94 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per "ASP\_ureaconvvenzionale".

La resa è un altro fattore che concorre a determinare l'impatto maggiore della tesi con urea disciolta; essa è stata quantificata di 58.08 t SS/ha per la tesi SDI con digestato microfiltrato, 59.32 t SS/ha per la tesi SDI con urea disciolta e 66.08 t SS/ha per la tesi ASP con urea convenzionale. Nonostante la resa minore della tesi con sub-irrigazione con digestato microfiltrato, quest'ultima rappresenta comunque la gestione agronomica più sostenibile grazie al vantaggio ambientale ottenuto dal sequestro di carbonio, quantificato attraverso i campioni di terreno.

La minore resa delle tesi innovative è dovuta non tanto all'efficienza delle agrotecniche testate ma a caratteristiche pedoclimatiche del terreno sul quale si è testata la subirrigazione. Il suolo in questione è risultato fin da subito più compatto rispetto al controllo, ostacolando così lo sviluppo delle radici; in aggiunta a questo le condizioni di siccità verificatesi nel periodo della prova hanno inevitabilmente favorito il sistema di irrigazione per aspersione che ha permesso all'acqua di raggiungere la semente con maggior facilità rispetto alle ali interrate.

La fertilizzazione risulta essere la prima voce di impatto, rappresentando il 45% dell'impronta carbonica delle tesi innovative e il 36% del controllo, seguita dalle operazioni colturali e dall'irrigazione.

#### Azienda Leona

L'agrotecnica innovativa testata nell'azienda Leona si è focalizzata sulle tecniche e sui tipi di fertilizzante impiegato nella coltivazione di mais insilato.

In particolare nella tesi innovativa è stata sperimentata la fertirrigazione con digestato microfiltrato, messa a confronto con l'impiego di urea nella tesi convenzionale. In entrambe le gestioni colturali è stato effettuato uno spandimento di digestato tal quale nella stagione autunnale mentre per l'irrigazione/fertirrigazione si è utilizzato il ranger. Le rese di mais insilato sono state di 20.7 t SS/ha nella tesi convenzionale e 21 t SS/ha nella tesi di innovativa.

Oltre agli scenari realmente testati nell'ambito del progetto, è stato considerato uno scenario alternativo ipotetico dove l'operazione di distribuzione di digestato tal quale in autunno sul terreno nudo è stata sostituita con uno spandimento in pre-aratura nella stagione primaverile. Secondo il decreto nazionale per l'utilizzazione agronomica degli effluenti (Decreto Interministeriale n. 5046 del 25 Febbraio 2016), l'utilizzo di digestato proveniente "Da sole biomasse vegetali" distribuito in primavera permette di ottenere un'alta efficienza (55%) rispetto alla efficienza media (41%) ottenuta dalla distribuzione dello stesso prodotto in autunno. Maggior efficienza nell'utilizzo del fertilizzante comporta un minor quantitativo di digestato distribuito, che si traduce perciò in meno azoto applicato su ettaro per soddisfare il medesimo fabbisogno di azoto della coltura.

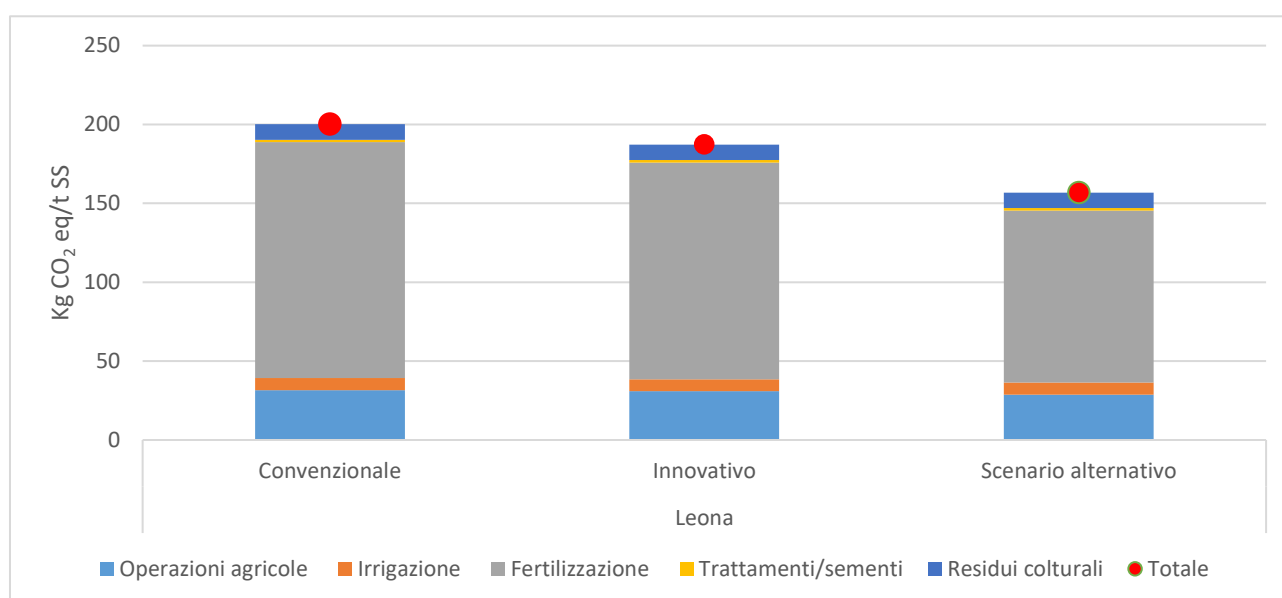


Figura 28. Risultati dell'Impronta Carbonica delle tesi sperimentate nell'azienda Leona

L'impronta carbonica stimata su tonnellata di sostanza secca di mais insilato è stata quantificata di 200 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per la tesi convenzionale, 187 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per la tesi innovativa e 157 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per lo scenario alternativo ipotetico di distribuzione del digestato in primavera.

La fertilizzazione risulta essere la prima voce di impatto in tutte e tre le tesi, apportando mediamente il 72% delle emissioni totali di gas serra, seguita dalle operazioni agricole e dai residui colturali che rappresentano rispettivamente il 17% e il 5% dell'impronta carbonica globale.

Il maggior impatto della coltivazione convenzionale di mais insilato è dovuta proprio alla fertilizzazione con urea, che apporta 149 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS rispetto ai 137 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS emessi dalla fertilizzazione con digestato microfiltrato. L'impiego di fertilizzante rinnovabile come il digestato microfiltrato risulta la scelta ambientale vincente, in quanto vengono evitate le emissioni legate alla produzione del fertilizzante che rappresentano il 27% delle emissioni della voce "Fertilizzazione" mentre il consumo energetico per microfiltrare il digestato costituisce il 5% di questa voce.

Considerando i tre scenari, l'applicazione di digestato microfiltrato unitamente all'utilizzo di digestato in presemina risulta la gestione agronomica più sostenibile, grazie in primo luogo ad un utilizzo più efficiente del digestato primaverile che permette quindi di applicare un minor quantitativo di azoto sul terreno e in secondo luogo grazie all'utilizzo di fertilizzante rinnovabile in sostituzione a quello minerale di sintesi.

#### Compendio LCA

I risultati dell'analisi LCA condotta nelle aziende Leona, Cerzoo e R.G.R. mostrano risultati molto variabili a seconda delle colture impiegate, degli input utilizzati, delle agrotecniche testate e delle condizioni climatiche riscontrate nelle annate delle prove; i valori vanno da un minimo di 119 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS stimato per l'azienda RGR con l'applicazione di sub-irrigazione e fertilizzazione mediante digestato microfiltrato ad un massimo di 322 kg CO<sub>2</sub> eq. /t SS per gli ettari dell'azienda Cerzoo dove è stato irrigato con aspersione e fertilizzato con urea.

In tutte e tre le aziende la fertilizzazione è la fase che impatta maggiormente nella gestione colturale, principalmente a causa delle emissioni di protossido di azoto dovute alla distribuzione di azoto sul terreno, mentre la produzione del fertilizzante incide per meno di un terzo sul totale dell'impatto di questa voce.

La seconda e terza voce di impatto nei casi studio dell'azienda Leona e R.G.R. dove si producono colture da insilamento, sono rispettivamente le operazioni agricole e l'irrigazione. Per Cerzoo invece troviamo al secondo posto l'irrigazione seguita dai residui colturali, dovuto ad un maggior consumo idrico ed una maggiore quantità di residuo lasciato in campo per la produzione di colture da granella rispetto alle produzioni di insilati.

In base ai risultati ottenuti si può concludere che le agrotecniche innovative con l'applicazione di fertilizzante rinnovabile in sostituzione a quello minerale di sintesi e la fertirrigazione in subirrigazione invece dell'irrigazione convenzionale per aspersione risultano più sostenibili rispetto alla gestione convenzionale in tutte le aziende oggetto di studio. Aumentare l'efficienza di utilizzo del fertilizzante, l'applicazione dell'agricoltura conservativa e l'utilizzo di tecniche di coltivazione idonee a far fronte alle sfide del cambiamento climatico in atto risultano azioni chiave per ridurre l'impatto ambientale delle produzioni agricole.

#### *4.2. Risultati della valutazione di sostenibilità economica*

Sono stati valutati costi derivanti dall'introduzione delle innovazioni nelle tre aziende in cui sono state effettuate le prove: Cerzoo, RGR, Leona.

La metodologia adottata per l'analisi economica ha previsto il calcolo del costo delle operazioni colturali svolte negli anni di prova comprensive dei costi delle macchine agricole, che 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 concimi, diserbanti e sementi. I costi di esercizio sono stati calcolati prendendo come riferimento il tempo di utilizzo della macchina, considerando, quindi, costi orari. Per poter confrontare le vari tesi, questi costi sono stati convertiti in costi per ettaro, attraverso la stima delle capacità operative delle macchine.

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

Per il valore di recupero è stato fissato un valore del 20% sul valore a nuovo. La durata delle macchine è stata fissata in 10.

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 3%).

Assicurazioni e ricoveri

Nel calcolo si è adottata un'aliquota dello 1.5% sul valore a nuovo delle macchine.

Manutenzioni e riparazioni

Per le manutenzioni è stata considerata 1 ora di manutenzione ogni 10 ore di utilizzo. Mentre per le riparazioni si è stimata per tutta la vita della macchina una percentuale del 70% sul valore a nuovo. Per la quantificazione del costo orario di manutenzione, limitato alla manodopera è stato applicato il costo orario di 15 €/ora.

Carburanti e lubrificanti

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

$$Q = (0,22 R + 0,096) (1 - (-0,0045 R \text{ Nred} + 0,00877 \text{ Nred})) P_{pdp}$$

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 95%, considerando che dai test effettuati sui motori dei trattori a veicolo fermo la differenza tra la potenza al motore e la potenza alla presa di potenza, a parità di tutti gli altri parametri, è generalmente intorno al 5%)

$$\text{Costo gasolio} = P_m * C_m * C_s * P / 1000$$

Dove

P<sub>m</sub> = potenza motrice (kW)

C<sub>m</sub> = carico motore (%)

C<sub>s</sub> = consumo specifico (g/kWh)

P = prezzo del gasolio agevolato (€/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

$$(\text{kg/h} = \text{kW} * 0.0004956 + 0.01822)$$

Materiali di consumo

Tra i materiali di consumo vanno considerati i concimi, i diserbanti, le sementi. Per questi è stato considerata la quantità utilizzata moltiplicata per il prezzo di mercato.

Azienda RGR

Sono tre le tesi a confronto nelle annate 2020 e 2022:

- Sub-irrigazione con digestato microfiltrato
- Sub-irrigazione con urea disciolta
- Irrigazione per aspersione con urea

Negli anni si sono succedute le seguenti colture: sorgo insilato, sorgo insilato 2° raccolto, erbaio misto, mais 2° raccolto, segale, mais 2° raccolto.

	resa t SS/ha	Costo €/ha	Costo €/t SS
Sub-irrigazione con digestato microfiltrato	58.08	€ 3,917.46	€ 67.45
Sub-irrigazione con urea disciolta	59.32	€ 4,973.62	€ 83.84
Irrigazione per aspersione con urea	66.88	€ 4,960.68	€ 74.17

Tabella 28. Rese e risultati economici

La tesi Sub-irrigazione con digestato microfiltrato è quella che presenta i minori costi sia per sostanza secca che per ettaro, mentre risultano i più elevati i costi della sub-irrigazione con urea disciolta (tabella 1). L'irrigazione per aspersione con urea si pone in posizione intermedia. Nella tesi con aspersione c'è da considerare la maggiore resa in sostanza secca ottenuta che ha di fatto ridotto il costo per unità di prodotto. La probabile causa di questo è dovuto a situazioni di campo particolarmente siccitose che hanno caratterizzato il periodo delle prove, in effetti le irrigazioni di soccorso, effettuate dopo le semine, hanno favorito il sistema ad aspersione in quanto l'acqua ha potuto raggiungere più facilmente la semente rispetto alle ali gocciolate interrate.

Nella tabella 29 e nel grafico sono state scorporate le diverse componenti che concorrono alla formazione del costo per t SS.

Risultati economici per fasi produttive €/t SS	Sub-irrigazione con digestato microfiltrato	Sub-irrigazione con urea disciolta	Irrigazione per aspersione con urea
Operazioni agricole	€ 25.03	€ 27.48	€ 27.35
Irrigazione	€ 17.53	€ 15.65	€ 15.43
Fertirrigazione digestato	€ 2.76	€ -	€ -
Fertilizzante (urea)	€ 5.49	€ 24.43	€ 16.96
Trattamenti/semi	€ 16.63	€ 16.28	€ 14.44
Totale	€ 67.45	€ 83.84	€ 74.17

Tabella 29. Risultati economici per fasi produttive

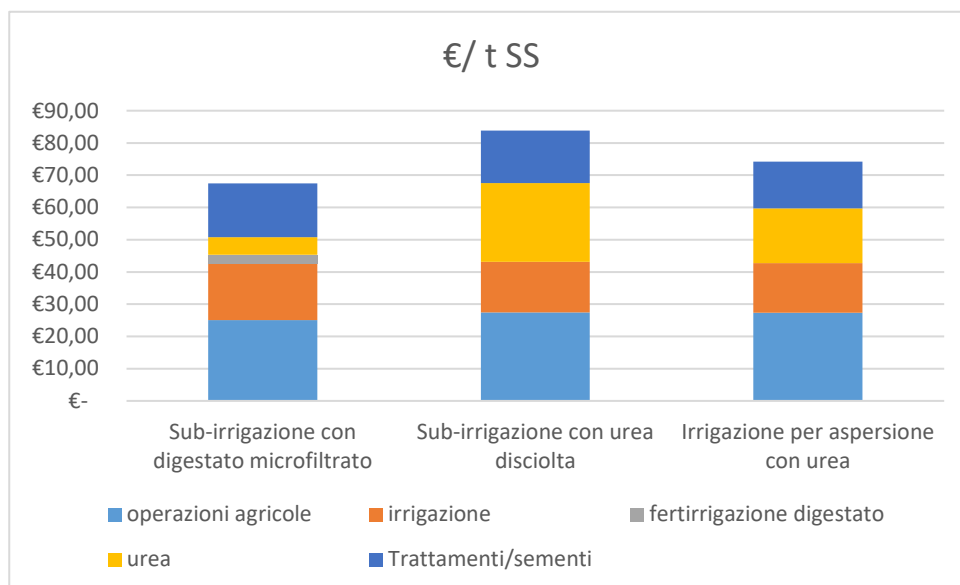


Figura 29. Risultati economici per fasi produttive

Il costo dei mezzi tecnici delle operazioni agricole sono le fasi che maggiormente incidono sui costi. I costi dei fertilizzanti risultano significativamente maggiori nei casi dove vengono utilizzati i concimi di sintesi, mentre risultano contenuti nel caso di utilizzo del digestato microfiltrato. I costi dell'irrigazione sono risultati però leggermente superiori nel caso del Sub-irrigazione con digestato microfiltrato.

### Azienda Cerzoo

Sono state 6 le tesi a confronto nelle annate 2020 e 2021 con rotazioni incrociate di mais e soia e una coltura di copertura permanente del terreno(cover-crop):

- 1 Sub-irrigazione tesi soia-cover crop-mais con ali gocciolanti a 70 cm
- 2 Sub-irrigazione tesi mais-cover crop-soia con ali gocciolanti a 70 cm
- 3 Sub-irrigazione tesi soia-cover crop-mais con ali gocciolanti a 140 cm
- 4 Sub-irrigazione tesi mais cover crop-soia con ali gocciolanti a 140 cm
- 5 Aspersione tesi soia-cover crop-mais
- 6 Aspersione tesi mais-cover crop-soia

Tesi:	Resat t SS/ha	Costo €/ha	Costo SS €/t
1 Sub-irrigazione soia-cover crop-mais con ali a 70 cm	17.86	€ 3,683.38	€ 206.24
2 Sub-irrigazione mais-cover crop-soia con ali a 70 cm	15.22	€ 3,375.88	€ 221.81
3 Sub-irrigazione soia-cover crop-mais con ali a 140 cm	15.38	€ 3,182.74	€ 206.94
4 Sub-irrigazione mais cover crop-soia con ali a 140 cm	16.30	€ 2,926.93	€ 179.57
5 Aspersione soia-cover crop-mais aspersione	17.42	€ 3,885.81	€ 223.07
6 Aspersione mais-cover crop-soia aspersione	13.54	€ 3,830.97	€ 282.94

Tabella 30. Rese e risultati economici

Le tesi con ali gocciolanti sono quelle che presentano i minori costi per tonnellata di sostanza secca prodotta. Di contro le tesi con aspersioni sono quelle economicamente meno vantaggiose. Il maggior divario si è registrato tra tesi 4 Sub-irrigazione tesi mais cover crop-soia con ali gocciolanti a 140 cm e la tesi 6 Sub-irrigazione tesi mais-cover crop-soia aspersione con un differenza di 103,37 € t SS a favore della prima.

La voce di costo che maggiormente incide sul totale è quella relativa alle spese di irrigazione in tutte le tesi, particolarmente evidente nei casi delle tesi con irrigazione per aspersione. Tutte le tesi con con subirrigazione hanno riportato costi inferiori riguardo la fase di irrigazione.

Risultati economici per fasi produttive €/t SS	soia 70 cm	mais 70 cm	soia 140 cm	mais 140 cm	soia asp	mais asp
operazioni agricole	€ 67.54	€ 74.10	€ 49.01	€ 46.25	€ 21.92	€ 30.14
irrigazione	€ 79.26	€ 80.23	€ 88.90	€ 70.32	€ 133.81	€ 157.30
Fertilizzazione	€ 23.31	€ 32.47	€ 27.07	€ 20.47	€ 32.11	€ 44.30
trattamenti/sementi	€ 36.13	€ 35.00	€ 41.96	€ 42.53	€ 35.22	€ 51.20
Totale	€ 206.24	€ 221.81	€ 206.94	€ 179.57	€ 223.07	€ 282.94

Tabella 31. Risultati economici per fasi produttive



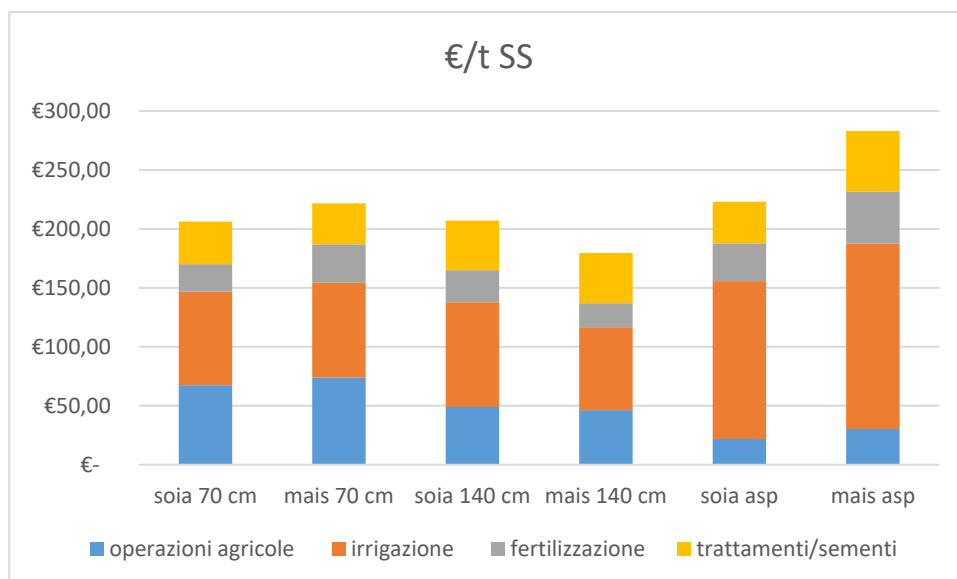


Figura 30. Risultati economici per fasi produttive in €/t SS

## Azienda Leona

Si sono messe a confronto tesi di mais insilato fertilizzato in modo convenzionale con concime minerale contro tesi fertilizzate con e digestato microfiltrato (microfiltro) e digestato separato (separatore solido/liquido) nelle annate 2021. Si sono confrontati i costi del fertilizzante. I costi riguardano l'acquisto del fertilizzante e la produzione del digestato microfiltrato e separato.

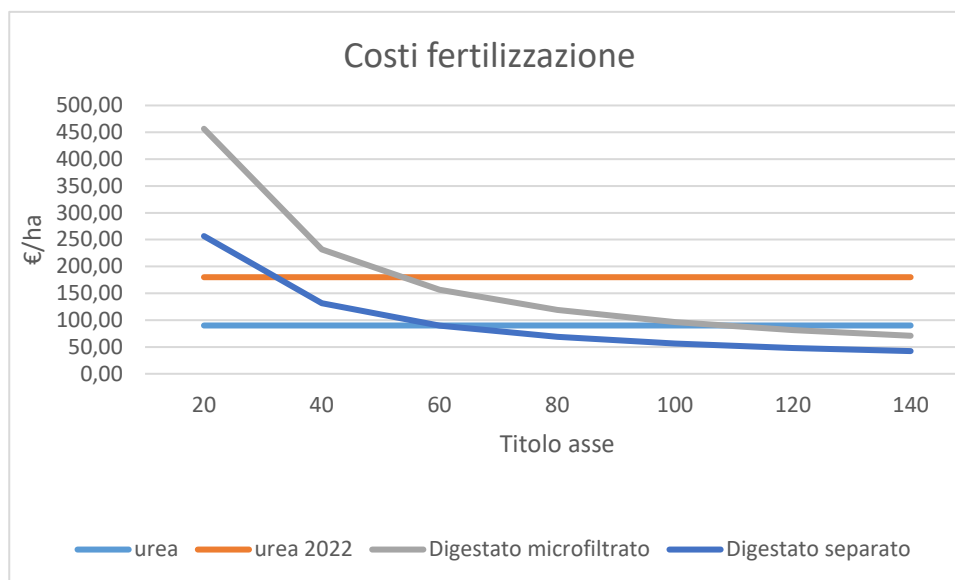


Figura 31. Costi fertilizzante ad ettaro in funzione della superficie fertilizzata

I costi dei prodotti digestati risultano competitivi, rispetto all'urea, se la distribuzione può avvenire su grandi superfici: maggiori di 60 ettari nel caso del digestato separato e di 110 ettari circa nel caso del microfiltrato. Considerando però l'aumento dei costi dell'urea nel 2022, stima da 450 a 900 €/t, la soglia di convenienza, in base alla superficie da fertilizzare, risulta pressoché dimezzata: intorno ai 30 ha per il digestato separato e 60 ha circa per il microfiltrato.

In questo caso però c'è anche da tener conto dei maggiori costi di trasporto. A titolo esemplificativo si riportano le stime dei costi di trasporto del digestato con carbotte per metro cubo di prodotto in funzione dei km percorsi prendendo come riferimento il caso della azienda Leona che ha distribuito 45 t/ha di digestato con carbotte da 20 mc. Il costo varia da 0,4 a 2,2 circa €/mc passando tra 3 a 15 km.

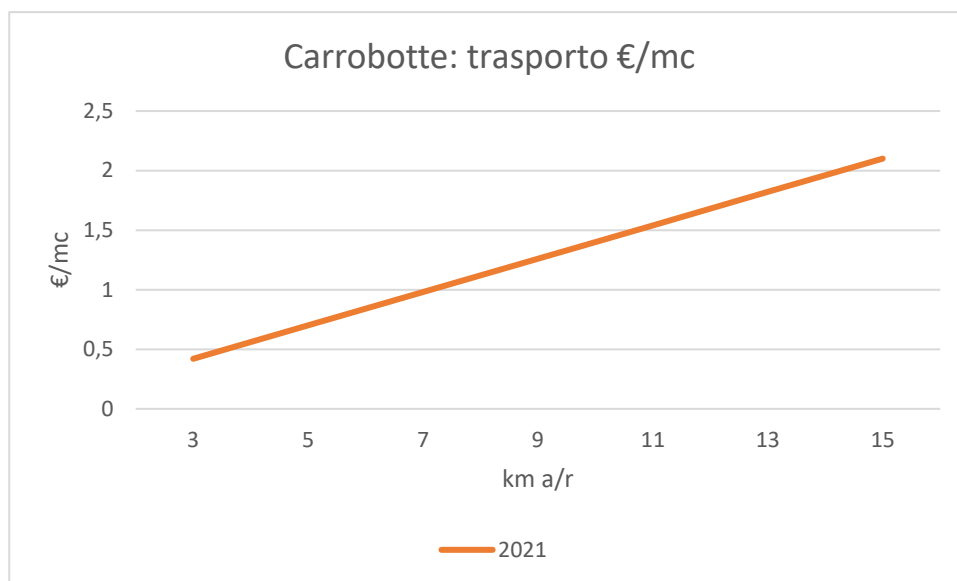


Figura 32. Andamento dei costi di trasporto del digestato in funzione della distanza.

I valori di costo stimati nelle tre realtà sono specifici delle situazioni aziendali e culturali analizzate. Per questo non possono essere generalizzate per qualsiasi tipo di coltura o di cantieri di meccanizzazione. Spesso in agricoltura, a causa delle numerosi variabili coinvolte nel processo, le situazioni possono mutare anche radicalmente e sovvertire i risultati attesi.