



## TIPO DI OPERAZIONE

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

**DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA REGIONALE N. 1089 DEL 31/08/2020**

FOCUS AREA  5A  5D

## RELAZIONE TECNICA

**DOMANDA DI SOSTEGNO 5207274**

**DOMANDA DI PAGAMENTO 5710839**

Titolo Piano	<b>Trattamento degli effluenti e digestati zootecnici per ridurre le emissioni e produrre Struvite</b>
Ragione sociale del proponente (soggetto mandatario)	Centro Ricerche Produzioni Animali Soc. Cons. p. A.
Partner del GO	Fondazione CRPA Studi Ricerche ETS Società Agricola Colombaro srl Dinamica Soc. Cons. a r.l.

Durata originariamente prevista del progetto (in mesi)	20
Data inizio attività	27/04/2021
Data termine attività (incluse eventuali proroghe già concesse)	27/12/2023

Relazione relativa al periodo di attività dal	27/04/2021	al 27/12/2023
Data rilascio relazione	20/02/2024	

Autore della relazione	Giuseppe Moscatelli		
telefono		email	G.Moscatelli@crpa.it
pec	crpapec@pec.it		

## Sommaro

1	- DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO .....	3
1.1	STATO DI AVANZAMENTO DELLE AZIONI PREVISTE NEL PIANO .....	3
2	- DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE .....	4
2.1	ATTIVITÀ E RISULTATI .....	4
2.2	PERSONALE .....	15
2.3	MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI ....	18
2.4	COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI.....	19
2.5	SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE .....	20
2.6	SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA .....	20
3	- CRITICITÀ INCONTRATE DURANTE LA REALIZZAZIONE DELL'ATTIVITÀ .....	20
4	- ALTRE INFORMAZIONI.....	21
5	- CONSIDERAZIONI FINALI .....	21
6	- RELAZIONE TECNICA.....	22

# 1 - DESCRIZIONE DELLO STATO DI AVANZAMENTO DEL PIANO

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

Gli effluenti zootecnici rappresentano un'ottima matrice fertilizzante per le colture e i terreni in quanto ricchi sia di macro e micro nutrienti che di sostanza organica, utili per il mantenimento della produttività dei suoli agricoli. Il rovescio della medaglia è costituito dalla potenzialità emissiva (ammoniaca e gas serra) dei liquami durante le fasi di stoccaggio e spandimento. Il settore agricolo, infatti, determina il 7% circa delle emissioni nazionali di gas serra e di questa quota il 18,8% deriva dalla gestione delle deiezioni. Per quanto riguarda le emissioni ammoniacali il settore agricoltura rappresenta il 94% delle emissioni nazionali con il 49,9% di tale quota derivante dalla gestione degli effluenti (ISPRA, Rapporti 318/2020 e 319/2020).

In Italia sono presenti aree ad elevata presenza di allevamenti in cui una gestione ottimale degli effluenti e digestati zootecnici potrebbe comportare una riduzione delle emissioni. Non solo, un trattamento degli effluenti finalizzato anche al recupero dei nutrienti in essi contenuti potrebbe favorire la delocalizzazione del surplus di azoto e fosforo dalle aree a elevata zootecnia verso aree invece caratterizzate da richiesta di concimi chimici, in raccordo coi principi del *Nutrient Recovery and Reuse* e con i target del *Farm to Fork*. La strategia *Farm to Fork* promuove un sistema alimentare sostenibile, cuore del *Green Deal* dell'Unione Europea, che tra gli obiettivi principali ha quello di ridurre del 20% l'uso dei fertilizzanti industriali e del 50% la perdita dei nutrienti entro il 2030.

L'obiettivo del Gruppo Operativo per l'Innovazione (GOI) Struvite è stato quello di diminuire il tenore di azoto (N) e fosforo (P) negli effluenti e digestati zootecnici al fine di ridurre le emissioni in atmosfera di ammoniaca, metano e protossido d'azoto sia dalla fase di stoccaggio che di spandimento rispetto alle matrici tal quali. L'azoto e il fosforo recuperati dagli effluenti hanno prodotto un fertilizzante di recupero rinnovabile a lento rilascio (struvite) che può sostituire i fertilizzanti di sintesi nelle aree caratterizzate da deficit di nutrienti.

Per raggiungere questo obiettivo il GOI ha progettato e realizzato un sistema prototipale, a scala aziendale, in grado di produrre ed estrarre struvite dagli effluenti e digestati zootecnici. Il GOI STRUVITE, coordinato dal CRPA di Reggio Emilia, vede *in primis* la partecipazione della Società Agricola Colombaro, importante e storico allevamento suino di Formigine in provincia di Modena, sede delle attività, la Fondazione FCSR che ha collaborato alle attività sperimentali e di monitoraggio e Dinamica, che si è occupata della formazione prevista dal piano e destinata agli operatori del settore agricolo regionale.

## 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
Cooperazione	CRPA	Esercizio della cooperazione	1	1	20	32
AZIONE 1	CRPA	Analisi e test di laboratorio per l'ottimale sviluppo del prototipo	1	1	3	20
AZIONE 2	CRPA	Sviluppo e realizzazione del sistema di trattamento prototipale STRUVITE	1	1	6	20
AZIONE 3	CRPA	Monitoraggio dell'efficienza del	4	4	20	24

		prototipo nel ridurre il tenore di azoto e fosforo nei liquami				
AZIONE 4		Monitoraggio delle emissioni (ammoniaca, GHG ed odori) dallo stoccaggio e spandimento	7	6	20	32
AZIONE 5		Valutazione della sostenibilità economica ed ambientale dell'innovazione	13	6	20	32
Formazione	DINAMICA	Formazione	4	20	20	32
Divulgazione	CRPA	Divulgazione	1	1	20	32

## 2 - DESCRIZIONE PER SINGOLA AZIONE

Compilare una scheda per ciascuna azione

### 2.1 ATTIVITÀ E RISULTATI

Azione	<b>COOPERAZIONE - Esercizio della cooperazione</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>Il Gruppo Operativo PIG BEN ha confermato alla Regione l'interesse alla realizzazione del Piano con lettera Prot. DOC-2021-1294 del 10/05/2021 e si è costituito in forma di ATS con atto notarile Reg. al n. 10126 del 16/06/2021.</p> <p>Il giorno 5 luglio 2021 si è tenuto il kick-off meeting del GO presso l'Azienda Colombaro, ove il referente delle attività del progetto (dr. Giuseppe Moscatelli) ha presentato gli obiettivi e le attività previste ed assieme ai partner sono state pianificate le prime operazioni da compiere.</p> <p>Con cadenza semestrale i partner si incontrano per controllare l'avanzamento delle attività</p> <p>Oltre agli incontri semestrali, il management staff di CRPA ScpA ha incontrato anche singolarmente i vari partner per verificare la corrispondenza delle attività con quelle assegnate e la tempistica di esecuzione. In particolar modo durante le fasi di sperimentazione di campo i contatti sono stati frequenti per illustrare agli imprenditori i risultati delle sperimentazioni in atto e decidere insieme il proseguo delle attività.</p> <p>Le attività di project management sono state svolte da CRPA ScpA 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> <p>In data 17/01/2022 è stata inviata una comunicazione che ha comportato una leggera modifica tra le voci di spesa del progetto.</p> <p>In data 14/07/2022 è stata richiesta una proroga di 12 mesi per motivi principalmente legati alla costruzione del prototipo, al COVID e alla PSA che</p>

	hanno causato lo slittamento delle attività tecniche negli allevamenti ed in particolar modo le attività di formazione legate al piano.
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	Nonostante la richiesta di proroga 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.

Azione 1	<b>Analisi e test di laboratorio per l'ottimale sviluppo del prototipo</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>L'<b>Azienda Agricola Colombaro ha ospitato il prototipo</b> realizzato nell'ambito del piano. L'azienda Colombaro sottopone i liquami suinicoli in uscita dalle stalle al processo di flottazione, da cui ottiene una frazione addensata che viene avviata, in miscela con liquami bovini di altre aziende, a digestione anaerobica ed una frazione chiarificata avviata a stoccaggio ed a successivo utilizzo agronomico. Il digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, viene sottoposto a separazione solido-liquido e le due frazioni risultanti sono anch'esse avviate ad utilizzazione agronomica.</p> <p>In questa azione, CRPA e FCSR, hanno campionato e caratterizzato analiticamente la matrice destinata al trattamento innovativo e nello specifico la frazione liquida del digestato dopo separazione solido-liquido.</p> <p>Le <b>analisi sulle matrici, i test preliminari condotti in laboratorio e l'analisi bibliografica effettuata</b> sono serviti ad ottimizzare la realizzazione dell'impianto pilota e prevedere le dovute correzioni del reflujo per massimizzare l'efficienza operativa del prototipo. In particolare si è proceduto ad effettuare dei test per valutare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>La quantità e velocità di formazione della schiuma</b> in funzione della velocità di acidificazione del digestato, e la capacità dell'agitatore meccanico di disperderla</li> </ul> <p><i>Figura 1: Monitoraggio della formazione di schiuma con modellino dell'agitatore poi installato nel prototipo</i></p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>il numero di moli di ortofosfato</b> in rapporto a quelle di azoto ammoniacale: sono stati condotti test per valutare se e quanto un ambiente acido favorisca la formazione di ortofosfato ed i relativi dosaggi;</li> <li>- <b>Il numero di moli di magnesio</b> in rapporto a P ed N: i liquami e digestati sono caratterizzati da una discreta dotazione in magnesio, ma può essere che il rapporto Mg/P sia inferiore a 0,8 e pertanto che possa essere necessario un apporto esterno di Mg. Sono stati condotti test per valutare quale fosse il dosaggio opportuno di sali di magnesio;</li> </ul>

- **il contenuto di solidi sospesi:** sono stati condotti test granulometrici per avere una caratterizzazione del digestato rappresentativa della situazione aziendale e determinare il grado opportuno di filtrazione a cui sottoporre il refluo prima del processo di precipitazione/cristallizzazione;
- **il pH del refluo nel reattore di cristallizzazione:** sono stati condotti test sia riducendo il pH del digestato fino a 5 mediante sgocciolamento di un acido (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 50% m/m), sia incrementando il pH del digestato sino a 10 mediante aggiunta di base (NaOH al 30% m/m), al fine di valutare quali fossero i dosaggi opportuni e la quantità di reagenti necessarie al processo prototipale.
- **le condizioni ottimali per la formazione della struvite,** attraverso varie batterie di prove in condizioni di laboratorio con acidificazione, addizione di magnesio e basificazione diverse, atte a simulare vari processi implementabili poi col prototipo:

Tabella 1 - prove di cristallizzazione fatte in laboratorio

Identificativo	pH iniziale	pH finale	Peso	MgCl <sub>2</sub>	Mg:Ptot molare	NaOH 30%	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50%
[-]	[-]	[-]	[g]	[ml]	[-]	[ml]	[ml]
1A		8,2	496	11,30	1,4	0	0
1B	8,3	9	504	11,5	1,4	3	0
1C		10	496	11,3	1,4	13	0
1D		8,3	498	0	0,6	0	0
2A		8,3	496	11,3	1,4	1,5	2,5
2B	7,5	9	495	16,3	1,8	6	2,5
2C		10	500	11,4	1,4	16	2,4
3A		8,6	501	11,4	1,4	5	8,2
3B	6,5	9	503	11,5	1,4	6	8,4
3C		10	501	11,4	1,4	12	7,4
3D <sup>1</sup>		10	451	10,2	1,4	13	7,8
4A <sup>2</sup>	5	10	500	20	2,1	NR	NR

1: la matrice 3D è stata centrifugata rimuovendo 50 g di ST prima di essere trattata;

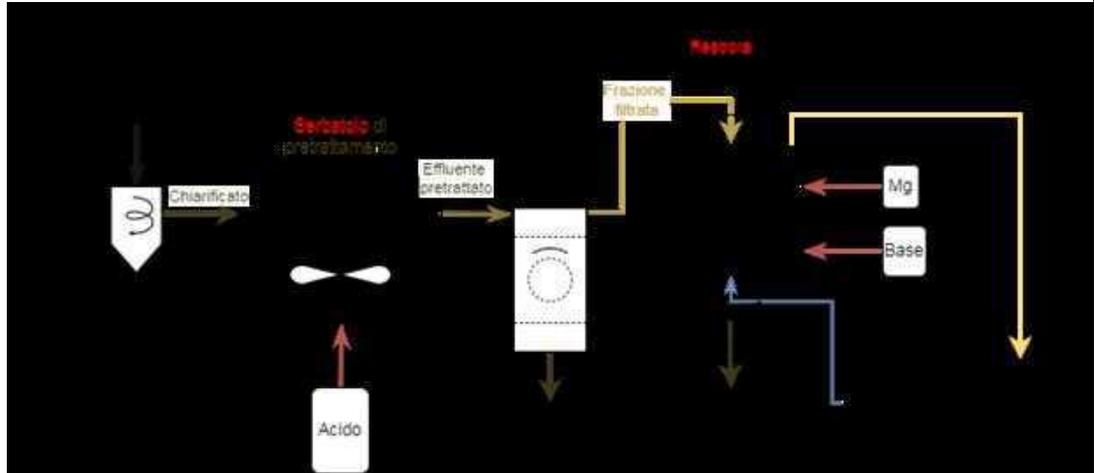
2: aggiunti 0,5 g di struvite prima di basificare e 0,5 dopo aver basificato, per provare a catalizzare la cristallizzazione di struvite.

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

Gli obiettivi previsti sono stati raggiunti, sono stati ottenuti tutti i dati necessari alla buona progettazione e realizzazione del prototipo e alla campagna di monitoraggio del prototipo stesso.

Azione 2	<b>Sviluppo e realizzazione del sistema di trattamento prototipale STRUVITE</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>Il personale tecnico-scientifico del GO, già in fase di formulazione della proposta del piano STRUVITE, ha provveduto, in collaborazione con una ditta costruttrice che già si occupa di trattamento di effluenti agro-industriali, ad una progettazione di massima del prototipo al fine di ottenere un preventivo ammissibile di spesa.</p> <p>In azione 2, i ricercatori CRPA si sono relazionati con la ditta affidataria della costruzione del prototipo e le hanno fornito le indicazioni utili alla realizzazione quali:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- informazioni ed i risultati dei test condotti in Azione 1, utili a definire l’ottimale processo di funzionamento, i tempi di reazione ed i dosaggi dei reagenti;</li> <li>- intermediazione tra l’azienda Colombaro ed il costruttore nell’illustrare gli aspetti logistici ed operativi.</li> </ul> <p>La digestione anaerobica della sostanza organica comporta la mineralizzazione dell’azoto organico presente nei reflui in azoto ammoniacale (<math>N-NH_4^+</math>) e la mineralizzazione del fosforo organico a fosforo ortofosfato (<math>P-PO_4^{3-}</math>). Una digestione anaerobica efficiente facilita il successivo trattamento di recupero di N e P da parte del prototipo. Per questo motivo il piano ha previsto <b>l’installazione del prototipo a valle della digestione anaerobica</b> aziendale, e di trattare la frazione liquida in uscita dal processo di separazione meccanica a compressione elicoidale già presente.</p> <p>Nel reattore di cristallizzazione della struvite, deve essere caricato un effluente il più privo possibile di materiale sospeso e particolato solido. Il solo processo di separazione meccanica solido-liquido già attuato in azienda non è sufficiente per raggiungere tale risultato e pertanto <b>prima del reattore di cristallizzazione/precipitazione è stato installato un sistema innovativo di microfiltrazione a 40 micron</b> (è stato effettuato il noleggio operativo di un Microfiltro MFT prodotto da WAMGROUP).</p> <p>Il risultato dell’azione 2 è stato la realizzazione e l’installazione del prototipo presso l’azienda partner, Colombaro.</p> <p>Nelle figure sottostanti viene illustrato l’impianto prototipale e il suo layout</p> <p><i>Figura 2 – Il prototipo realizzato per il recupero della struvite</i></p> 

Figura 3 - Schema della linea di trattamento prototipale realizzata



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

La realizzazione di un prototipo altamente innovativo per il trattamento dei liquami e digestati suinicoli non è stato semplice ed in particolar modo nel periodo prima caratterizzato dalla pandemia COVID ed in seguito dal conflitto bellico in Ucraina. Durante questa fase del piano sono emerse importanti problematiche nel reperire parte della strumentazione richiesta per la messa in servizio del prototipo (centraline elettroniche, sensori, PLC e componenti elettrici) a causa della situazione internazionale legata alla scarsità degli approvvigionamenti. Tempi di consegna preventivati all'atto della presentazione del piano inferiori ad 1 mese si sono dilatati oltre i 6 mesi e per di più senza certezze sui tempi di consegna. Non ultimo un aggravio importante sui costi di realizzazione del prototipo rispetto a quelli preventivati a fine del 2020.

Tuttavia, il periodo di proroga richiesto e concesso ha reso possibile il raggiungimento degli obiettivi prefissati dal piano: progettazione, realizzazione ed installazione del prototipo presso La Società Agricola Colombaro senza discostamenti realizzativi, esclusi quelli temporali, da quanto preventivato.

Azione 3	<b>Monitoraggio dell'efficienza del prototipo nel ridurre il tenore di azoto e fosforo nei liquami</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>Nell'azione 3, CRPA, in collaborazione con FCSR, Azienda Colombaro e supportato dalla ditta costruttrice, ha monitorato il funzionamento del prototipo e ne ha valutato l'efficienza di trattamento. L'azione ha previsto una prima fase di avvio e messa a punto del prototipo seguita da una seconda fase di monitoraggio delle prestazioni.</p> <p>Sono state condotte diverse campagne di rilievi e campionamento. I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi chimico-fisica.</p> <p><b>Nel Capitolo 6 - Relazione tecnica sono riportati i risultati di tale attività.</b></p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>Gli obiettivi previsti nell'Azione 3 sono stati raggiunti. L'avvio e messa a punto del prototipo ha preso più tempo del previsto a causa di problemi tecnici di alcune parti del prototipo e di complicazioni impreviste legate a caratteristiche specifiche del digestato aziendale e all'integrazione del prototipo nella linea di trattamento.</p>

Azione 4	<b>Monitoraggio delle emissioni (ammoniaca, GHG ed odori) dallo stoccaggio e spandimento</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>Obiettivo dell'azione 4 era <b>misurare in campo (presso Az. Colombaro) la riduzione delle emissioni, sia dallo stoccaggio che in seguito alle operazioni di spandimento, delle matrici trattate rispetto all'effluente tal quale.</b> Un secondo obiettivo, in relazione al fatto che l'azoto ed il fosforo contenuti nella Struvite sono in forma di sale stabile, era valutare il ridotto impatto emissivo dallo stoccaggio e dallo spandimento della struvite prodotta.</p> <p>Le matrici sottoposte a monitoraggio sono state pertanto:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Effluente zootecnico (digestato suino) non trattato</li> <li>2. Frazione addensata acidificata in uscita dalla microfiltrazione</li> <li>3. Frazione precipitata contenente la Struvite</li> <li>4. Frazione liquida impoverita di nutrienti</li> </ol> <p><b>Sono state effettuate 5 sessioni di monitoraggio delle emissioni dagli stoccaggi delle 4 differenti matrici</b> su un arco temporale di 62 giorni di stoccaggio. Sono stati eseguiti 20 rilievi di misura delle emissioni (di ammoniaca e gas serra quali metano, protossido di azoto ed anidride carbonica) in occasione dei quali sono stati anche condotti (ad inizio, a metà ed alla fine del periodo di stoccaggio) campionamenti di aria per valutare quanto il trattamento abbia ridotto l'impatto odorigeno. I campioni di aria sono stati sottoposti ad olfattometria</p>

	<p>dinamica secondo la norma UNI EN 13725:04 (olfattometro TO8 Olfasense) per determinare la concentrazione di odore (4 matrici + 1 ambientale x 3 momenti = 15 campioni).</p> <p>Sono state caratterizzate tutte le matrici dal punto di vista chimico (pH, ST, SV, NTK e frazione N-ammoniacale) al fine di rapportare le emissioni sia al m<sup>3</sup> di effluente stoccato che per kg di azoto (N) e sostanza organica (SV) stoccata.</p> <p>Per monitorare le emissioni dalle matrici in stoccaggio si è utilizzata una metodologia sperimentale di misura validata a livello internazionale, definita "static chamber method" (Brewer et al., 1999; Hornig et al, 1999; Pedersen et al., 2001) e le concentrazioni dei gas determinate mediante un analizzatore fotoacustico ad infrarossi (INNOVA Mod. 1412). Sono stati utilizzati degli stoccaggi pilota "dinamici" (vale a dire che nello stoccaggio pilota è stato aggiunto materiale fresco seguendo ritmi e proporzioni della realtà aziendale) di capienza pari a 1 m<sup>3</sup>, che una volta chiusi sono diventati essi stessi le camere di saturazione per l'applicazione della tecnica "static chamber method".</p> <p>Le stesse 4 matrici, sopra elencate, sono state oggetto di spandimento nel mese di ottobre 2023 su un terreno aziendale dell'allevamento Colombaro che aveva ospitato una coltura di sorgo.</p> <p>Questa fase di attività ha monitorato le emissioni in seguito ad utilizzazione agronomica delle 4 matrici. Il terreno ha ospitato 4 parcelle e su ciascuna di esse è stata applicata una differente matrice, mantenendo la dose di azoto distribuita quale fattore fisso.</p> <p>Le attività per <b>valutare la riduzione delle emissioni conseguite, in seguito a spandimento, delle matrici trattate rispetto alla tal quale</b>, hanno previsto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>caratterizzazione chimico-fisica delle matrici.</i></li> <li>• <i>misura delle emissioni di ammoniaca (NH<sub>3</sub>):</i> sono state effettuate misure di emissioni di NH<sub>3</sub> su una porzione della superficie oggetto di spandimento mediante la tecnica definita "wind tunnel", validata in numerose pubblicazioni (Lockyer, 1984; Meisinger et al., 2001).</li> <li>• <i>misura delle emissioni di GHG (N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>):</i> le emissioni dal suolo dei gas serra sono state monitorate utilizzando la tecnica "static chamber method" già descritta precedentemente.</li> </ul> <p><b>Nel Capitolo 6 -Relazione tecnica sono riportati i risultati di tale attività.</b></p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</p>	<p>Le attività di monitoraggi previste in azione 4 sono state eseguite come previsto dal piano sia nei tempi che nelle modalità.</p> <p>I risultati conseguiti hanno permesso di determinare i fattori emissivi delle diverse tipologie di matrici derivanti dal trattamento prototipale avviate alla fase di stoccaggio e di spandimento rispetto al digestato non sottoposto al trattamento prototipale.</p>

Azione 5	<b>Valutazione della sostenibilità economica ed ambientale dell'innovazione</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA
Descrizione delle attività	<p>L'applicazione della <b>metodologia LCA (Life Cycle Assessment)</b> ha permesso di <b>valutare la sostenibilità ambientale e sociale dell'innovazione</b>. Si è quantificata l'impronta di carbonio o Carbon Footprint, e gli impatti su aria, acqua e suolo derivanti dalla gestione innovativa degli effluenti rispetto a quella aziendale già in essere.</p> <p>La gestione aziendale in essere prevede la digestione anaerobica degli effluenti zootecnici e separazione solido-liquido del digestato con l'utilizzazione agronomica delle due frazioni non trattate. La gestione innovativa prevede invece il trattamento della frazione liquida del digestato in uscita dal separatore solido-liquido, ottenendo la produzione di struvite e di un effluente a basso tenore di azoto e fosforo.</p> <p>In particolare, l'analisi LCA ha messo a confronto l'impatto ambientale per le categorie Impronta Carbonica, Eutrofizzazione e Acidificazione della fase di stoccaggio nella gestione aziendale con quella innovativa proposta dal progetto.</p> <p>Nell'Azione 3 del piano sono stati inoltre rilevati alcuni costi di esercizio del prototipo (reagenti, energia elettrica).</p> <p><b>Nel Capitolo 6 - Relazione tecnica sono riportati i risultati di tale attività.</b></p>
Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate	<p>L'elaborazione LCA e la valutazione della sostenibilità ambientale dell'innovazione è stata condotta senza scostamenti da quanto preventivato ed i risultati pienamente determinati per ogni categoria di impatto.</p> <p>Dal punto di vista economico, non è stato possibile valutare i costi relativi a una normale manutenzione e gestione del prototipo, che essendo stato progettato e costruito appositamente per questo GO ha richiesto una continua messa a punto lungo tutta la durata del progetto.</p> <p>Non è stato possibile, inoltre, quantificare il beneficio economico generato dalla riduzione del tenore di azoto e fosforo nei liquami, dalla riduzione delle emissioni in fase di stoccaggio e spandimento e dalla produzione di frazione densa ricca di Struvite, essendo quest'ultimo un prodotto non ancora commercializzato.</p>

Azione	<b>DIVULGAZIONE</b>
Unità aziendale responsabile	CRPA

<p>Descrizione delle attività</p>	<p>CRPA, a partire dall'avvio del progetto, ha progettato e realizzato un mix di attività volte a coinvolgere agricoltori, tecnici e chiunque potesse essere interessato anche indirettamente all'innovazione proposta e alla sua diffusione pratica.</p> <p>Nei primi mesi si è ideata l'impostazione grafica che ha caratterizzato tutti i prodotti (logo, template vari da utilizzare per la comunicazione, quali comunicati stampa, poster, roll up, pagine web, presentazioni).</p> <p>Contestualmente è stato realizzato un sito web dedicato all'interno del dominio CRPA (<a href="https://struvite.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=22325&amp;tt=t_bt_app1_www">https://struvite.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=22325&amp;tt=t_bt_app1_www</a>). Il sito, che si compone di una home page con carosello, news in primo piano e diverse sezioni tra cui: "progetto", "blog", "documenti", "contatti", è stato implementato man mano con tutte le iniziative realizzate e il materiale prodotto e con n. 14 news. Sono state inoltre attivate le statistiche di registrazione e gestione dei contatti.</p> <p>Si è data ampia diffusione delle iniziative intraprese nell'arco della durata del progetto anche attraverso i social Twitter e LinkedIn.</p> <p>Per dare maggiore visibilità al progetto in occasione degli eventi è stato ideato e stampato un roll up (<a href="https://struvite.crpa.it/media/documents/struvite_www/SV_Struvite_rollup_002_L_Q-RGB.pdf?v=20220623">https://struvite.crpa.it/media/documents/struvite_www/SV_Struvite_rollup_002_L_Q-RGB.pdf?v=20220623</a>).</p> <p>Un articolo tecnico/divulgativo sul progetto è stato pubblicato sulla rivista Suinicoltura n. 8 - settembre 2022, "Estrazione di struvite dai liquami di suini" a cura di Giuseppe Moscatelli, Sergio Piccinini – CRPA scpa, Lorenzo Bercelli – FCSR (<a href="https://struvite.crpa.it/media/documents/struvite_www/Pubblicazioni/SN_08_2022_Struvite_Moscatelli.pdf?v=20221109">https://struvite.crpa.it/media/documents/struvite_www/Pubblicazioni/SN_08_2022_Struvite_Moscatelli.pdf?v=20221109</a>).</p> <p>N. 3 newsletter sono state realizzate per divulgare gli avanzamenti delle attività di sperimentazione:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Newsletter n. 1 – dicembre 2022, con la sintesi del primo anno di attività; inviata con la newsletter aziendale CRPA Informa n. 16 a n. 19.529 contatti tra a un vasto indirizzario di portatori di interesse e indiretti;</li> <li>• Newsletter n. 2 – ottobre 2023, per diffondere la partecipazione al corso di formazione gratuito sul recupero di nutrienti dagli effluenti e digestati zootecnici per una maggiore sostenibilità ambientale ed economica della zootecnica; inviata con la newsletter CRPA Informa n. 16 a n. 19.529 contatti tra portatori di interesse e coinvolti indirettamente;</li> <li>• Newsletter n. 3 – novembre 2023, come invito al convegno finale, inviata a n. 19.962 contatti.</li> </ul> <p>Negli ultimi mesi del piano d'innovazione sono state organizzate le riprese video presso l'azienda Colombaro a Formigine, per la realizzazione di un video clip per illustrare l'innovazione proposta e le sue ricadute pratiche al maggior numero possibile di operatori del settore, visibile dal sito di progetto e caratterizzato anche dalla presenza di sottotitoli in inglese (<a href="https://struvite.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=31742&amp;tt=t_bt_app1_www">https://struvite.crpa.it/nqcontent.cfm?a_id=31742&amp;tt=t_bt_app1_www</a>).</p> <p>Al termine del GO è stato realizzato un convegno finale in modalità webinar, con una visita guidata virtuale, il 15 dicembre 2023, al quale hanno partecipato n. 90 portatori d'interesse. L'iniziativa è stata realizzata in collaborazione con l'Ordine dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali di Reggio Emilia e il Collegio interprovinciale dei Periti Agrari e Periti Agrari laureati di Reggio Emilia e Parma; la partecipazione ha dato il diritto all'attribuzione di crediti formativi.</p> <p>Di seguito le presentazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Il Gruppo Operativo Struvite e il prototipo di recupero della struvite</i> a cura di Sergio Piccinini – CRPA scpa;</li> <li>▪ <i>Visita virtuale al prototipo per il recupero della struvite: video e fotografie</i> a cura di Giuseppe Moscatelli – CRPA scpa;</li> </ul>
-----------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>I risultati del progetto: struvite recuperata</i> a cura di Lorenzo Bercelli e Sergio Piccinini – CRPA scpa;</li> <li>▪ <i>I risultati del progetto: emissioni evitate</i> a cura di Giuseppe Moscatelli – CRPA scpa;</li> <li>▪ <i>Risultati del progetto: Life Cycle Assessment LCA</i> a cura di Arianna Pignagnoli – CRPA scpa;</li> <li>▪ <i>Ulteriori approfondimenti e applicazioni: il progetto europeo Nutri-Know e il nuovo progetto Struvite</i> a cura di Sergio Piccinini – CRPA scpa.</li> </ul> <p>Le attività ed i risultati del Gruppo Operativo sono stati inoltre disseminati mediante la realizzazione di ulteriori due prodotti divulgativi come previsto dal piano:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un opuscolo in formato digitale con i risultati del progetto, scaricabile a questo link:  <a href="https://struvite.crupa.it/media/documents/struvite_www/GOI_Opuscolo_STRUVITE.pdf?v=20231219">https://struvite.crupa.it/media/documents/struvite_www/GOI_Opuscolo_STRUVITE.pdf?v=20231219</a>;</li> <li>• Una presentazione multimediale con link a tutti i prodotti divulgativi realizzati (<a href="https://sway.cloud.microsoft/Oym6frsaEw1hQ0b5?ref=Link">https://sway.cloud.microsoft/Oym6frsaEw1hQ0b5?ref=Link</a>).</li> </ul> <p>A fine progetto si è data informazione dei risultati conseguiti con un comunicato stampa inviato ai giornalisti e addetti alla stampa.</p> <p>Inoltre il progetto Struvite è stato coinvolto in un progetto Horizon 2020 (<a href="https://www.nutri-know.eu/">https://www.nutri-know.eu/</a>) ed è stato presentato in occasione del Kick-off meeting del progetto Nutri-Know a Vic in Spagna (24-25/01/2023). Tale progetto si avvalerà dei risultati di Struvite per stimolare l'adozione delle innovazioni nel settore agroalimentare, in particolare amplificando l'impatto dei risultati precedentemente raggiunti nei Gruppi Operativi in Europa (<a href="https://struvite.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=24880&amp;tt=news">https://struvite.crupa.it/nqcontent.cfm?a_id=24880&amp;tt=news</a>).</p>
<p>Grado di raggiungimento degli obiettivi, scostamenti rispetto al piano di lavoro, criticità evidenziate</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>

Azione	<b>FORMAZIONE</b>
Unità aziendale responsabile	DINAMICA
Descrizione delle attività	<p><i>descrizione delle attività svolte per il raggiungimento degli obiettivi previsti dall'azione</i></p> <p><b>Titolo:</b> Recupero di nutrienti dagli effluenti e digestati zootecnici per una maggiore sostenibilità ambientale ed economica della zootecnica</p> <p><b>Modulo 1 - La tematica delle emissioni di ammoniaca e gas serra</b> della durata di 6 ore</p> <p>Introduzione al corso;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Individuazione dei bisogni e delle aspettative dei partecipanti al corso;</li> <li>– Presentazione del Gruppo Operativo STRUVITE</li> <li>– Trattamento degli effluenti e digestati zootecnici per ridurre le emissioni e produrre Struvite;</li> <li>– Ricadute ambientali dei principali inquinanti emessi in atmosfera dal settore zootecnico;</li> <li>– Principali normative europee, nazionali e regionali che hanno una ricaduta sul tema delle emissioni dal settore zootecnico;</li> <li>– Il BAT Tool Plus: uno strumento di calcolo delle emissioni dall'allevamento e della riduzione conseguibile con la applicazione delle BAT.</li> </ul> <p><b>Modulo 2 - La gestione degli effluenti d'allevamento: innovazioni e sguardo al futuro</b> della durata di 4 ore</p> <p>Gestione degli effluenti nelle strutture d'allevamento e sistemi di pulizia: BAT per gli allevamenti zootecnici e Codice di buone pratiche agricole volte alla riduzione delle emissioni di ammoniaca e gas serra; – Panoramica delle tecnologie di stoccaggio degli effluenti zootecnici e sistemi di copertura; – Tecniche e sistemi innovativi per la distribuzione in campo degli effluenti zootecnici: corrette dosi, modalità e tempistiche</p> <p><b>Modulo 3 - La digestione anaerobica e biogas: una tecnologia per valorizzare gli effluenti, migliorarne la gestione e ridurre gli impatti ambientali</b> della durata di 6 ore</p> <p>La digestione anaerobica: concetti generali e situazione in Emilia-Romagna – Potenzialità e benefici degli impianti di biogas alimentati a soli effluenti zootecnici e sottoprodotti agricoli; – Esempi virtuosi di valorizzazione energetica degli effluenti; – Come la digestione anaerobica può ridurre le emissioni di gas serra e odori;</p> <p><b>Modulo 4 - Le tecnologie di trattamento degli effluenti della durata di 8 ore</b></p> <p>Panoramica delle tecnologie esistenti e delle innovazioni: dalla rimozione al recupero dei nutrienti; – Trattamenti delle frazioni solide; – Trattamenti delle frazioni liquide; – Esperienze di precedenti GOI e di campo.</p> <p><b>Modulo 5 - I fertilizzanti di recupero e risultati del GOI STRUVITE</b> della durata di 4 ore</p> <p>Normativa e potenzialità offerte dal Decreto Legislativo 75/2010 e dal nuovo Regolamento europeo UE 1009/2019; – I fertilizzanti di recupero ottenibili grazie al trattamento degli effluenti e digestati zootecnici; – Il GOI STRUVITE:</p>

	attività e risultati; – Test finale e correzione; – Scambio di impressioni, conoscenze e opinioni.
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>E' stato svolto n. 1 corso di formazione composto da 1 domanda di sostegno più un'integrazione alla prima domanda più la partecipazione di un privato che ha pagato il costo totale:  Proposta formativa 5685526 "Recupero di nutrienti dagli effluenti e digestati zootecnici per una maggiore sostenibilità ambientale ed economica della zootecnica" con le seguenti domande di avvio formazione GOI:  Corso  - 5699104 con 17 partecipanti per un importo di costo totale pari a € 11.785,76 chiusa con domanda di rendiconto formazione GOI n° 5705181 con n. 16 partecipanti per un totale di € 11.92,48  - 5700071 ad integrazione della 5699104 con 2 partecipanti per un importo di costo totale pari a € 1.386,56 chiusa con domanda di rendiconto formazione GOI n° 5705194 per lo stesso importo  - Partecipazione di un soggetto a titolo privato per un totale di € 693,28</p>

## 2.2 PERSONALE

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

### Cooperazione

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	Segreteria tecnica	66	27,00	1.782,00
	CRPA - Amministrativo	Supporto gestione amministrativa	65	27,00	1.755,00
	CRPA - Ricercatore	Coordinamento attività	75	27,00	2.025,00
	CRPA - Responsabile amministrativa	Responsabile gestione amministrativa	17	43,00	731,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	11	43,00	473,00
<b>TOTALE</b>					<b>6.766,00</b>

### Azione 1

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Ricercatore	Coordinamento, supervisione attività	8	27,00	216,00
	CRPA - Ricercatore	rilevi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	56	27,00	1.512,00
	CRPA - Tecnico	Analisi di laboratorio	55	27,00	1.485,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	6	43,00	258,00
<b>TOTALE</b>					<b>3.471,00</b>

Azione 2

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Ricercatore	Coordinamento, supervisione attività	42	27,00	1.134,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	48	27,00	1.296,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	34	43,00	1.462,00
<b>TOTALE</b>					<b>3.892,00</b>

Azione 3

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	96	27,00	2.592,00
	CRPA - Ricercatore	Coordinamento, supervisione attività	68	27,00	1.836,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	61	27,00	1.647,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	80	27,00	2.160,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	128	27,00	3.456,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	72	43,00	3.096,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio	147	27,00	3.969,00
	FCSR - Ricercatore	Analisi di laboratorio	119	27,00	3.213,00
	FCSR - Tecnico	Prove in campo	50	27,00	1.350,00
	FCSR - Tecnico	Prove in campo	33	27,00	891,00
	Colombaro -	Attività di divulgazione	218	19,5	4.251,00
<b>Totale:</b>					<b>28.461,00</b>

Azione 4

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	104	27,00	2.808,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	37	27,00	999,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	66	27,00	1.782,00
	CRPA - Tecnico	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	47	27,00	1.269,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	116	27,00	3.132,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	46	43,00	1.978,00
	FCSR - Tecnico	Analisi di laboratorio	74	27,00	1.998,00
	FCSR - Ricercatore	Analisi di laboratorio	61	27,00	1.647,00
	FCSR - Tecnico	Prove in campo	26	27,00	702,00

	FCSR - Tecnico	Prove in campo	41	27,00	1.107,00
	Colombaro -	Attività di divulgazione	71	19,5	1.384,50
			<b>Totale:</b>		<b>18.806,50</b>

*Azione 5*

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	16	27,00	432,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	32	27,00	864,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	51	27,00	1.377,00
	CRPA - Ricercatore	rilievi sperimentali, analisi ed elaborazione dati	37	27,00	999,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Coordinamento, supervisione attività	40	43,00	1.720,00
				<b>CRPA TOTALE</b>	<b>5.392,00</b>

*Divulgazione*

Cognome e nome	Mansione/ qualifica	Attività svolta nell'azione	Ore	Costo	Costo tot
	CRPA - Segreteria	assistenza organizzativa divulgazione	4	27,00	108,00
	CRPA - Segreteria	assistenza organizzativa divulgazione	4	27,00	108,00
	CRPA - Ricercatore	Attività di divulgazione	52	27,00	1.404,00
	CRPA - Ricercatore	Attività di divulgazione	121	27,00	3.267,00
	CRPA - Responsabile scientifico	Responsabile divulgazione	10	43,00	430,00
	FCSR - Ricercatore	Attività di divulgazione	16	43	688,00
	Colombaro -	Attività di divulgazione	34	36,41	1.237,94
				<b>Totale:</b>	<b>7.242,94</b>

## 2.3 MATERIALI E LAVORAZIONI DIRETTAMENTE IMPUTABILI ALLA REALIZZAZIONE DEI PROTOTIPI

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

La prima fase delle attività ha visto la progettazione, realizzazione e installazione del **prototipo** presso l'impianto di biogas della Società Agricola Colombaro. La digestione anaerobica comporta la mineralizzazione di parte dell'azoto organico presente nei liquami zootecnici in azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e di parte del fosforo organico ad ortofosfato inorganico ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Pertanto il digestato, in uscita dalla digestione anaerobica, è una matrice ottimale da avviare al processo innovativo di recupero di azoto e fosforo per precipitazione e cristallizzazione di struvite (magnesio ammonio fosfato esaidrato –  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Il componente principale del prototipo è un reattore cilindrico di cristallizzazione, concentrico a un reattore a cono rovesciato in cui avviene la successiva fase di precipitazione della struvite. La struvite viene raccolta dal fondo mentre lo scarico del surnatante chiarificato trova luogo nell'estremità alta. Una soffiante insuffla aria, tramite una coppa porosa, all'interno del reattore cilindrico di cristallizzazione con la duplice funzione di miscelare e incrementare il pH attraverso lo stripping della  $\text{CO}_2$ . Un pH basico del refluo, infatti, incrementa l'efficienza del processo di precipitazione della struvite. Prima del reattore di precipitazione e cristallizzazione è stato installato un sistema di microfiltrazione a 40 micron (è stato effettuato il noleggio operativo di un Microfiltro MFT 500 SEPCOM prodotto da WAMGROUP) al fine di avviare alla cristallizzazione un refluo il più possibile privo di materiale sospeso e particolato solido grossolano, che ostacolerebbero la formazione della struvite.

**Nella descrizione dell'Azione 2 sono ripotate la fotografia del prototipo realizzato e il suo layout.**

Il prototipo è composto da due sezioni:

1. Vasca di equalizzazione che serve sia per lo stoccaggio del digestato da sottoporre a trattamento che per il suo eventuale condizionamento;
2. Reattore di cristallizzazione e separazione del precipitato (struvite - fosfato ammonico magnesiacico idrato).

Le principali caratteristiche tecniche della prima sezione del prototipo sono le seguenti:

- elettropompa volumetrica del tipo a monovite per prelevare la frazione chiarificata del digestato prodotta in azienda e caricarla nel serbatoio di equalizzazione;
- misuratore di portata a servizio della pompa di carico per quantificare il flusso trattato dal prototipo;
- vasca di equalizzazione realizzata in polietilene e completa di agitatore ad asse verticale per la miscelazione del refluo e di sensore elettronico di livello per la gestione del carico e scarico del refluo;
- pompa dosatrice peristaltica per dosare reagenti nella vasca di equalizzazione;
- unità di controllo del pH che comprende un pHmetro ed una pompa per il dosaggio del reagente chimico per la correzione del pH.

Le principali caratteristiche tecniche della seconda sezione del prototipo sono le seguenti:

- pompe volumetriche monovite per il prelievo del refluo dalla prima sezione e carico al reattore di cristallizzazione e precipitazione della struvite, con possibilità di stoccaggio provvisorio in una vasca in polietilene dal volume di  $3 \text{ m}^3$ ;
- il reattore di cristallizzazione e precipitazione della struvite, dalla capacità totale di  $1,94 \text{ m}^3$  ( $0,34 \text{ m}^3$  e  $1,6 \text{ m}^3$  rispettivamente per l'unità di cristallizzazione e di precipitazione), è realizzato in acciaio inossidabile AISI 305, è di forma verticale conica e completo di: miscelazione del refluo durante la fase di reazione; valvola per la separazione del sale struvitico precipitato durante la fase di sedimentazione, stramazzo del chiarificato a basso tenore di azoto e fosforo, ricircolo interno con pompa;
- nel reattore di cristallizzazione si può insufflare aria, mediante una soffiante, per strappare la  $\text{CO}_2$  presente nel digestato favorendo così l'innalzamento naturale del pH;

- a servizio del reattore di cristallizzazione/precipitazione vi sarà una unità di controllo del pH che comprende un pHmetro ed una pompa per il dosaggio dei reagenti chimici basici, in caso occorra innalzare leggermente il pH per favorire la cristallizzazione;
- dispositivo per dosare sali di magnesio al reattore di cristallizzazione in modo che si possa raggiungere il giusto rapporto molare N:P:Mg e favorire così la cristallizzazione della struvite;
- n.2 contenitori in polietilene dal volume di 200 litri per la preparazione e dosaggio dei reagenti chimici necessari;
- contenitore in polietilene dal volume di 500 litri per la raccolta della struvite precipitata e separata;
- sistema per scaricare il liquame a ridotto contenuto di azoto e fosforo una volta trattato dal prototipo.

L'impianto pilota è stato assemblato su uno SKID in acciaio di forma rettangolare dalle dimensioni 4,5 m x 2,3 m (telaio e piattaforma) in modo che possa essere trasportato con un autotreno articolato e collocato negli spazi aziendali mediante l'utilizzo di una gru.

Il sistema prototipale è stato realizzato dalla CISA Impianti srl ed è costituito da tutti i materiali, accessori ed attrezzature sopra descritte che nell'insieme hanno dato vita al prototipo.

Per maggiori informazioni si rimanda inoltre a quanto descritto in Azione 2 e Capitolo 6 - Relazione tecnica.

Fornitore	Descrizione	Costo
Cisa Impianti	Prototipo per la riduzione di azoto e fosforo nei liquami recuperando i nutrienti come struvite	40.000,00
	<b>Totale:</b>	<b>40.000,00</b>

## 2.4 COLLABORAZIONI, CONSULENZE, ALTRI SERVIZI

### CONSULENZE - PERSONE FISICHE

Nominativo del consulente	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
	1.620,00	Incarico doc-2021-1607 del 14/06/2021 - Attività di divulgazione	1.620,00
	3.888,00	Incarico doc-2021-1608 del 14/06/2021 - Attività di divulgazione	3.888,00
		<b>Totale:</b>	<b>5.508,00</b>

### CONSULENZE - SOCIETÀ

Ragione sociale della società di consulenza	Importo contratto	Attività realizzate / ruolo nel progetto	Costo
WAMGROUP spa	6.920,00	Noleggio per 6 mesi microfiltro MFT260	6.920,00
		<b>Totale:</b>	<b>6.920,00</b>

## 2.5 SPESE PER ATTIVITÀ DI DIVULGAZIONE E DISSEMINAZIONE

Fornitore	Descrizione	Costo
	Realizzazione videoclip	€2.350,00
TECNOGRAF srl	Impaginazione fascicolo 8 pagine	€130,00
	<b>TOTALE</b>	<b>2.480,00</b>

## 2.6 SPESE PER ATTIVITÀ DI FORMAZIONE E CONSULENZA

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

E' stato svolto n. 1 corso di formazione composto da 1 domanda di sostegno più un'integrazione alla prima domanda più la partecipazione di un privato che ha pagato il costo totale:

Proposta formativa 5685526 "Recupero di nutrienti dagli effluenti e digestati zootecnici per una maggiore sostenibilità ambientale ed economica della zootecnica" con le seguenti domande di avvio formazione GOI:

### Corso

- 5699104 con 17 partecipanti per un importo di costo totale pari a € 11.785,76 chiusa con domanda di rendiconto formazione GOI n° 5705181 con n. 16 partecipanti per un totale di € 11.92,48
- 5700071 ad integrazione della 5699104 con 2 partecipanti per un importo di costo totale pari a € 1.386,56 chiusa con domanda di rendiconto formazione GOI n° 5705194 per lo stesso importo

Partecipazione di un soggetto a titolo privato per un totale di € 693,28

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

Lunghezza max 1 pagina

<b>Criticità tecnicospicifiche</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

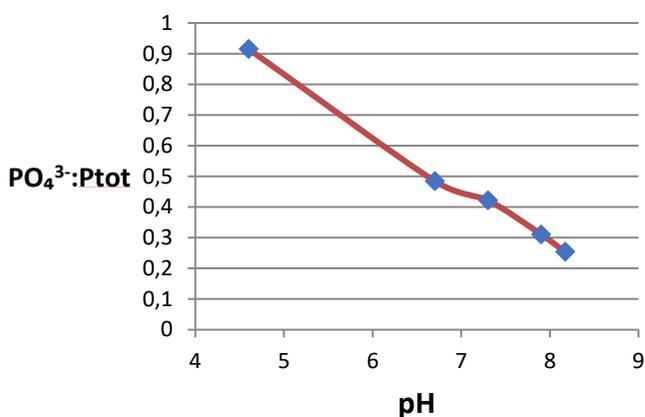
Descrivere le attività complessivamente effettuate, nonché i risultati innovativi e i prodotti che caratterizzano il Piano e le potenziali ricadute in ambito produttivo e territoriale

### Le prove in laboratorio

Di seguito sono riportati i risultati delle prove fatte in laboratorio, propedeutiche alla realizzazione e messa a punto del prototipo, descritte nell'Azione 1:

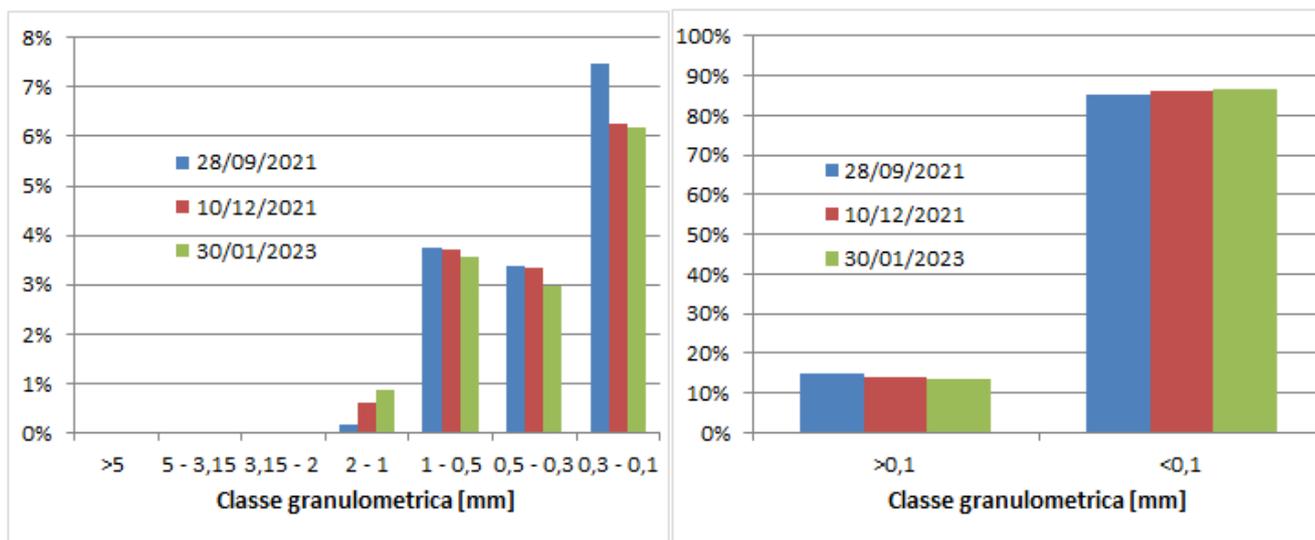
- È stata misurata la concentrazione di fosforo totale e fosforo ortofosfato nel digestato campionandolo a diversi livelli di pH durante un'acidificazione ottenuta aggiungendo  $H_2SO_4$  ed è stata verificata una relazione quasi lineare tra pH e frazione di fosforo presente in forma ortofosfata. L'acidificazione, incrementando la forma ortofosfata del P, risulta essere uno dei fattori che elevano l'efficienza del processo di cristallizzazione.

Figura 1 - Correlazione tra pH del digestato e frazione del fosforo totale presente in forma ortofosfata



- Sono stati condotti test granulometrici del digestato chiarificato aziendale in uscita dal separatore solido/liquido in diversi periodi dell'anno, ottenendo una caratterizzazione granulometrica rappresentativa della situazione aziendale:

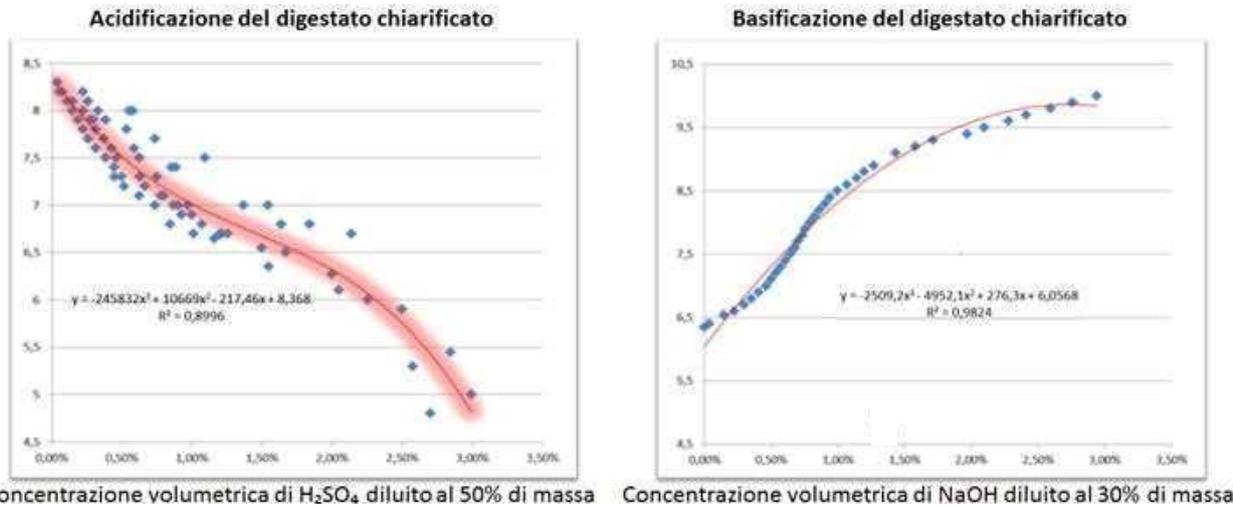
Figura 2 - Distribuzione granulometrica dei solidi di diversi campioni del digestato aziendale



- Sono state tracciate le curve di acidificazione e basificazione del digestato chiarificato mediante sgocciolamento rispettivamente di una soluzione di  $H_2SO_4$  al 50% m/m e di una soluzione di NaOH al 30% m/m, al fine di determinare intervalli di acidificazione e basificazione raggiungibili nel prototipo senza un uso eccessivo di reagenti, e di calcolare la relativa quantità di acido e base necessari per il processo prototipale.

La conoscenza di queste curve ha permesso di dosare e settare il funzionamento delle pompe dosatrici.

Figura 3 - Curve di titolazione



- Sono state fatte batterie di prove di cristallizzazione e precipitazione della struvite, a condizioni sperimentali diverse, come descritto dalla tabella 1 nell'azione 1. Di seguito sono riportate le caratterizzazioni di precipitato e surnatante di alcune prove esemplificative:

Tabella 1 - Caratterizzazione delle matrici risultanti dalle prove di precipitazione in laboratorio

			1A	2B	3C	3D	4A
Precipitato	Peso	[g]	73,9	85,9	84,6	66,5	50,0
	ST	[%tq]	4,11	5,20	5,93	5,36	NR
	NTK	[g/ kg tq]	4,73	4,32	3,99	3,80	NR
	Ptot	[mg/kg tq]	1242	1016	1056	790	NR
	P-PO4	[mg/kg tq]	594	262	364	519	NR
	Rapporto PO <sub>4</sub> /Ptot	[-]	0,48	0,26	0,34	0,66	NR
	Mg	[mg/kg tq]	969	1258	936	660	NR
	Rapporto molare Mg/P	[-]	1,01	1,60	1,15	1,08	NR
Surnatante	Peso	[g/kg tq]	416	418	432	397	470
	ST	[%tq]	4,64	4,43	4,29	4,43	5,51
	NTK	[g/kg tq]	4,64	4,72	4,78	4,79	3,47
	Ptot	[mg/kg tq]	995	1002	1027	1073	1074
	P-PO <sub>4</sub>	[mg/kg tq]	NR	208	NR	NR	46
	Rapporto PO <sub>4</sub> /Ptot	[-]	NR	0,21	NR	NR	0,04

<b>Mg</b>	[mg/kg tq]	1593	1991	1563	1591	1125
<b>Rapporto molare Mg/P</b>	[-]	2,07	2,57	1,97	1,92	1,35

### Le prove con il prototipo

Il prototipo è stato messo a punto e testato in varie prove; sono riportate di seguito, come esempio, le caratteristiche operative e i risultati ottenuti in 3 prove (Tabella 2):

Nella **prova B2** il digestato, chiarificato dal *separatoro solido-liquido* aziendale e raccolto nel *serbatoio* (punto di campionamento della matrice *Chiarificato*), viene pompato nel *reattore di cristallizzazione concentrico*. Qui permane per circa 90 minuti, durante i quali è sottoposto ad insufflazione di aria per strappare CO<sub>2</sub> al fine di incrementarne il pH. In questa fase ha luogo la formazione di cristalli di struvite nel digestato. Nella successiva fase di trattamento, il digestato scende nel *reattore di precipitazione*, progettato per avere un tempo di ritenzione idraulica pari a 7 ore durante le quali i solidi sospesi e la struvite formata si sedimentano sul fondo del cono (punto di campionamento della matrice *Precipitato*). Il digestato, a fine processo, viene scaricato superficialmente dallo stramazzone posto alla sommità del reattore (punto di campionamento della matrice *Surnatante*). Nei test condotti in modalità B2 non sono stati utilizzati reagenti chimici.

La **prova M1** ha riguardato test con la sola aggiunta di una soluzione al 15% m/m di cloruro di magnesio (MgCl<sub>2</sub>) all'interno del *reattore di cristallizzazione*, col fine di ottimizzare i rapporti stechiometrici N:P:Mg.

La **prova T1** ha previsto: l'acidificazione con soluzione al 50% m/m di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> all'interno del *serbatoio*, con conseguente riduzione del pH fino a 7,5; il successivo passaggio del digestato chiarificato acidificato attraverso il microfiltro con conseguente produzione e campionamento di *Addensato e Microfiltrato* e pompaggio di quest'ultimo nel *reattore*; infine basificazione del microfiltrato con soluzione al 30% m/m di NaOH in concomitanza con l'aggiunta di soluzione al 15% m/m di MgCl<sub>2</sub> nel reattore.

Tabella 2 - Caratteristiche operative delle prove realizzate

Prove	[-]	B2	T1	M1
<b>Matrice in ingresso</b>	[-]	Digestato chiarificato	Digestato chiarificato	Digestato chiarificato
<b>Microfiltro</b>	[ON/OFF]	OFF	ON	OFF
<b>Portata pompa</b>	[l/h]	200	200	200
<b>pH serbatoio</b>	[-]	8,3	7,5	8,3
<b>pH reattore</b>	[-]	8,8	10	8,8
<b>Flusso acido<sup>a</sup></b>	[l/h]	0	9,0	0,0
<b>Flusso base<sup>b</sup></b>	[l/h]	0	6,0	0,0
<b>Flusso Mg<sup>c</sup></b>	[l/h]	0	4,5	4,5
<b>Acido utilizzato</b>	[l/m <sup>3</sup> ]	0	12 <sup>d</sup>	0
<b>Base utilizzata</b>	[l/m <sup>3</sup> ]	0	30 <sup>e</sup>	0
<b>Magnesio utilizzato</b>	[l/m <sup>3</sup> ]	0	23 <sup>e</sup>	23 <sup>d</sup>

<sup>a</sup> soluzione al 50% m/m di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

<sup>b</sup> soluzione al 30% m/m di NaOH

<sup>c</sup> soluzione al 15% m/m di MgCl<sub>2</sub>

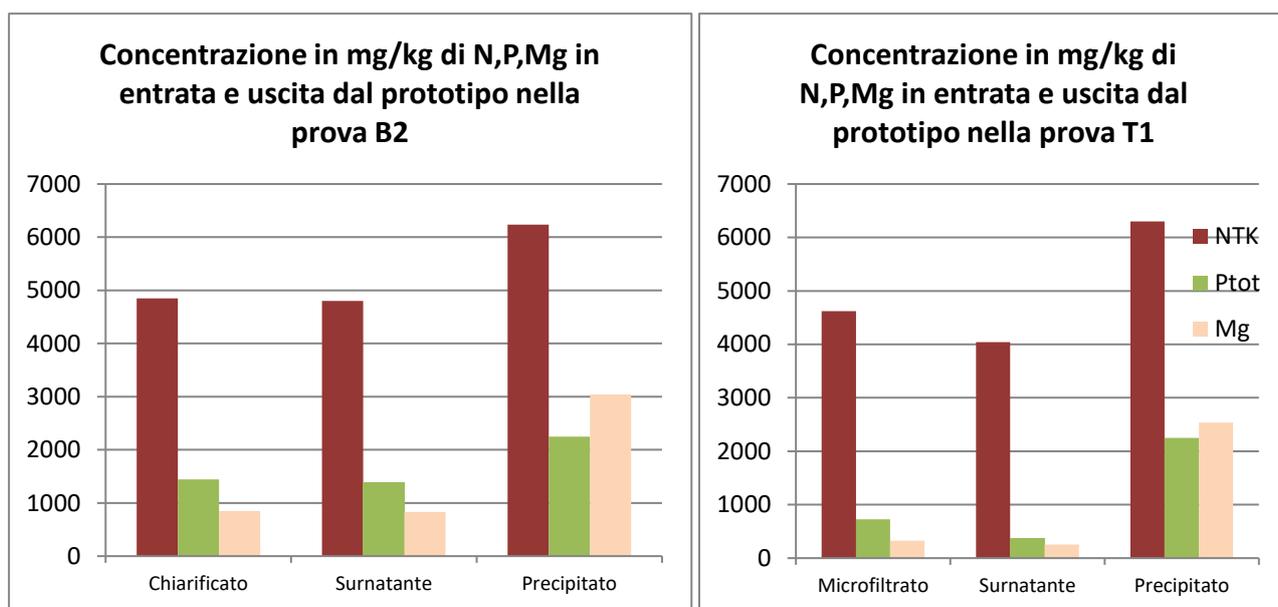
<sup>d</sup> litri per metro cubo di digestato chiarificato trattato

<sup>e</sup> litri per metro cubo di microfiltrato trattato

Tabella 3 - Caratterizzazione di tutte le matrici in ingresso e uscita nelle diverse prove

Prova	Matrice	pH	ST		SV		NTK		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Ptot		P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		Mg	
			[g/ kg tq]	[%tq]	[g/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%NTK]	[mg/ kg tq]	[%ST]	[mg/ kg tq]	[%Ptot]	[mg/ kg tq]	[%ST]
B2	Chiarificato	8,3	50	5,0	32	65	4848	9,8	2870	59	1445	2,9	154	11	862	1,7
	Surnatante	8,4	48	4,8	32	66	4800	9,9	2860	60	1390	2,9	156	11	827	1,7
	Precipitato	8,0	87	8,7	48	55	6238	7,4	3356	54	2248	2,6	273	12	2959	3,4
T1	Chiarificato	8,3	51	5,1	34	66	5074	9,9	2919	58	1370	2,7	294	21	785	1,5
	Addensato	7,5	67	6,7	41	62	5293	7,9	3104	59	1756	2,6	340	19	1098	1,6
	Microfiltrato	7,5	42	4,2	26	61	4621	11,0	3051	66	725	1,7	260	36	335	0,8
	Surnatante	9,1	36	3,6	16	45	4040	11,3	2782	69	367	1,0	112	31	272	0,8
	Precipitato	10,1	103	10,3	54	52	6298	6,1	3740	59	2247	2,2	179	8	2684	2,6
M1	Chiarificato	8,3	50	5,0	32	65	4842	9,8	2900	60	1237	2,5	232	19	697	1,4
	Surnatante	8,4	48	4,8	31	65	4671	9,7	2987	64	1378	2,9	228	17	760	1,6
	Precipitato	10,0	94	9,4	46	49	5663	6,0	3560	63	2434	2,6	156	6	1645	1,8

Figura 4 - Andamento N, P e Mg in due prove senza (B2) e con (T1) additivi e microfiltrazione



In tutte le tre prove (Tabella 3 e Figura 4) si è potuto osservare un aumento nel precipitato della concentrazione di N, P e Mg rispetto al digestato chiarificato alimentato. La grossa riduzione della percentuale ortofosfatica del fosforo totale nel precipitato T1 rispetto a quella del microfiltrato (8% vs 36%), in concomitanza con un aumento della concentrazione del fosforo totale (2247 vs 725 mg/kg tq), indica l'avvenuta precipitazione del fosforo ortofosfato, anche sotto forma di cristalli di struvite, come è stato confermato dall'osservazione al microscopio stereoscopico dei solidi contenuti nel precipitato (Figura 6).

#### La frazione densa ricca di struvite

I precipitati di tutte le prove, e in particolare della T1, hanno una discreta concentrazione di macronutrienti, e i rapporti stechiometrici N:P:Mg suggeriscono, nonostante l'eccesso di azoto, la presenza significativa di

struvite. A seguito di un'ulteriore lavorazione/raffinazione queste matrici possono diventare un fertilizzante commerciabile ai sensi del Regolamento Europeo 2019/1009.

Tabella 4 - Rapporti stechiometrici N:P:Mg nei precipitati

Prove	moli N	moli P	moli Mg
[-]	[moli/kg]	[moli/kg]	[moli/kg]
B2	0,45	0,07	0,12
T1	0,45	0,07	0,11
M1	0,47	0,08	0,06

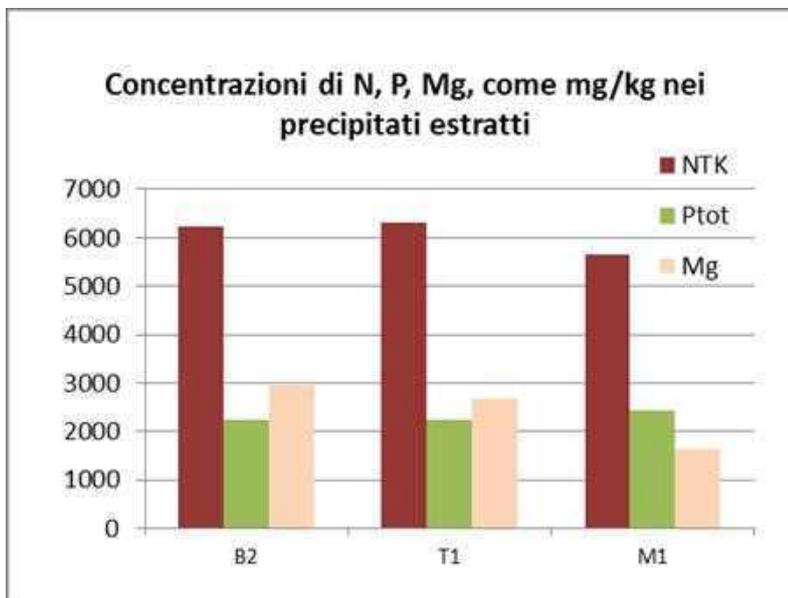


Figura 5 - Concentrazione di N, P, e Mg nei precipitati prodotti nelle tre prove



Figura 6 - Osservazione al microscopio stereoscopico dei cristalli di struvite

## Le emissioni

Il recupero di nutrienti dal digestato in una matrice stabile e di volume contenuto (precipitato) ha permesso di ottenere una frazione in uscita dal trattamento prototipale (surnatante) a ridotto tenore di azoto, fosforo e sostanza organica rispetto al digestato chiarificato in ingresso.

Attività non secondarie del GOI Struvite sono state, pertanto, la misura in campo delle emissioni di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) e gas a effetto serra quali metano ( $\text{CH}_4$ ) e protossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dallo stoccaggio e spandimento delle matrici derivanti dal trattamento prototipale rispetto allo stoccaggio e spandimento del digestato chiarificato tal quale ora presente in azienda.

Le matrici sottoposte a monitoraggio sono state quelle ottenute durante i test T1 (Tabella 3) e nello specifico il digestato chiarificato, la frazione addensata acidificata in uscita dalla microfiltrazione, la frazione precipitata contenente struvite e la frazione surnatante impoverita di nutrienti. La tabella 5 riporta la caratterizzazione chimico-fisica delle 4 matrici oggetto di stoccaggio e spandimento relativamente a quei parametri che possono influire sulle emissioni, quali pH, solidi totali (ST), solidi volatili (SV), azoto totale Kjeldah (NTK) ed azoto ammoniacale ( $\text{N-NH}_4^+$ ).

Tabella 5 – Valori analitici delle matrici oggetto di indagine

	pH	ST		SV		NTK		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		Ptot	
	[-]	[g ST/kg tq]	[%tq]	[g SV/kg tq]	[%ST]	[mg NTK/kg tq]	[%/ST]	[mg NH <sub>4</sub> /kg tq]	[%/NTK]	[mg/kg tq]	[%ST]
digestato CHIARIFICATO	8.3	51.2	5.1	33.9	66	5074	9.92	2919	58	1370	2.68
digestato ADDENSATO	7.5	66.6	6.7	41.3	62	5293	7.95	3104	59	1756	2.64
digestato TRATTATO	9.1	35.7	3.6	16.0	45	4040	11.33	2782	69	367	1.03
digestato PRECIPITATO	10.1	107.8	10.8	56.9	53	6424	5.96	3789	59	2294	2.13

Le emissioni misurate in occasione delle 5 sessioni di rilievo sono state integrate nel tempo e sono state determinate le emissioni totalizzate sul periodo (62 giorni) emesse da  $1\text{m}^3$ . Successivamente il dato emissivo è stato rapportato al kg di N stoccato relativamente alle emissioni di protossido d'azoto ed ammoniaca ed al kg di solidi volatili per le emissioni di metano.

Le emissioni di protossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dallo stoccaggio sono risultate trascurabili e non significativamente diverse per le varie tesi in quanto matrici chiarificate e prive di crosta (Figura 7).

La Figura 8 riporta le emissioni cumulate di metano ed ammoniaca. Al contrario, le emissioni di metano dalle frazioni risultanti dal trattamento (precipitato e surnatante trattato) hanno mostrato una potenzialità emissiva di metano dell'86% inferiore rispetto al digestato in ingresso (emissioni espresse in g di  $\text{CH}_4$  emessi durante la fase di stoccaggio per kg di solidi volatili (SV) presente in stoccaggio). Le emissioni di ammoniaca dallo stoccaggio del surnatante trattato e dalla frazione addensata, acidificata da pH 8,3 a 7,5, sono risultate rispettivamente del 42% e 77% inferiori rispetto al digestato chiarificato in ingresso (espresse in g di  $\text{NH}_3$  emessi durante la fase di stoccaggio per kg N stoccato) (figura 6). La matrice precipitata, ricca in azoto, ha mostrato emissioni simili al digestato in ingresso; da sottolineare che nella gestione reale non si prevede lo stoccaggio prolungato di tale prodotto, che dovrebbe essere disidratato e/o ceduto a un'azienda che lo valorizzi come componente base per la produzione di concimi azoto-fosfatici.

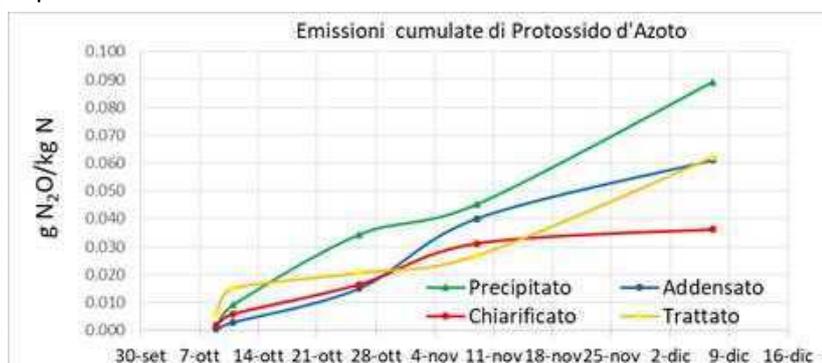


Figura 7 - Emissioni cumulate di protossido d'azoto dalla fase di stoccaggio delle diverse matrici.

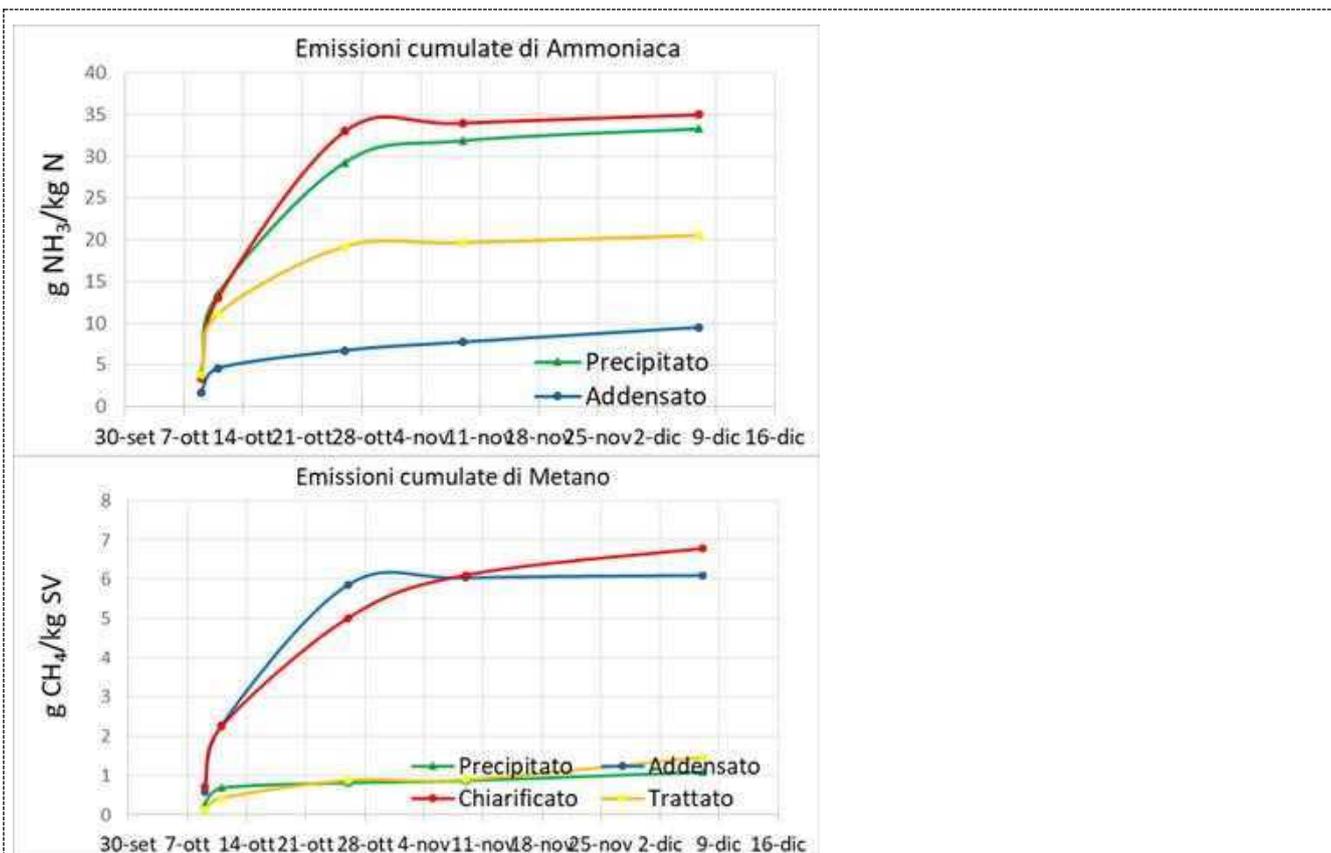


Figura 8 - Emissioni cumulate di ammoniaca e di metano dalla fase di stoccaggio delle diverse matrici.

Le diverse matrici sono state distribuite in campo su un terreno in cui era stato precedentemente coltivato sorgo nelle quantità e nelle dosi riportate in Tabella 6.

Le emissioni ammoniacali totalizzate dalla fase di utilizzazione agronomica delle singole matrici sono riportate in Figura 9 e sono espresse in percentuale sull'azoto distribuito per ettaro (Tabella 6).

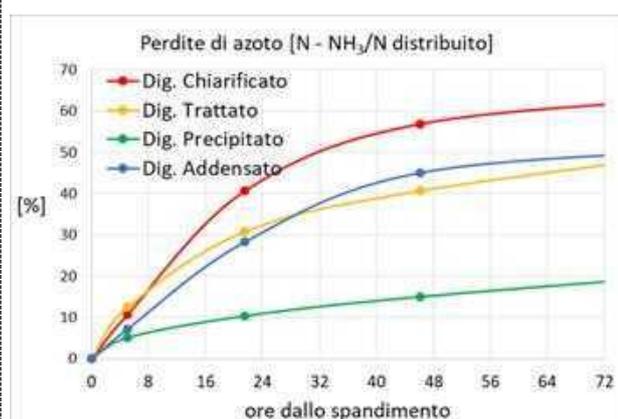


Figura 9 - Emissioni cumulate di ammoniaca dalla fase di spandimento delle diverse matrici.

In Figura 10 si illustrano le emissioni di protossido d'azoto generate in seguito allo spandimento delle diverse matrici, in Figura 11 le attività di rilievo delle emissioni ammoniacali con la tecnica "wind tunnel" ed in Figura 12 due momenti del rilievo delle emissioni di GHG dal suolo con la tecnica "static chamber".

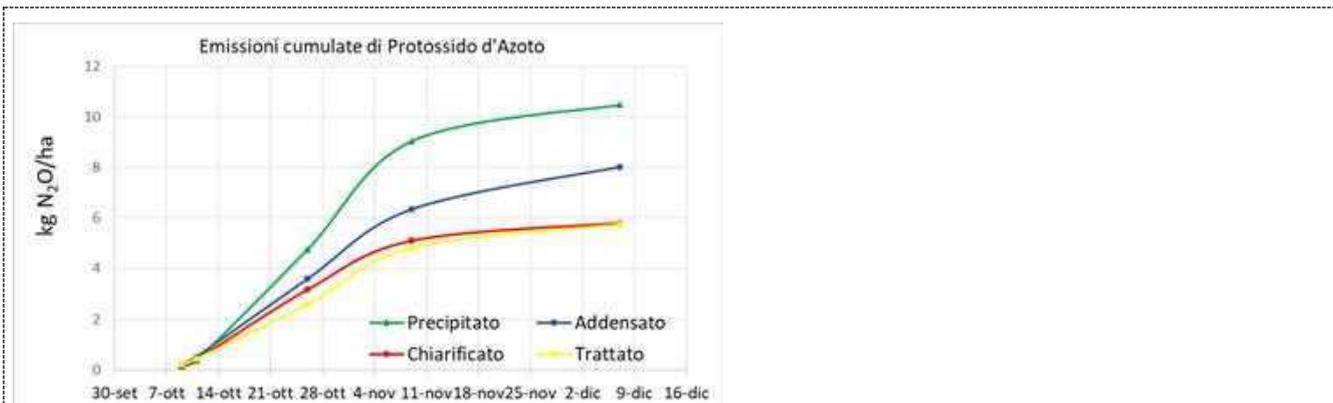


Figura 10 - Emissioni cumulate di protossido d'azoto dalla fase di spandimento delle diverse matrici.

Le emissioni azotate (sommatoria di N nell'ammoniaca e N nel protossido d'azoto), generate in seguito all'applicazione al suolo delle matrici trattate, sono risultate inferiori rispetto al digestato chiarificato: ridotte del 19% per il surnatante trattato, del 63% e del 19% rispettivamente per precipitato e addensato.

Non sono state rilevate emissioni di metano dal suolo per alcuna matrice, in linea con le sperimentazioni internazionali che indicano tale criticità solo per i terreni anossici quali quelle delle risaie.

Tabella 6 - Perdite azotate in atmosfera, di ammoniaca e protossido d'azoto (esprese come percentuale rispetto alla dose di azoto distribuita), dalla fase di utilizzazione agronomica delle diverse matrici

	Quantità distribuita	Dose N distribuita	Emissioni specifiche (*) (N-NH <sub>3</sub> /N distribuito)	Emissioni specifiche (N-N <sub>2</sub> O/N distribuito)	Emissioni specifiche (N/N distribuito)	Riduzione emissioni rispetto controllo
	[m <sup>3</sup> /ha]	[kg N/ha]	[%]	[%]	[%]	[%]
Digestato chiarificato	34	169	64	2	66	-
Digestato trattato	42	159	52	2	54	19%
Digestato precipitato	26	210	22	3	25	63%
Digestato addensato	32	170	51	2	53	19%

(\*) Emissioni totalizzate di ammoniaca nelle 72 ore successive allo spandimento per fini sperimentali, la normativa ne prevede l'interramento entro le 24 ore.



Figura 11 – Attività di monitoraggio delle emissioni di ammoniaca dalla fase di spandimento.



Figura 12 – Attività di monitoraggio delle emissioni di GHG dal suolo.

### Valutazione della sostenibilità ambientale dell'innovazione

La sostenibilità ambientale dell'innovazione proposta dal GOI Struvite è stata stimata applicando la metodologia LCA – *Life Cycle Assessment* o analisi del ciclo di vita. L'analisi LCA ha valutato tutti gli input e output della fase di stoccaggio degli effluenti andando così a determinare l'Impronta Carbonica (IC), il contributo al fenomeno di eutrofizzazione e acidificazione derivanti dalla gestione innovativa degli effluenti (*Trattamento*) rispetto a quella aziendale già in essere (*Controllo*). Il calcolo è stato condotto applicando i riferimenti metodologici dell'*IPCC 2019 Refinement to 2006*.

I confini del sistema oggetto di indagine sono riportati nelle figure 13 e 14 rispettivamente per le due tesi.



Figura 13 - Confini del sistema della tesi del controllo

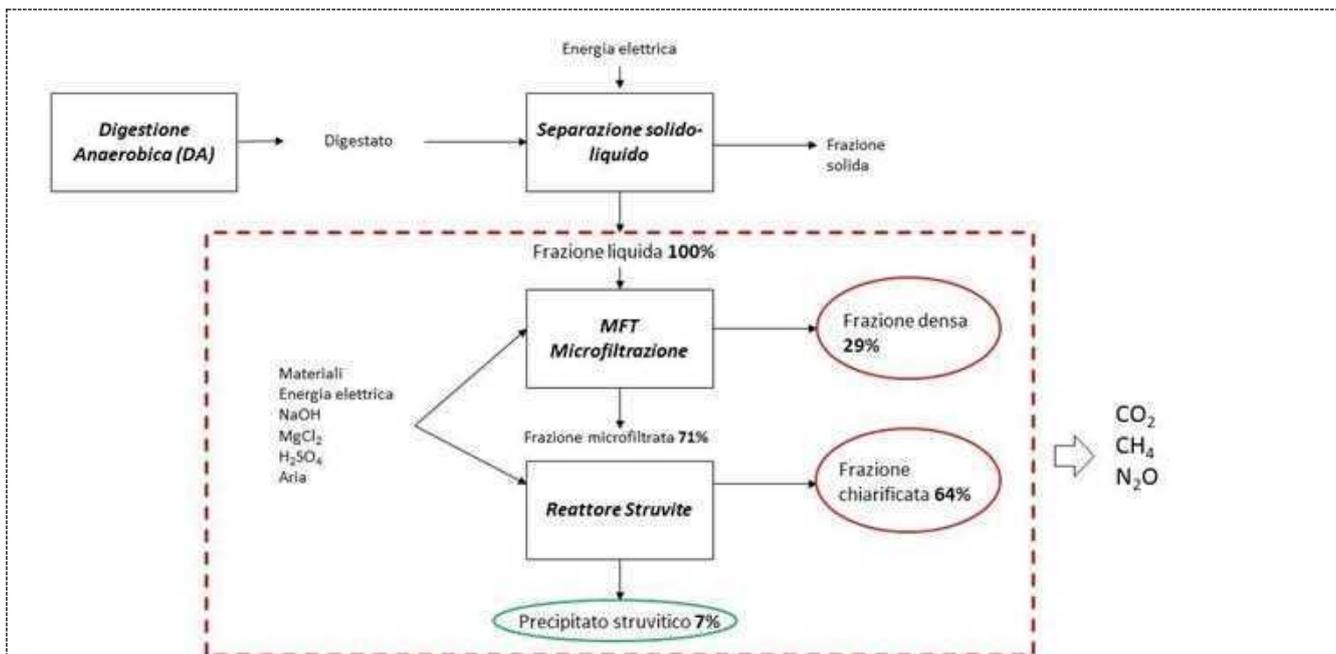


Figura 14 - Confini del sistema della tesi del trattamento

A partire dal contenuto di solidi volatili (SV) e azoto totale (NTK) sono state stimate le emissioni di metano ( $\text{CH}_4$ ) e protossido d'azoto ( $\text{N}_2\text{O}$ ) dallo stoccaggio della frazione densa e del surnatante per la tesi del trattamento e della frazione liquida in uscita dal separatore per la tesi del controllo. Nella tesi del trattamento rispetto al controllo sono state incluse le emissioni dovute alla produzione di materiali, reagenti ed energia per il funzionamento del prototipo e il beneficio ambientale dovuto all'applicazione di fertilizzante rinnovabile (4,57 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$  per kg di N recuperato 1,24 kg  $\text{CO}_2\text{eq}$  per kg di P (JRC, 2017)). Alla frazione densa del trattamento sono stati poi applicati i fattori di riduzione del 25% per il  $\text{CH}_4$  e del 50% per il  $\text{N}_2\text{O}$  dovuti all'abbassamento del pH in questa fase del processo di produzione della struvite.

I risultati dell'Impronta Carbonica (Figura 15) riportano un maggior contributo al cambiamento climatico della gestione tradizionale degli effluenti zootecnici rispetto all'innovazione proposta dal GOI Struvite (27,7 kg  $\text{CO}_2$  eq/ $\text{m}^3$  liquame del controllo rispetto a 18,5 kg  $\text{CO}_2$  eq/ $\text{m}^3$  liquame del trattamento).

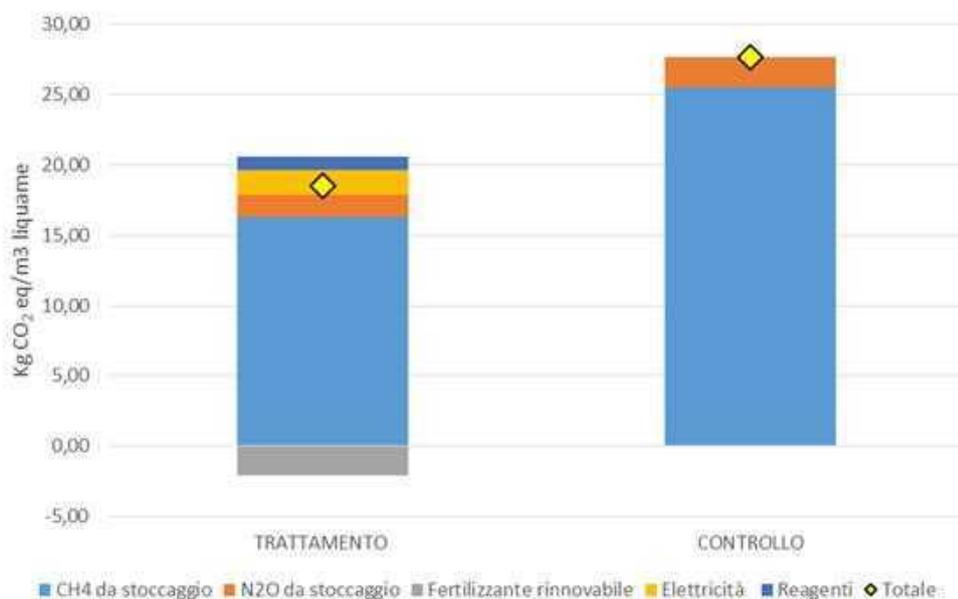


Figura 15 - Impronta Carbonica della gestione innovativa degli effluenti (Trattamento) rispetto alla gestione tradizionale (Controllo). I risultati sono espressi in kg  $\text{CO}_2\text{equivalente}/\text{m}^3$  di matrice stoccata, unità funzionale nella quale sono state convertite tutte le emissioni di gas serra ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) della fase di stoccaggio degli effluenti nelle rispettive due tesi.

Il minor impatto del trattamento rispetto al controllo è raggiunto grazie alla minore emissione di metano e protossido d'azoto dalla fase di stoccaggio dovuto al minor contenuto di azoto (NTK) e solidi volatili delle matrici stoccate e all'acidificazione della frazione addensata del trattamento; la produzione di fertilizzante rinnovabile garantisce una riduzione delle emissioni di CO<sub>2</sub> equivalente a 2 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> liquame.

Il metano emesso dalla fase di stoccaggio è il gas serra che contribuisce maggiormente alle emissioni del sistema in entrambe le tesi. Elettricità e reagenti per alimentare il prototipo incidono in maniera marginale sul totale dell'Impronta Carbonica.

Lo studio ha considerato non solo il contributo al cambiamento climatico espresso con la quantificazione dell'Impronta Carbonica, ma anche il contributo al fenomeno di eutrofizzazione e acidificazione. I risultati sono esplicitati in figura 16 e 17.

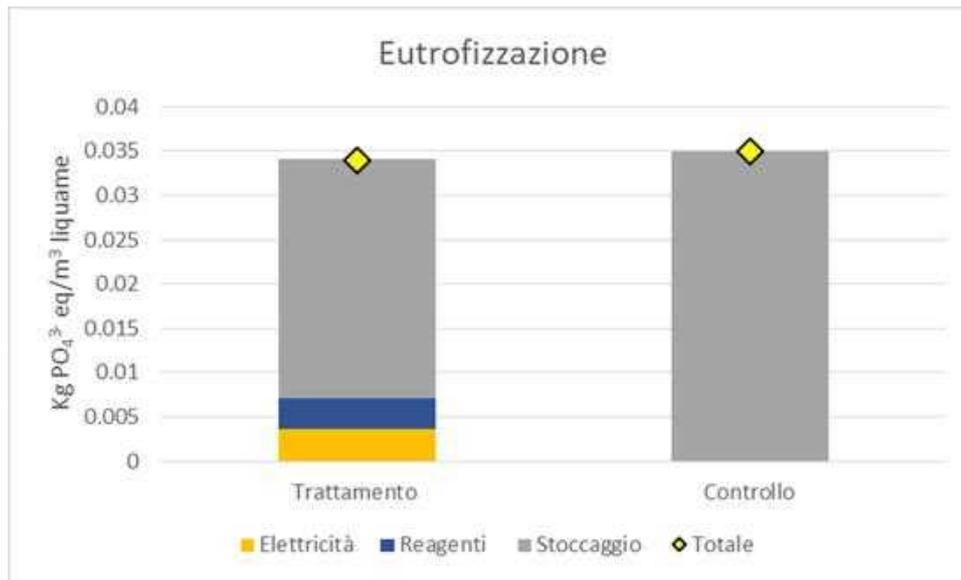


Figura 16 – Contributo al fenomeno di eutrofizzazione della gestione innovativa degli effluenti (Trattamento) rispetto alla gestione tradizionale (Controllo). I risultati sono espressi in kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/m<sup>3</sup> di matrice stoccata, unità funzionale nella quale sono state convertite tutte le emissioni di NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> della fase di stoccaggio degli effluenti nelle rispettive due tesi.

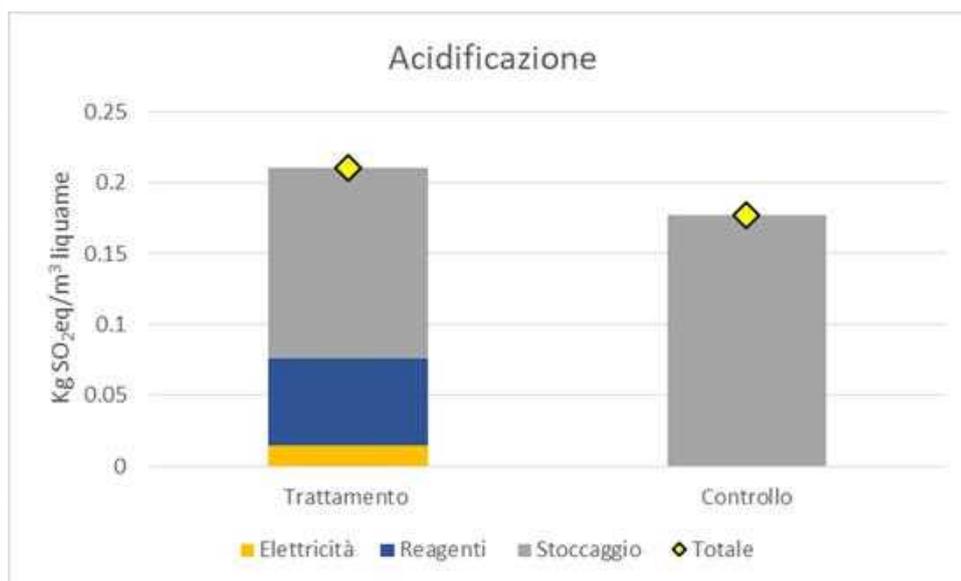


Figura 17 – Contributo al fenomeno di acidificazione della gestione innovativa degli effluenti (Trattamento) rispetto alla gestione tradizionale (Controllo). I risultati sono espressi in kg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> matrice stoccata, unità funzionale nella quale sono state convertite tutte le emissioni di NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> della fase di stoccaggio degli effluenti nelle rispettive due tesi.

Il trattamento non risulta efficiente nel ridurre il contributo ai fenomeni di eutrofizzazione e acidificazione. La gestione innovativa degli effluenti permette di ridurre le emissioni di NH<sub>3</sub> e GHG rispetto a quella aziendale, tuttavia l'impiego dei reagenti e dell'elettricità per il funzionamento del prototipo *Struvite* determinano un impatto del trattamento rispetto al controllo pressoché equivalente per l'eutrofizzazione (0,034 Kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eq/m<sup>3</sup> liquame rispetto a 0,035 Kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> eq/m<sup>3</sup> liquame) e maggiore invece per l'acidificazione (0,21 Kg SO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> liquame rispetto a 0,18 Kg SO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> liquame).

Ricerche future finalizzate a migliorare l'efficienza del prototipo potranno incidere anche sulla riduzione del contributo al fenomeno di acidificazione e eutrofizzazione.

### Valutazione della sostenibilità economica dell'innovazione

Avendo a disposizione i dati economici del solo sistema prototipale non risulta possibile estrapolare da essi il bilancio economico di un sistema industriale che implementasse l'innovazione qui presentata, poiché interverrebbero economie di scala difficilmente stimabili. E', inoltre, difficilmente quantificabile il beneficio economico generato dalla riduzione del tenore di azoto e fosforo nei liquami, dalla riduzione delle emissioni in fase di stoccaggio e spandimento e dal recupero di struvite. Non è, quindi, possibile, a questo stadio dell'innovazione, valutare la sostenibilità economica del processo in scala reale di recupero della struvite.

Essendo comunque state condotte le attività di rilievo dei costi di gestione e consumi elettrici, presentiamo qui i costi relativi al consumo elettrico e all'uso dei reagenti nel nostro prototipo, che non sono però generalizzabili/estrapolabili ad un sistema industriale in scala reale: il costo dei reagenti in particolare è dipeso in buona misura dal costo del loro trasporto e dai costi fissi relativi alla gestione dell'ordine; questi costi resterebbero invariati per ordini più grandi, a scala industriale, il che porterebbe il costo per kg di reagente ad essere ben più basso.

Tabella 7 - Costi dell'energia elettrica, assumendo un costo per kWh di 0,13 € e un flusso di 200 l/h

Strumento [-]	Tempo di utilizzo [h/gg]	Energia elettrica utilizzata [kWh/gg]	Costo [€/gg]
Pompa dosatrice H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	20	0,5	0,1
Pompa dosatrice MgCl <sub>2</sub>	20	0,5	0,1
Pompa dosatrice NaOH	20	0,5	0,1
Agitatore	24	8,9	1,2
Pompa serbatoio	24	9,6	1,2
Pompa MFT	1,2	12	1,6
Filtro rotante MFT	1,2	9	1,2
Soffiante	24	2,3	0,3
Compressore	24	3,6	0,5
<b>Tot</b>		47	6

Tabella 8 - Costo dei reagenti utilizzati nella prova T1, incluso il costo del loro trasporto e della gestione dell'ordine

Reagente [-]	Densità della soluzione [kg/l]	Quantità usata in T1		Costo reagenti	
		[l/m <sup>3</sup> tq]	[kg/m <sup>3</sup> tq]	[€/kg]	[€/gg]
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 50% m/m	1,4	45	64	0,57	174
NaOH al 30% m/m	1,3	30	40	0,35	67
MgCl <sub>2</sub> al 15% m/m	1,2	23	27	0,69	89
<b>Tot</b>		98	131		331

Risulta un costo complessivo di energia elettrica e reagenti di 337 € per giorno di funzionamento del prototipo secondo le modalità gestionali della prova T1, quella che ha previsto il massimo utilizzo di reagenti chimici.

### Conclusioni

Il recupero di fosforo e azoto dai digestati agro-zootecnici attraverso lo sviluppo e l'implementazione del sistema prototipale Struvite è risultato tecnicamente fattibile; il precipitato contenente struvite deve, però, essere ulteriormente raffinato/valorizzato, ad esempio da un produttore di fertilizzanti, per poter effettivamente sostituire i minerali fosfatici con fosforo di recupero in accordo col nuovo regolamento europeo sui fertilizzanti.

Specialmente nelle prove con acidificazione, basificazione e microfiltrazione il surnatante risulta significativamente impoverito in azoto e fosforo rispetto al digestato chiarificato in ingresso. Infatti, il trattamento prototipale del digestato è stato efficace nel ridurre le emissioni di ammoniaca e gas serra, in particolare metano, dalla gestione dei digestati zootecnici. Il ridotto contenuto di azoto nel flusso di digestato in uscita dal trattamento ha permesso di ridurre le emissioni ammoniacali del 42% dallo stoccaggio e del 19% dallo spandimento rispetto al digestato chiarificato non trattato, mentre il limitato tenore di sostanza organica ha determinato una riduzione delle emissioni di metano dalla fase di stoccaggio dell'86%.

I risultati dell'Impronta Carbonica (Figura 15) riportano un maggior contributo al cambiamento climatico della gestione tradizionale degli effluenti zootecnici rispetto all'innovazione proposta dal GOI Struvite (27,7 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> liquame del controllo rispetto a 18,5 kg CO<sub>2</sub> eq/m<sup>3</sup> liquame del trattamento).

L'elevata concentrazione di solidi e sostanza organica nel digestato, anche se sottoposto a separazione solido/liquido, risulta invece ancora una criticità; il sistema di trattamento prototipale può e deve essere ulteriormente efficientato.

Data .....

Firma del Procuratore

\_\_\_\_\_  
Dott. Paolo Mantovi

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

<sup>1</sup> (\*) In caso di firma autografa allegare copia di un documento di identità in corso di validità

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