

WEBINAR

**La filiera del biogas e
biometano in Italia: lo
stato e le prospettive
per il settore agricolo**

17 ottobre 2023, ore 9,30

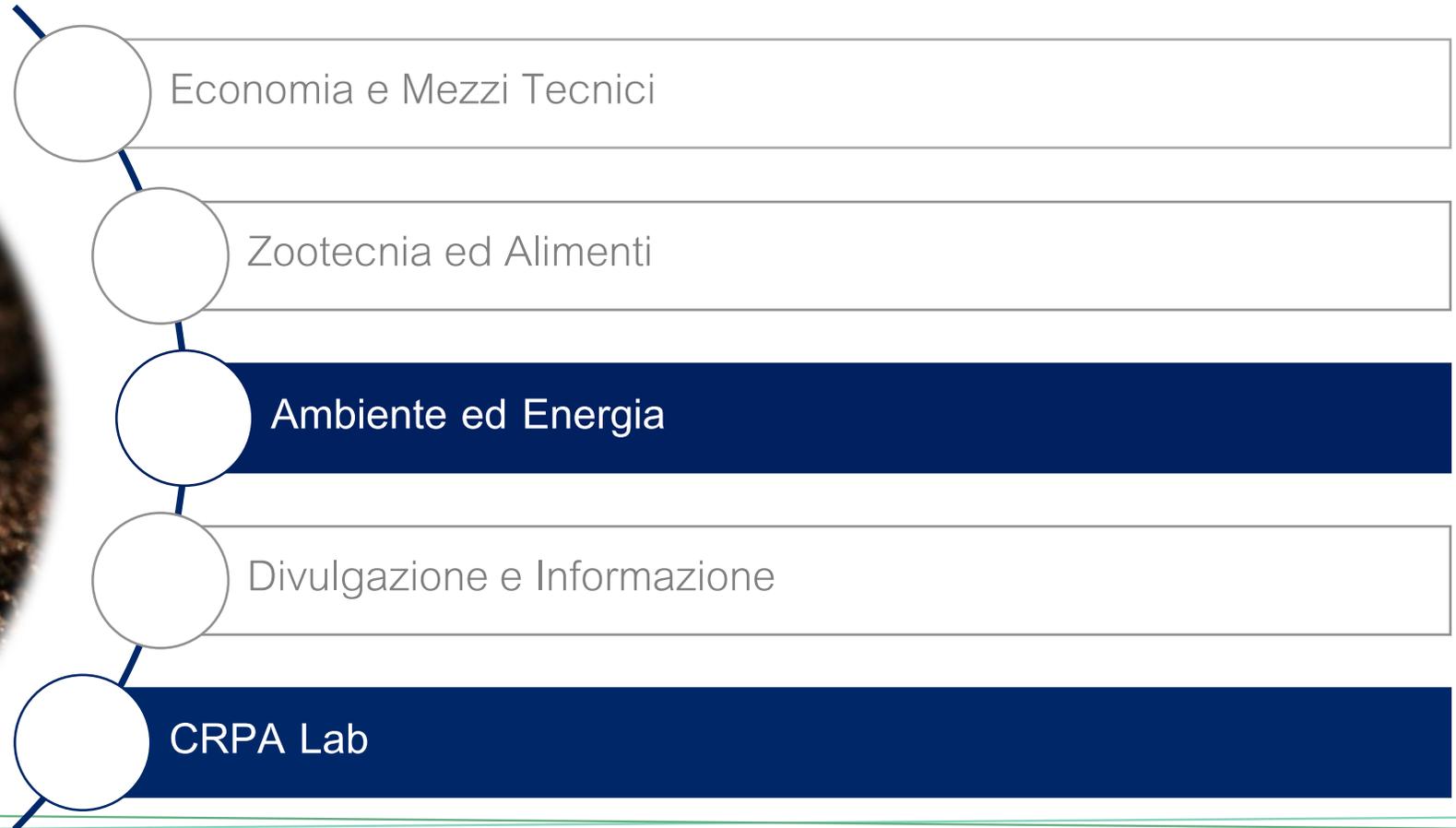
**Il trattamento del digestato per
il recupero e la valorizzazione
dei nutrienti**

Sergio Piccinini

CRPA 

Centro Ricerche Produzioni Animali

CRPA – Centro Ricerche Produzioni Animali



LABORATORI AMBIENTE-ENERGIA

- Caratterizzazione di scarti e sottoprodotti organici di imprese agroalimentari per la valorizzazione in biogas e in fertilizzanti
- Misura del Potenziale Biochimico di Metanazione (BMP) e test in continuo di digestione anaerobica di biomasse in reattori pilota
- Tecniche di gestione delle biomasse:
 - Pre-trattamento per aumentare la resa energetica
 - Post-digestione anaerobica per la riduzione e/o il recupero di nutrienti
- Analisi chimiche su biomasse, analisi rapide NIR su matrici organiche e suoli, analisi gas serra e clima alteranti, analisi olfattometriche (odori)



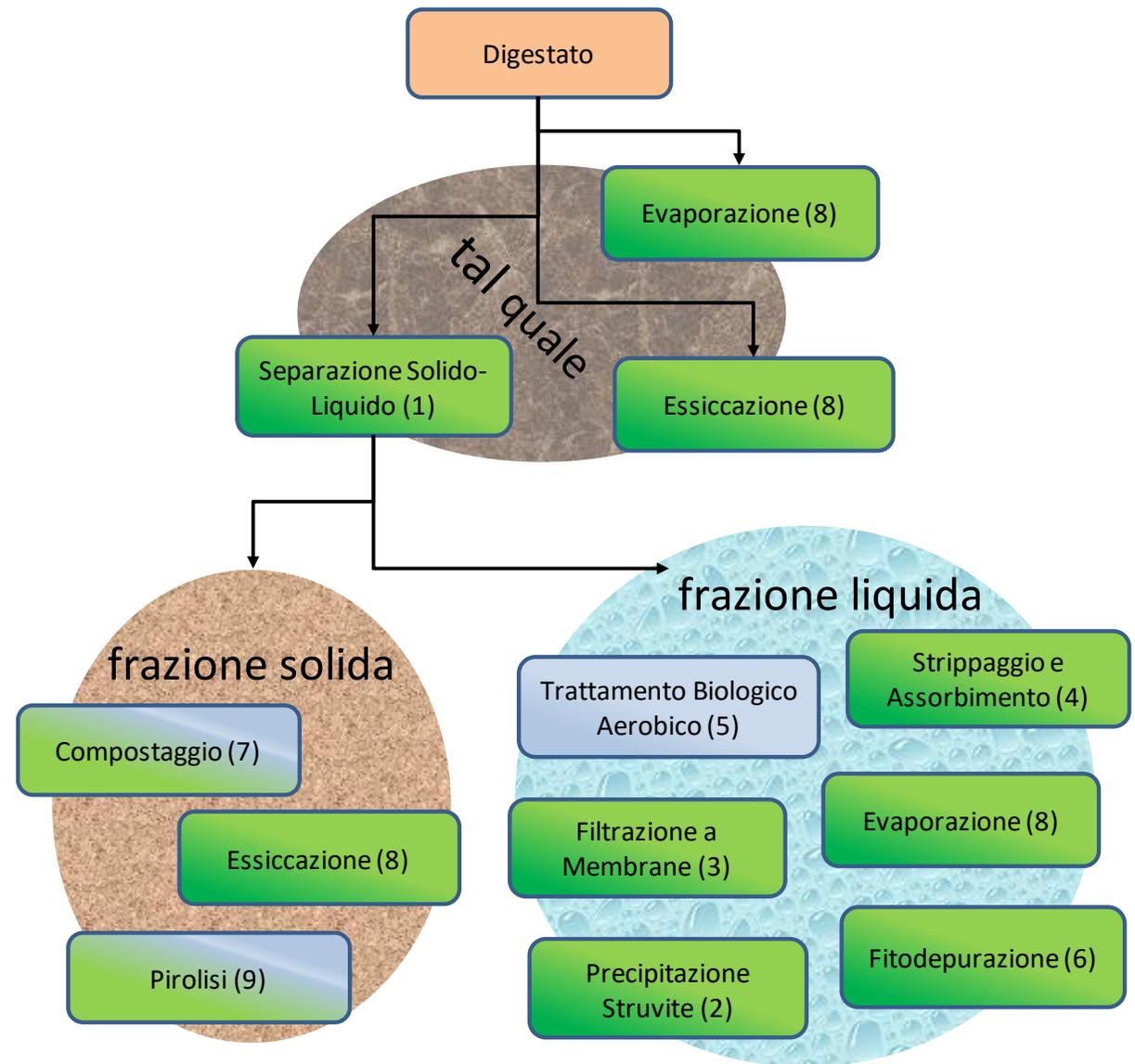
Il digestato

- Il digestato è il sottoprodotto del processo di digestione anaerobica e può essere utilizzato come materiale fertilizzante sulle colture agrarie.
- Non sempre, però, i terreni agricoli utili per l'uso agronomico del digestato sono disponibili in quantità sufficiente nelle vicinanze dell'impianto di biogas. La delocalizzazione dei digestati verso aree agricole ricettive non è sempre perseguibile, sia per i costi di trasporto che per le difficoltà di convincere gli agricoltori ad accettarli.
- Da qui l'esigenza di ricorrere anche a tecnologie di recupero e valorizzazione dei nutrienti (N, P e C) contenuti nei digestati.

Il trattamento del digestato

- **tecnologie di recupero:** sono tecnologie che concentrano le diverse forme di azoto e/o altri elementi fertilizzanti, quali fosforo e potassio, in uno o più flussi, per renderli più facilmente trasportabili e utilizzabili ai fini agronomici. I processi di questo tipo sono di natura chimica e/o fisica e sfruttano fonti energetiche spesso disponibili a basso costo in azienda, quale il calore da cogenerazione del biogas.
- **tecnologie di abbattimento/rimozione:** le tecnologie di questo tipo operano quasi esclusivamente su sistemi biologici e hanno lo scopo di trasformare le forme di azoto presenti nei digestati in azoto atmosferico (N_2). Una delle tecnologie più conosciute è la nitrificazione/denitrificazione biologica, ovvero sue varianti processistiche a ridotto consumo di ossigeno, con impiantistiche più o meno complesse.

Panoramica delle principali tecniche di trattamento e della loro possibile applicazione alle diverse frazioni del digestato

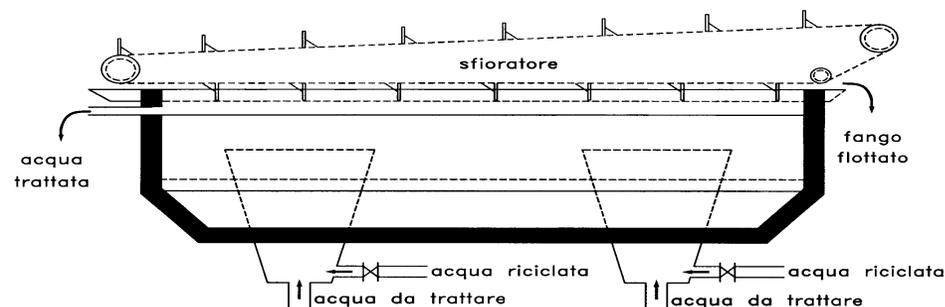
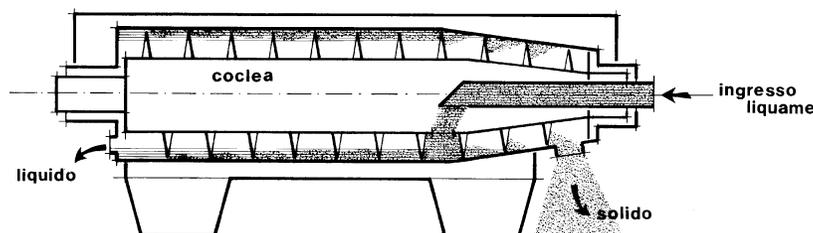
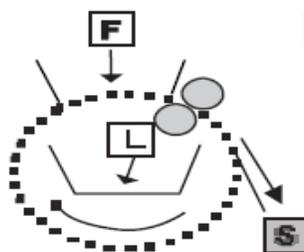
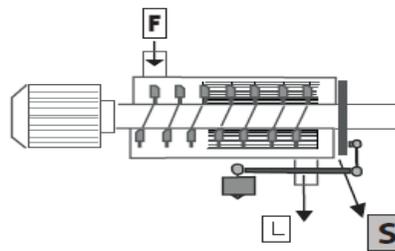


1. Separazione Solido-Liquido

- Con la separazione solido-liquido si ottengono una frazione solida o densa ed una liquida chiarificata:
- la frazione solida ha un tenore di sostanza secca relativamente elevato (dal 15 sino al 30% circa a seconda della tecnica utilizzata e del materiale in ingresso) e può avere consistenza da pastosa a palabile; concentra in se la sostanza organica ed i nutrienti sotto forma organica, a più lento rilascio;
- la frazione chiarificata è generalmente caratterizzata da tenori di sostanza secca da 1 a 8% circa e concentra in se i composti solubili, tra cui l'azoto in forma ammoniacale, a più pronto effetto concimante.
- Le tecniche di separazione solido-liquido giocano e giocheranno un ruolo importante nel recupero dei nutrienti. Gli sforzi futuri dovrebbero concentrarsi sull'ottimizzazione delle prestazioni delle tecnologie al fine di ridurre i costi di esercizio, aumentando nel contempo il contenuto di nutrienti nella frazione solida.

Le tecniche di separazione solido-liquido più appropriate per il trattamento dei digestati sono:

- compressione elicoidale,
- rotativa a rulli contrapposti,
- microfiltrazione meccanica
- centrifugazione orizzontale,
- flottazione.



Efficienze di separazione della tecnica a compressione elicoidale e a rulli contrapposti in **percentuale** (valori medi, tra parentesi deviazione standard) con digestato da liquame bovino e biomasse vegetali

Tipo di separatore	Peso	Solidi totali	Solidi volatili	Azoto totale	Azoto ammoniacale
Compressione elicoidale	9,6 (±4,7)	30,2 (±9,7)	35,8 (±11,3)	12,9 (±4,5)	7,8 (±4)
Rulli contrapposti	8,6 (±7)	26,8 (±17,6)	32,1 (±19,7)	13,6 (±7,9)	10,3 (±6,3)

Efficienze ottenibili con centrifuga e flottatore nella rimozione dei solidi totali o sostanza secca e dei nutrienti (N e P) e caratteristiche della frazione solida separata

Dispositivo di separazione	Efficienza di separazione			Frazione solida o densa separata			
	ST (%)	NTK (%)	P (%)	ST (%)	NTK (kg/t)	P (kg/t)	kg/m ³ liquame
Flottatore	50-70	30-40	80-90	7-10	3,4-4,8	2,1-3,5	350-450
Centrifuga ad asse orizzontale	50-75	20-35	60-70	20-28	7,0-11,0	6,0-10,0	100-200

(dati CRPA)

2. Precipitazione e cristallizzazione Struvite

- La **struvite** o **magnesio ammonio fosfato (MAP) esaidrato** è un composto cristallino costituito da ioni Mg^{2+} , NH_4^+ e PO_4^{3-} , in rapporto 1:1:1. La formazione della struvite avviene secondo la formula: $Mg^{2+} + NH_4^+ + PO_4^{3-} + 6H_2O \rightarrow MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$.



- La struvite è un composto di colore bianco o biancastro, poco solubile in acqua, molto solubile in soluzione acide e altamente insolubile in soluzioni alcaline.
 - La cristallizzazione e il recupero della struvite dai digestati possono essere condotti in reattori ove vengono realizzate le condizioni idonee per la sua precipitazione controllata, che avviene a valori di pH maggiori di 8.
- il Nuovo Regolamento Europeo 2019/1009 sui Fertilizzanti include la **Struvite** tra i fertilizzanti di recupero, commercializzabile sul territorio dell'intera Unione Europea.

Le tecnologie applicate

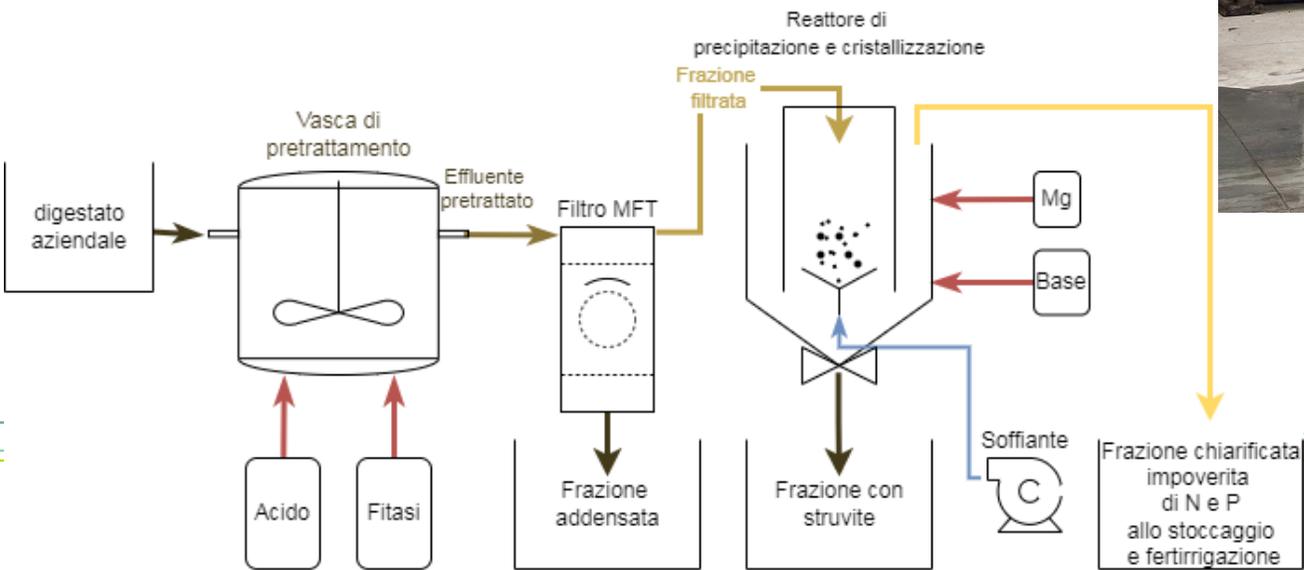


Reattore per la precipitazione della Struvite in funzione su acque di processo di uno stabilimento di lavorazione patate in Belgio.

- Il recupero di azoto e fosforo mediante la produzione di Struvite è stato finora applicato a scala reale solo in pochi casi e soprattutto ad acque reflue urbane in impianti di depurazione, per esempio negli impianti di trattamento delle acque con recupero di struvite dai surnatanti della digestione anaerobica.
- Il recupero di azoto e fosforo mediante precipitazione controllata della struvite è potenzialmente importante ovunque vi siano reflui con un'elevata concentrazione di fosforo.
- In condizioni operative sono state dimostrate efficienze di rimozione che arrivano a 70% per l'azoto e al 90% per il fosforo, su reflui civili e/o industriali.
- In Italia **non** sono documentati casi, su scala aziendale, di questo tipo di processo applicato agli effluenti zootecnici e/o ai digestati agrozootecnici o da Forsu.

Prototipo GOi Struvite

Layout della linea di trattamento



Il prototipo installato in un allevamento suinicolo con impianto di biogas

3. Filtrazione a membrane (micro-ultra-nano e Osmosi Inversa)

• I sistemi di filtrazione a membrane sono utilizzati da tempo per la potabilizzazione delle acque, ma negli ultimi anni sono stati oggetto di indagini anche per il trattamento degli effluenti zootecnici e dei digestati. I sistemi di filtrazione sono in grado di rimuovere la sostanza organica, N, P e K dal digestato. Ci sono quattro tipi di tecniche: **microfiltrazione (MF)**, **ultrafiltrazione (UF)**, **nanofiltrazione (NF)** e **osmosi inversa (OI)**.

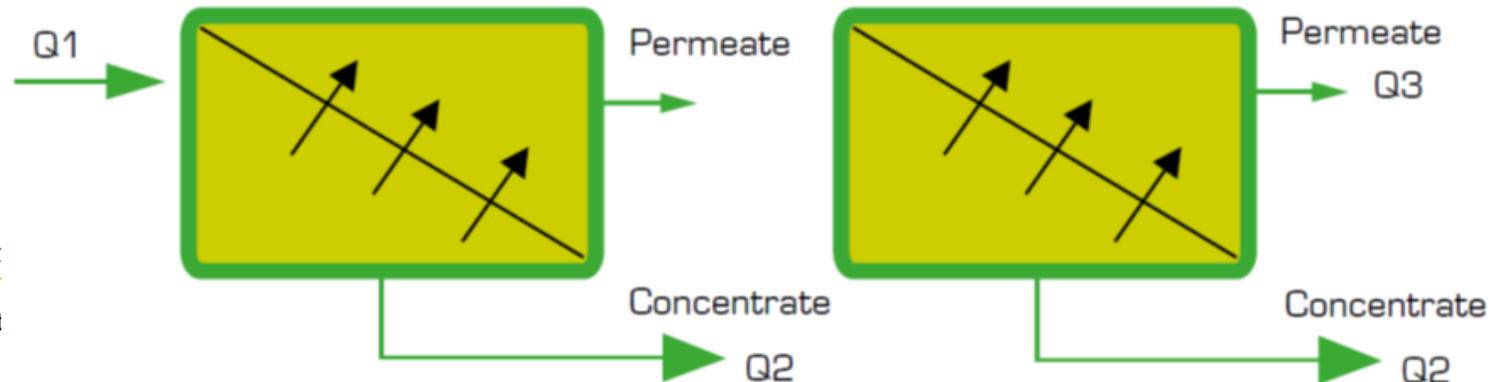
• Queste tecniche rientrano in due gruppi, MF e UF servono per rimuovere i solidi sospesi, mentre NF e OI possono essere utilizzati per la rimozione di N e K.

Schema del processo di filtrazione:

Q_1 = digestato in alimentazione;

Q_2 = concentrato/addensato in uscita;

Q_3 = permeato/chiarificato in uscita



I processi di filtrazione

Tipo	Dimensione dei pori (μm)	Pressione (bar)	Flusso (litri per m^2 per ora)
MF	0,03 - 10	0,1 - 2,0	> 50
UF	0,002 - 0,1	1 - 5	10. - 50
NF	0,001 - 0,01	5 - 20	1,4 - 12
OI	0,0001	10 - 100	0,05 - 1,4

Rendimenti: MF può rimuovere il 75% dei solidi sospesi, 85% del COD, ma meno del 20% dell'N. L'UF può rimuovere quasi il 90% di P. L' NF ha dimostrato di poter rimuovere il 52% dell'azoto ammoniacale e il 78% del K. Per quanto riguarda la OI, la percentuale di ritenzione dell'azoto ammoniacale è risultato essere nel range 93% - 99,8%, con produzione di un concentrato con un contenuto di azoto ammoniacale compreso nell'intervallo 6-10 g/l. La ritenzione dei Solidi totali, nei sistemi OI, è compresa tra l'83 e il 100%.

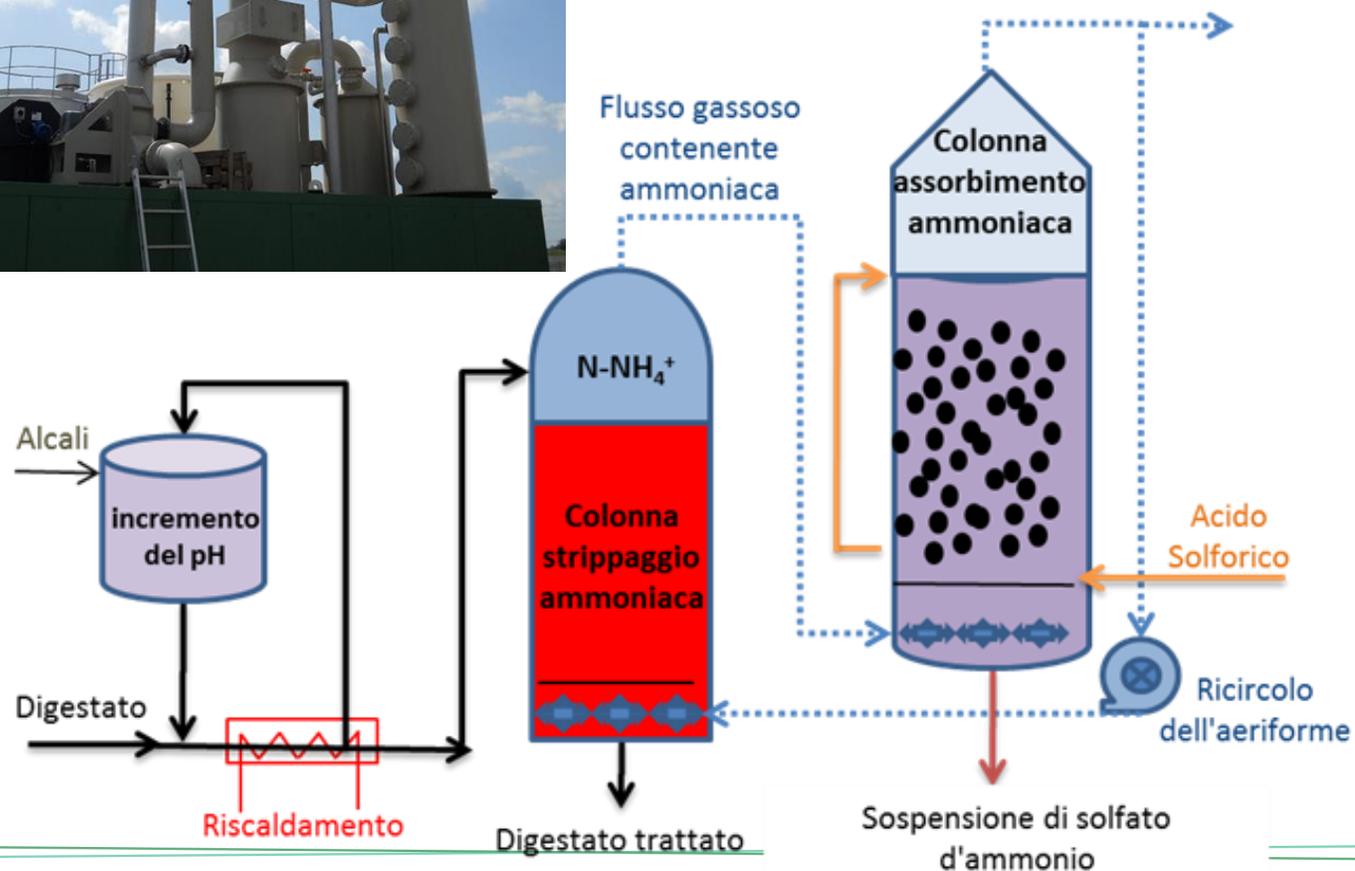
La ritenzione delle particelle è nell'ordine MF<UF<NF<NF<OI e ciò significa che i risultati sono migliori a scapito di un aumento della pressione (e del consumo energetico) e della diminuzione del flusso.



- Questa tecnologia avanzata offre la possibilità di separare la parte chiarificata del digestato in due frazioni: il permeato con qualità simili all'acqua che possiamo trovare nei corpi idrici superficiali; il retentato o concentrato che contiene gli elementi nutritivi (N e P) e la sostanza organica e che può essere valorizzato a fini fertilizzanti.
- Gli svantaggi della tecnologia sono:
 - la necessità di un trattamento precedente di separazione solido-liquido ad alta efficienza;
 - i non trascurabili costi operativi energetici, per la pressurizzazione, e chimici per il lavaggio delle membrane;
 - la limitata esperienza sull'affidabilità delle membrane nel trattare il digestato e sul mantenimento delle performance nel tempo.

4. Strippaggio e Assorbimento Ammoniaca

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 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).

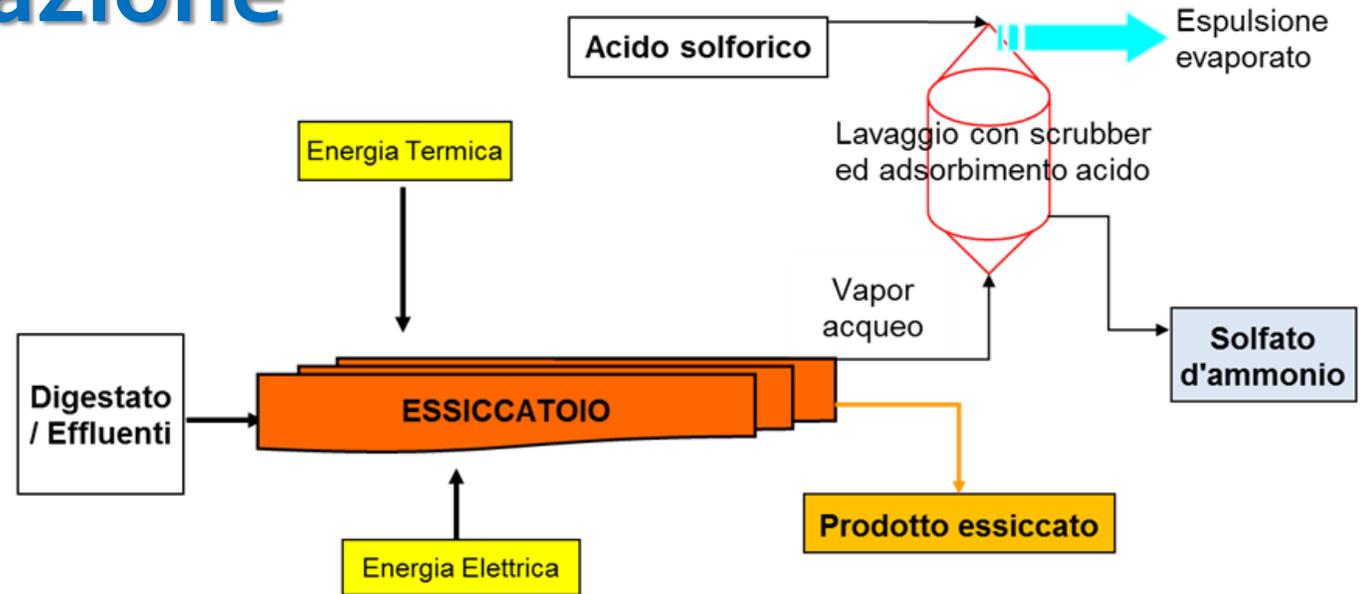


- I due parametri fondamentali di controllo del processo sono la temperatura e il pH, in quanto sono loro a stabilire l'equilibrio tra ammoniacale (NH_3) e ione ammonio (NH_4^+):
- Il pH è generalmente mantenuto tra 9 e 10, con l'aggiunta di una base (NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$...) o il precedente stripping della CO_2 ;
- Per lo stripping con aria le temperature di lavoro tipiche sono inferiori ai 100°C , mentre temperature più elevate sono caratteristiche dello stripping con vapore;
- H_2SO_4 o HNO_3 possono essere utilizzati per assorbire l' NH_3 dalla fase gas nella colonna di assorbimento;
- L'uso del biogas in cogenerazione può fornire l'energia termica necessaria per riscaldare il digestato; operando ad elevate temperature ($65 - 75^\circ\text{C}$) si raggiungono efficienze di rimozione dell'azoto ammoniacale elevate anche senza correzione del pH.

- La tecnica è tanto più efficiente nel rimuovere e recuperare l'azoto quanto maggiore è la percentuale di azoto ammoniacale, come % di NTK.
- La % di azoto ammoniacale nel digestato dipende dalle matrici caricate al digestore, può andare dal 30-40% nel caso di sole colture energetiche sino al 85% con effluenti suini o avicoli.
- 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%
- La diffusione della tecnologia dello strippaggio/assorbimento dell'ammoniaca dai digestati dipende da due fattori: i costi di investimento e di esercizio 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 basso contenuto di sostanze organiche, per coprire in parte i costi operativi.

8. Essiccazione/Evaporazione

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 si abbina alla digestione anaerobica in quanto sfrutta l'energia termica in surplus delle unità di cogenerazione alimentate a biogas.



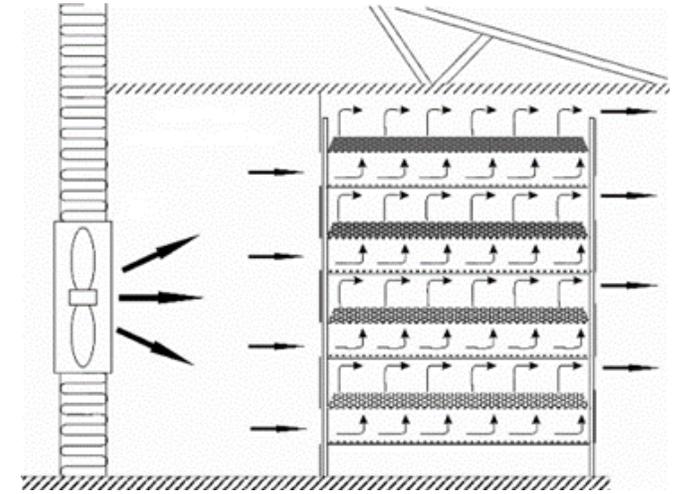
Obiettivi:

- 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.

Tipologie di impianti di essiccazione/evaporazione utilizzate nel trattamento del digestato

Processo	Modalità di trasferimento del calore	Tipologia di dispositivo impiegato	Circuito del flusso aeriforme di essiccazione
Essiccazione a basse temperature (< 110°C)	Tramite scambiatore di calore (Energia termica dell'acqua e/o dei fumi)	Essiccazione con nastro ventilato o dischi rotanti sovrapposti	Aperto, con scarico in atmosfera previo adsorbimento acido
	Uso diretto dei fumi		
Essiccazione ad alte temperature (>> 120°C)	Tramite scambiatore con Olio diatermico o uso diretto dei fumi	Essiccazione a cilindro rotante	Aperto, con scarico in atmosfera previo adsorbimento acido
		Essiccazione con rotore interno	Chiuso con condensazione e ricircolo dell'aeriforme
			Aperto, con scarico in atmosfera previo adsorbimento acido
			Chiuso con condensazione ricircolo dell'aeriforme
Evaporazione	A singolo stadio	Pressione ambiente o in depressione / sottovuoto	Aperto, con scarico in atmosfera previo adsorbimento acido
	Multistadio con condensazione del vapore e recupero del cascame termico		Chiuso con condensazione e ricircolo dell'aeriforme

Digestato essiccato (a sinistra), camera di essiccazione con all'interno il nastro ventilato (blu), scrubber per il recupero dell'azoto ammoniacale nell'evaporato (bianco) ed insacchettamento del prodotto in big bag



All'interno dell'essiccatoio, l'aria calda attraversa il nastro forato ventilato ed investe lo strato di digestato facendone evaporare l'acqua. Il nastro può avere più livelli. Il digestato umido viene caricato nel livello superiore ed all'estremità opposta viene scaricato sul livello inferiore. Il prodotto essiccato finale esce dall'ultimo livello del nastro

Prestazioni

- La sostanza secca del prodotto essiccato finale può arrivare a 80-90%, si può pellettizzare.
- Azoto (considerando 100 NTK in input all'essiccazione e N-NH_4^+ pari al 40-45% di NTK): 60% N nel prodotto finale essiccato; 40% N nella soluzione di solfato di ammonio dallo scrubber.
- Recupero quasi totale nella frazione essiccata del P, K, micronutrienti e minerali.
- Consumi di energia termica: 1.1–1.3 kWh/kg di acqua evaporata con 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 a 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.
- L' essiccazione termica aiuta il riciclaggio dei nutrienti e la produzione di fertilizzanti "rinnovabili", in un'ottica di economia circolare.

Conclusioni

- In un momento in cui i fertilizzanti di sintesi stanno subendo importanti rincari e le politiche di sviluppo rurale si stanno orientando al Green Deal e alla strategia Farm to Fork, diviene imprescindibile lavorare nella direzione di incrementare la circolarità dei nutrienti, includendo tra questi anche il carbonio (principale costituente della sostanza organica).
- La via della delocalizzazione dei digestati 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 digestato per la fertilizzazione dei loro terreni.
- Da qui l'esigenza di ricorrere anche a tecnologie di recupero e valorizzazione del contenuto di nutrienti nei digestati, per ottenere fertilizzanti di recupero.
- A questa crescente domanda l'industria di mezzi tecnici sta cercando di dare una risposta offrendo soluzioni tecnologiche che dovrebbero rispondere ai requisiti della sostenibilità economica e dell'applicabilità in un contesto aziendale agricolo.



Grazie per l'attenzione

www.crpa.it

Sergio Piccinini
s.piccinini@crpa.it