Fondo Europeo Agricolo per lo Sviluppo Rurale: l'Europa investe nelle zone rurali

Impianto innovativo per la rimozione Conservativa dell'Azoto da effluenti zootecnici e digestato

ConservA

cofinanziato dal FEASR - OPERAZIONE 16.1.01 – "Gruppi operativi PEI" del Programma di Sviluppo Rurale 2014 - 2020
Autorità di Gestione del Programma: Regione Lombardia

Relazione sintetica della funzionalità dell'impianto pilota

Febbraio 2023

Principio di funzionamento e descrizione dell'impianto

Il principio di funzionamento dell'impianto Conserva si basa sulla naturale volatilizzazione dell'ammoniaca contenuta negli effluenti. Questo fenomeno viene favorito con l'aumentare di:

- pH dell'effluente,
- temperatura dell'effluente/ambiente,
- superficie di scambio tra liquame e aria,
- velocità dell'aria sulla superficie del liquame,
- movimentazione della massa di liquame.

Il processo adottato nel progetto ConservA stimola i fenomeni che normalmente si cerca di bloccare per limitare le perdite di ammoniaca nell'ambiente. In pratica, il processo è finalizzato a promuovere il rilascio naturale di ammoniaca, in modo da catturarla sotto forma minerale. Questo processo si basa su uno strippaggio a lento rilascio, il cui principio di funzionamento (Figura 1) è molto semplice. Lo strippaggio a lento rilascio consiste nell'immissione di un flusso di aria nello spazio di testa di un reattore, all'interno del quale è presente il liquame preventivamente separato, eventualmente riscaldato e miscelato in continuo. Il flusso di aria lambisce la superficie del liquame, si carica di ammoniaca e raggiunge uno scrubber. In quest'ultimo passaggio del processo, l'aria carica di ammoniaca è sottoposta a un lavaggio con una soluzione di acido solforico che porta alla formazione di solfato ammonico.

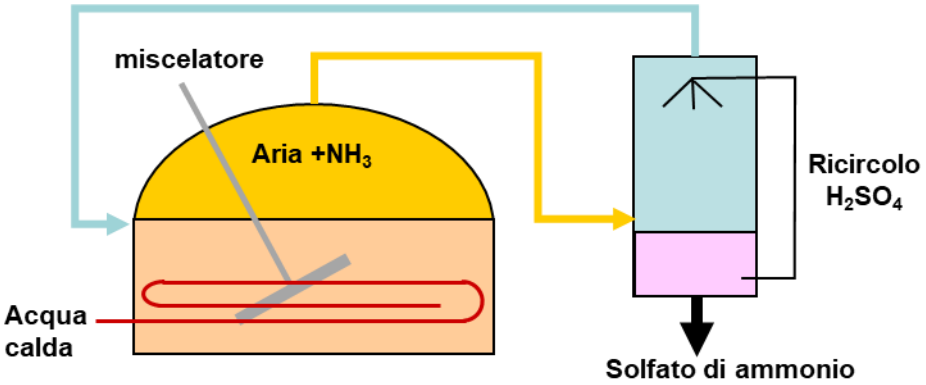

Figura 1 - Principio di funzionamento del sistema di strippaggio lento dell'ammoniaca con formazione di solfato di ammonio.

L'impianto pilota, come raffigurato in Figura 2, è composto da una vasca di 30 m^3 per ricevere gli effluenti, da cui vengono inviati ad un separatore a vite elicoidale per rimuovere i solidi grossolani. Tre serbatoi da 7.5 m^3 raccolgono il separato liquido che attraverso una pompa monovite viene caricato in 4 reattori di strippaggio da 7.5 m^3 (Figura 3), miscelati, riscaldati a 40°C e riempiti a metà livello. Il riscaldamento dei reattori viene garantito dalla circolazione di acqua calda prodotta da una caldaia. Nello spazio di testa dei reattori, tramite una soffiante, viene instaurato un flusso d'aria a circuito chiuso con lo scrubber (Figura 4) per evitare perdite di ammoniaca durante il trattamento. Nei reattori sono presenti sensori per il monitoraggio di pH, livello e temperatura e tutto l'impianto è monitorato e controllato da un PLC (Programmable Logic Controller), accessibile anche da remoto.

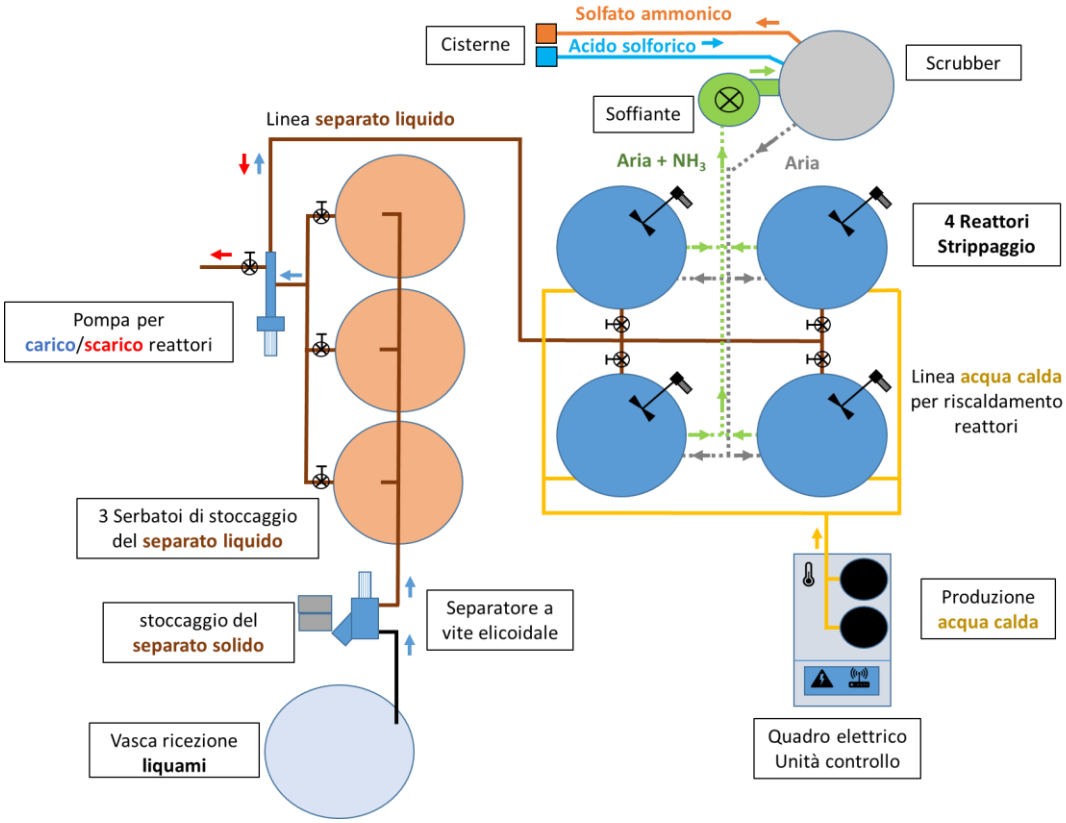

Figura 2 - Schema dell'impianto pilota di strippaggio realizzato nel progetto ConservA.

Figura 3 - Reattori in cui avviene lo strippaggio a lento rilascio. Nelle tubazioni che sovrastano i reattori passa l'aria che rimuove l'ammoniaca dal liquame.

Figura 4 - Scrubber in cui avviene il contro lavaggio con l'acido solforico dell'aria carica di ammoniaca proveniente dai reattori di strippaggio. Una soffiante genera il flusso d'aria in un circuito chiuso che collega reattori e scrubber tramite tubazioni in PVC.

Lo schema di funzionamento dell'impianto prevede la ricezione del liquame in una vasca di stoccaggio che consente di ricevere il liquame di diverse tipologie (Figura 5). Viene effettuata una rimozione dei solidi con un separatore a vite elicoidale ad asse verticale (Figura 6). La frazione palabile viene raccolta in appositi contenitori mentre quella liquida viene convogliata in 3 contenitori in polietilene con una capacità di 7,5 m^3 ciascuno. Da questi il liquame viene convogliato verso quattro reattori ciascuno con capacità lorda di 7,5 m^3 che possono trattare in modo indipendente il liquame (Figura 7). Per questo sono dotati di un agitatore meccanico con pale che ruotano a una velocità massima di 100 giri/min, regolabili tramite inverter e di un sistema di riscaldamento tramite tubi con circolazione di acqua calda. Questa viene prodotta da una piccola centrale termica con accumulo di acqua calda che trova posto in un container.

La rimozione dell'ammoniaca viene favorita da un flusso di aria che è generata da una soffiante da 2,2 kW che incanala l'aria in tubazioni e raggiunge i quattro reattori con immissione laterale. L'aria carica di ammoniaca esce dai reattori e viene convogliata a uno scrubber che provvede a rimuovere l'ammoniaca tramite lavaggio con acido solforico (Figura 8). L'aria ripulita viene ricircolata nel sistema in modo da eliminare le eventuali emissioni di ammoniaca dal sistema.

Il solfato d'ammonio che si ottiene viene periodicamente scaricato in un contenitore e sostituito nel serbatoio dello scrubber con nuovo acido solforico (Figura 9).

Figura 5 - Vasca di ricezione dell'impianto pilota

Figura 6 - Il liquame prima del trattamento subisce un trattamento di separazione dei solidi

Figura 7 - I quattro reattori dell'impianto pilota sono riscaldati e miscelati in modo da favorire il rilascio dell'ammoniaca da liquame e digestato

Figura 8 - La soffiante consente di far circolare l'aria attraverso lo scrubber e inviarla ai reattori dove si carica di ammoniaca

Il funzionamento dell'impianto è controllato e regolato da un computer installato nel quadro elettrico di controllo inserito in un container che ha anche la funzione di ufficio (Figura 10 e Figura 11).

Il sistema di riscaldamento dell'acqua calda era inizialmente effettuato con delle caldaie elettriche istantanee. Dopo una prima fase di funzionamento, queste sono risultate inadeguate a mantenere la temperatura del liquame nei reattori. Per questo, è stata effettuata una modifica utilizzando delle resistenze elettriche inserite direttamente nei contenitori per l'accumulo dell'acqua calda (Figura 12). Con questo sistema è stato garantita la temperatura richiesta nei reattori.

Figura 9 – Contenitori per l'acido solforico (a sinistra) e per il solfato d'ammonio (a destra)

Figura 10 - L'impianto pilota è controllato attraverso un pc che consente di monitorare i diversi parametri di funzionamento del processo.

Figura 11 – Container per il sistema di riscaldamento (a sinistra) e stanza per il controllo (a destra)

Figura 12 – sistema di riscaldamento utilizzante delle caldaie elettriche istantanee (a sinistra) e resistenze elettriche termostatate (a destra)

Valutazione della funzionalità dell'impianto pilota

L'impianto pilota (Figura 13) è stato inizialmente sottoposto a test preliminari per la messa a punto del protocollo sperimentale e dell'impiantistica, a seguito dei quali è stato testato con 3 tipologie di effluente, svolgendo complessivamente 7 prove sperimentali: 3 con liquami suini, 2 con liquami bovini e 2 con digestati. Tutti gli effluenti, prima di essere caricati nei reattori di strippaggio, sono stati sottoposti al trattamento di separazione solido – liquido, utilizzando il separatore dell'impianto pilota.

Figura 13 impianto pilota realizzato. Sulla sinistra ci sono i 4 reattori di strippaggio, sulla destra è visibile la vasca metallica di ricezione del liquame da trattare, il separatore solido-liquido e i serbatoi di stoccaggio della frazione liquida

Le prove preliminari sono state eseguite da ottobre 2021 a maggio 2022, mentre le prove sperimentali da maggio 2022 a novembre 2022. La durata del trattamento per ogni prova è stata variabile tra 15 e 31 giorni, a seconda dei livelli obiettivo di rimozione di azoto. Il dettaglio delle tempistiche di svolgimento delle prove è riportato in Tabella 1.

Tabella 1 Dettaglio delle prove condotte sull'impianto pilota

	Prove preliminari		**Prove sperimentali**						
n.	**1P**	**2P**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Tipologia effluente	**Suino**	**Suino**	**Suino**	**Digestato**	**Bovino**	**Digestato**	**Suino**	**Bovino**	**Suino**
periodo di prova	Ott-nov 2021	Mar-Mag 2022	24/05 - 14/06/22	15/06 - 18/07/22	22/08 - 16/09/22	30/09 - 17/10/22	30/09 - 28/10/22	25/10 - 25/11/22	28/10 - 25/11/22
n. giorni di prova utili	30	60	15	32	24	17	28	31	28

Le caratteristiche pre e post trattamento di strippaggio degli effluenti utilizzati, sono riportate in Tabella 2. In generale, gli effluenti ad inizio prova presentano un contenuto di TS abbastanza basso, anche tenendo conto del pretrattamento di separazione solido liquido a cui sono stati sottoposti. Considerando che un separatore della tipologia utilizzata sull'impianto di Conserva è in grado di abbassare il valore percentuale del contenuto di solidi di circa il 15-20%, rispetto alle caratteristiche dei liquami tal quali riscontrabili nella stessa area di studio i liquami suini testati si posizionano su valori pari o non molto inferiori a quello che ci si potrebbe aspettare (TS pari a circa il 3% per liquami tal quali), mentre i digestati ma soprattutto i liquami bovini risultano molto al di sotto delle aspettative. Indicativamente TS di circa il 5-6% per i digestati tal quali e 7-8% per i liquami bovini tal quali. Per quanto riguarda il contenuto di nutrienti e soprattutto il contenuto di Azoto sia come TKN che TAN, è possibile osservare valori più bassi rispetto alle medie attese, anche se meno evidente per i liquami suini. Le caratteristiche a fine prova mostrano un incremento o una riduzione del contenuto dei solidi a seconda che abbia prevalso rispettivamente l'effetto concentrazione dovuto

all'evaporazione dell'acqua contenuta nel liquame o l'effetto sedimentazione. Il contenuto di azoto chiaramente subisce un calo, come da attese più marcato per il TAN rispetto al TKN. Il P e K mostrano variazioni meno marcate. Il pH di tutti gli effluenti mostra un incremento compreso tra 0.4-1.6 punti tra il valore iniziale e il valore massimo raggiunto dal pH, riportato in Tabella 2 dalla variabile "pH picco". Il pH di picco si attesta intorno al valore 9. Gli incrementi maggiori si osservano per i liquami con pH iniziale più basso, nell'intorno di 7.5. Questo fenomeno è legato al rilascio della CO_2 che avviene più rapidamente del rilascio dell'ammoniaca, innalzando il pH. Quando anche l'ammoniaca è stata rilasciata si riduce il potere tampone del liquame che tende ad acidificarsi leggermente e infatti verso la fine del trattamento si osserva un calo del pH come mostrato dalla variabile "pH fine". L'EC mostra sempre un calo tra inizio e fine trattamento dovuto principalmente alla perdita di azoto ammoniacale dal liquame trattato, parametro questo molto ben correlato con l'EC.

Tabella 2 caratteristiche degli effluenti zootecnici e digestati testati, all'inizio e alla fine della prova. I campioni iniziali sono relativi alla frazione liquida caricata nei reattori di strippaggio.

Prova	1. Suino	2. Digestato	3. Bovino	4. Digestato	5. Suino	6. Bovino	7. Suino
TS inizio (%)	3.07	2.41	1.32	2.71	2.19	2.12	2.41
TS fine (%)	3.02	2.25	1.42	3.27	2.23	1.74	2.96
TAN inizio (kg/m^3)	2.97	2.33	0.66	1.69	1.11	0.93	2.22
TAN fine (kg/m^3)	1.56	0.54	0.34	0.55	0.87	0.41	0.94
TKN inizio (kg/m^3)	4.25	3.05	1.25	2.86	2.42	1.67	3.06
TKN fine (kg/m^3)	2.59	0.95	0.71	1.51	1.64	1.07	1.70
N org inizio (kg/m^3)	1.29	0.72	0.60	1.17	1.31	0.75	0.83
N org fine (kg/m^3)	1.02	0.41	0.37	0.96	0.78	0.65	0.76

Rimozione TKN, TAN e Volume

I risultati delle prove svolte sui 7 effluenti testati, evidenziano rimozioni di TKN comprese tra il 40% e il 70% e rimozioni di TAN tra il 50% e l'80%. Questi valori sono da considerarsi soddisfacenti e in linea con quanto rilevato nelle prove di laboratorio svolte. Bisogna fare attenzione però che i valori riportati sono caratteristici di ogni prova dato che i livelli di rimozione sono, in prima battuta, fortemente dipendenti dalla durata di ogni prova. La rimozione del TKN risulta essere inferiore a quella del TAN, tranne nel caso della prova 5. Questo accade perché il TKN si compone di una quota di azoto organico e di una quota di azoto ammoniacale, il TAN. Il trattamento di strippaggio agisce solamente sulla quota di TAN; pertanto, si avrà una forte riduzione del suo contenuto, mentre la quota di azoto organico tenderà a permanere. In realtà una frazione dell'azoto organico subisce un processo di mineralizzazione il cui risultato è la produzione di TAN e questo fenomeno è stato particolarmente accentuato nella prova 5 portando ad avere una maggiore rimozione di TKN rispetto al TAN il cui contenuto è aumentato della quota di azoto organico mineralizzato. Parallelamente è stata osservata anche una riduzione di volume dell'effluente trattato, nell'ordine del 3% - 23%. Infatti, oltre al rilascio di ammoniaca tende ad evaporare anche una parte dell'acqua contenuta nell'effluente. La riduzione del volume dell'effluente trattato presenta una variabilità molto elevata, che dipende sia dalla durata del trattamento che dalla temperatura ambiente. Può sembrare un vantaggio aggiuntivo poter ridurre oltra all'azoto anche il volume dell'effluente, ma questo sarebbe vero nel caso in cui l'acqua uscisse dal processo. In parte ciò è avvenuto, ma la maggior parte dell'acqua evaporata dai reattori si è condensata all'interno dello scrubber, diluendo la soluzione di solfato ammonico.

Per avere un quadro di miglior confrontabilità tra le prove svolte è possibile valutare gli andamenti di riduzione di volume (Figura 14) e di rimozione dell'azoto (Figura 15), rilevati considerando anche i campionamenti intermedi. La riduzione del volume presenta un andamento lineare in ogni prova, anche se con pendenze differenti. Nella prova 1 e 2 le pendenze sono più simili tra loro e inferiori rispetto alle prove successive. La prova 1 è stata svolta con la temperatura impostata su 35°C che ha significato quindi meno evaporazione di acqua e di conseguenza una perdita di volume più lenta. La prova 2 è stata svolta con la temperatura impostata su 40°C, ma nel periodo più caldo tra tutte le prove e ciò giustifica una pendenza superiore alla prova 1 e inferiore alle altre prove. Le prove successive, svolte a 40°C ma in periodi dell'anno progressivamente più freschi, presentano pendenze da 1.8 a 2.9 volte superiori a quelle della prova 2. Maggiore è la durata del trattamento, maggiore è la riduzione del volume dei reattori e quindi l'acqua che da essi evapora che può accumularsi nello scrubber.

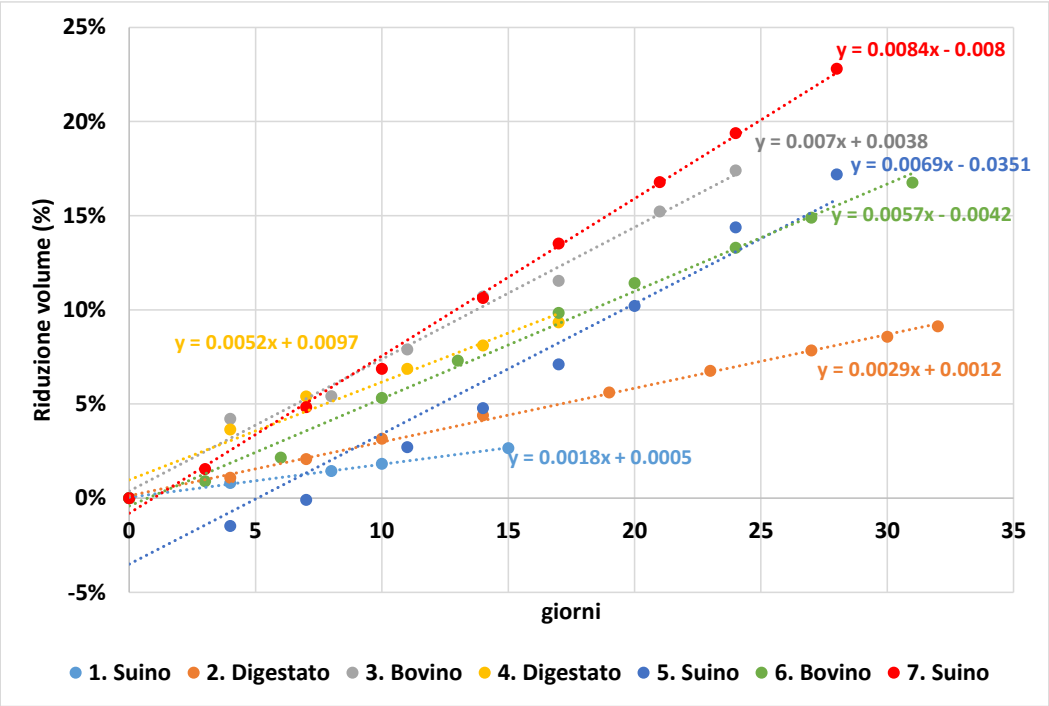

Figura 14 Andamento della riduzione di volume nelle singole prove, in ogni giorno in cui è stato effettuato un campionamento

La rimozione cumulata del TAN non segue un andamento lineare ma è descrivibile da un modello basato su una polinomiale di secondo grado, ad eccezione della prova 5 caratterizzata, all'inizio del trattamento, da una forte mineralizzazione dell'azoto organico in ammoniacale. In questa prova i valori di rimozione negativa significano che la quota di TAN rilasciato a seguito dello strippaggio è stata compensata in misura maggiore dal TAN formato a seguito della mineralizzazione. Le curve crescono con pendenze differenti a significare velocità differenti nella rimozione del TAN. Più è ripida la curva, maggiore è la velocità nel rilascio di TAN.

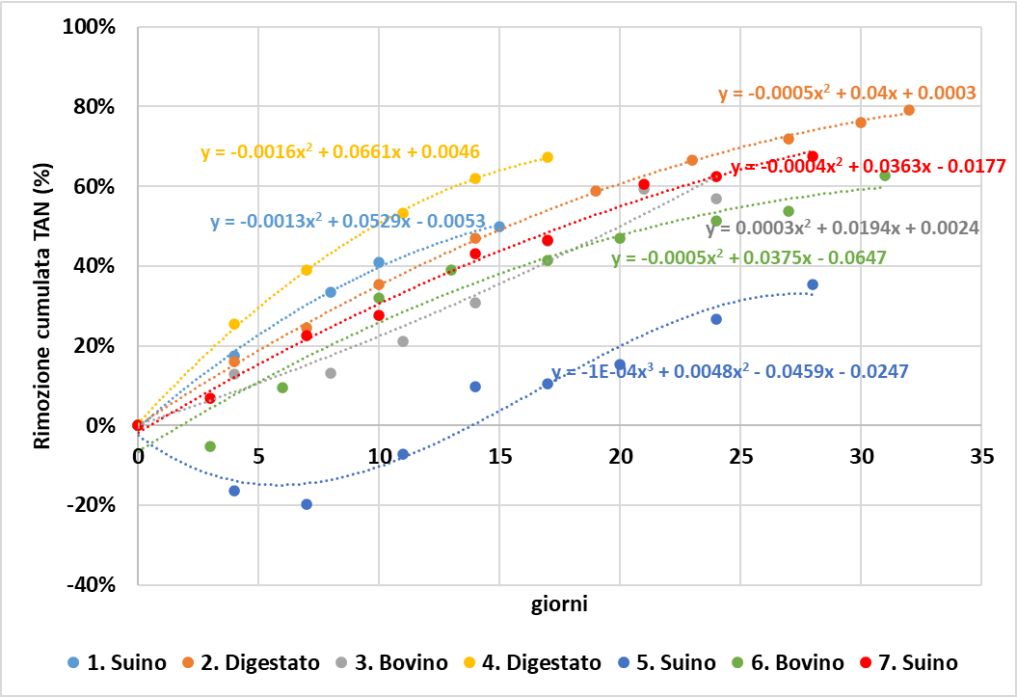

Figura 15 Andamento della rimozione di TAN nelle singole prove, in ogni giorno in cui è stato effettuato un campionamento

Considerando tutte le prove ad esclusione della prova 5 (visto il particolare andamento che la caratterizza), è stato prodotto un modello empirico relativo alla rimozione del TAN (Figura 16). Questo modello consente di avere un'indicazione generale sulle prestazioni raggiungibili a prescindere dall'effluente e dalla durata del trattamento, ma pur sempre nel contesto delle condizioni presenti durante lo svolgimento delle prove. Dalla Figura 16 è possibile valutare le prestazioni del processo di strippaggio al variare della durata del trattamento. Ogni punto del grafico corrisponde ad un giorno di campionamento, per il quale il contenuto assoluto di TAN (moltiplicando la concentrazione di TAN per il volume del reattore nel giorno del campionamento) è stato rapportato con il valore di inizio prova. A una settimana da inizio trattamento ci si può attendere una rimozione di TAN pari a circa il 25%, a due settimane del 45%, a tre settimane del 55%. Queste rimozioni medie si inseriscono all'interno di un intervallo di confidenza presentando nel complesso un margine di variabilità di circa il 15% in positivo e in negativo, legato alle diverse condizioni in cui ci si può trovare ad operare. Il vantaggio del trattamento di strippaggio è quello di avere una spiccata modularità. Infatti, il trattamento si può interrompere in un momento qualsiasi una volta raggiunto il livello di rimozione dell'azoto necessario, sulla base ad esempio del surplus azotato che un'azienda deve gestire. Osservando i livelli di rimozione del TAN in funzione del tempo di trattamento, risulta chiaro come il processo presenti maggiori tassi di rimozione nelle prime fasi. Ciò significa che tempi di trattamento più lunghi consentono di raggiungere livelli elevati nella rimozione complessiva, ma nella fase avanzata del processo la quantità di TAN rilasciata sarà più bassa e pertanto ogni unità di azoto rimossa in questa fase avrà un costo unitario maggiore. Inoltre, considerando la linearità nella riduzione del volume dei reattori durante il trattamento, a fronte di basse rimozioni di azoto in una fase avanzata del processo, si avrà comunque evaporazione di acqua che andrà a diluire la soluzione di solfato ammonico nello scrubber peggiorandone la gestione e la qualità.

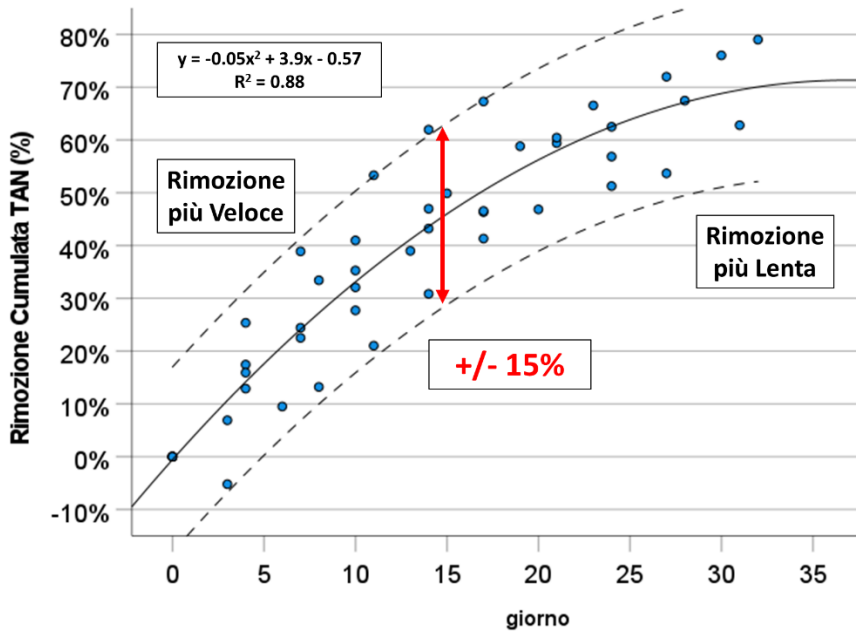

Figura 16 Modello teorico ed intervallo di confidenza della rimozione del TAN in funzione della durata del trattamento.

Produzione di solfato ammonico

Nella torre di lavaggio dello scrubber avviene la produzione di solfato ammonico a partire dalla reazione tra la soluzione acquosa di acido solforico e l'aria carica di ammoniaca e umidità proveniente dai reattori di strippaggio. Lo scrubber è dotato di un serbatoio in cui è stoccato l'acido solforico che viene fatto ricircolare nella torre di lavaggio. In questo serbatoio si accumula anche il solfato ammonico che man mano si produce, oltre all'umidità che in misura più o meno consistente tende a condensare.

La soluzione presente nel serbatoio contiene quindi tre componenti che devono mantenersi in equilibrio per poter garantire la corretta funzionalità dello scrubber e quindi del trattamento di strippaggio dell'ammoniaca. Questo equilibrio è regolato dal pH della soluzione e dal livello e quindi dal volume della soluzione all'interno del serbatoio.

La condizione ideale consiste nel mantenere un pH sufficientemente acido con coniughi l'esigenza di disporre della giusta quantità di acido in grado di trattenere l'ammoniaca, con l'esigenza di avere anche un'adeguata concentrazione di solfato ammonico e quindi di azoto minerale. Se il pH è troppo acido significa che l'equilibrio tende verso l'acido solforico e se questa situazione si presenta nel momento di scaricare il serbatoio si perderà tutto quell'acido in soluzione che non ha ancora reagito con l'ammoniaca, sprecando quindi una risorsa, oltre ad avere una soluzione di solfato ammonico che rischia di non essere avere ancora un adeguato contenuto di azoto e di essere quindi utilizzabile come fertilizzate. Se il pH è troppo alto e quindi superiore a 3.5 significa che l'equilibrio è spostato verso il solfato ammonico e inizia a scarseggiare l'acido solforico che non riesce a trattenere tutta l'ammoniaca, che in parte ritorna verso i reattori, allungando i tempi di trattamento. Se il pH raggiunge valori superiori alla neutralità significa che si sta accumulando ammoniaca nel serbatoio e quindi il processo di strippaggio è in stallo.

La quantità di acqua che si può rilevare nel serbatoio dello scrubber deriva sia dall'acqua evaporata dai reattori ma anche da quella contenuta nell'acido utilizzato, dato che non si usa acido puro ma

sempre diluito. Nelle prove svolte l'acido era concentrato al 50% in volume. Se l'equilibrio si sposta verso l'acqua significa che questa si sta accumulando nel serbatoio e i problemi che ne derivano sono legati ad una riduzione del contenuto di solfato ammonico e quindi di azoto nella soluzione oltre a un più veloce riempimento del serbatoio che costringe a scaricarlo più frequentemente col rischio di eliminare acido che non ha ancora reagito con l'ammoniaca (Figura 17).

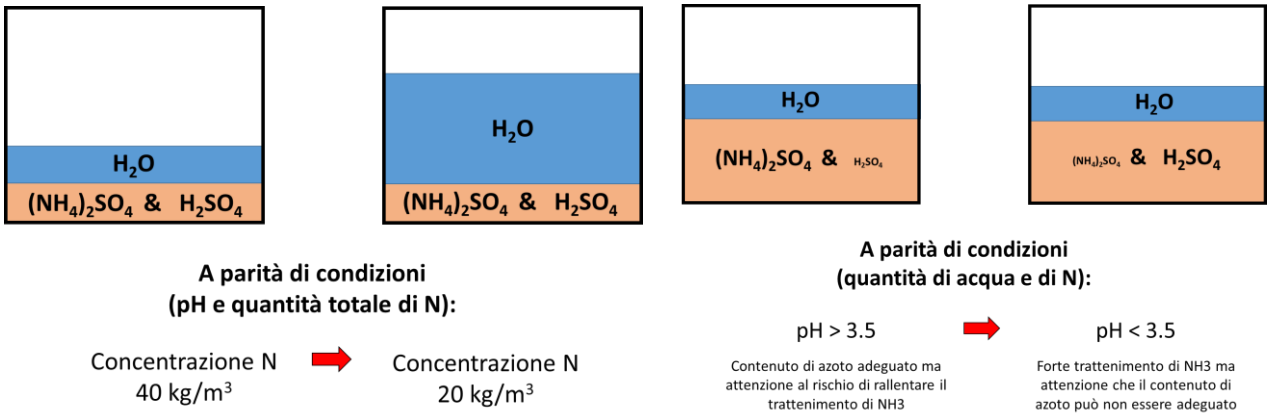

Figura 17 Problematiche nella gestione dello scrubber dovute alla difficoltà nella gestione della diluzione (sinistra) e del pH (destra)

La quantità di soluzione di solfato ammonico prodotta dallo scrubber e le rispettive caratteristiche sono riportate in Tabella 3. Il volume prodotto e la concentrazione di azoto nel solfato ammonico presentano una considerevole variabilità tra le prove svolte, e sono influenzate sia dalla durata del trattamento che dalla temperatura ambiente. A partire dal volume prodotto e dalla concentrazione di azoto si può determinare la concentrazione di solfato ammonico nella soluzione prodotta nello scrubber. Quanto ottenuto nella prova 1 si può considerare un ottimo risultato anche in confronto a quanto riportato dalla letteratura in proposito.

Il pH durante le prove è stato mantenuto al di sotto della soglia di 1.5, quindi inferiore al valore di 3.5. Questa scelta dipende dalla volontà di mantenere sempre molto ricettivo lo scrubber. Tuttavia, sono state fatte alcune verifiche su valori di pH maggiori per valutare la capacità dell'impianto di produrre una soluzione di solfato ammonico di qualità ottimale, come evidenziato dal parametro "pH massimo scrubber". A tal proposito dalla prova 1 è possibile osservare un valore molto alto di pH (8.37), ottenuto a seguito di un test di arricchimento di azoto che ha raggiunto il valore di 66.5 kg/m^3, con il quale si è voluto verificare la capacità del sistema di produrre un solfato ammonico di qualità.

La normativa sui fertilizzanti e in particolare il D. Lgs. 75/2010 stabilisce che per essere considerato fertilizzante e poter quindi essere venduto come tale, la "Sospensione di solfato ammonico" classificata come "Prodotto liquido ottenuto per via chimica e contenente solfato ammonico ed eventualmente Sali ammoniacali organici biodegradabili" deve contenere almeno il 6% di Azoto, valutato come azoto ammoniacale. Il 6% di azoto corrisponde a 60 kg/m^3, che nelle prove svolte sull'impianto è stato superato nella prova 1 e avvicinato nella prova 2, nella quale il contenuto di azoto si è mantenuto su valori accettabili pari a 47 kg/m^3, con un valore massimo del pH di 1.78.

Nelle altre prove (dalla 3 alla 7) le condizioni di prova caratterizzate da temperature ambiente più basse hanno favorito la formazione di condensa all'interno dello scrubber e la conseguente diluizione del solfato ammonico prodotto. Osservando i valori di pH si notano valori al di sotto di 1 e concentrazioni di azoto spesso inferiori a 10 kg/m^3. Questa situazione deriva da un eccessivo accumulo di acqua nello scrubber che portava a scaricare il suo serbatoio prima che una quantità adeguata di acido avesse reagito con l'ammoniaca a formare solfato ammonico. La soluzione a questa problematica è relativamente semplice in quanto è sufficiente eliminare i punti freddi in cui può formarsi condensa. A tal fine si potrebbe coibentare lo scrubber e le tubature dell'aria e/o riscaldare anche lo scrubber oltre ai reattori di strippaggio, uniformando le temperature a quelle presenti nei reattori.

Tabella 3 Caratteristiche della soluzione acida rimossa dallo scrubber per ogni prova. La prova 4 è stata svolta in concomitanza con la 5, così come la prova 6 con la 7, condividendo l'uso dello scrubber.

	1. Suino	**2. Digestato**	**3. Bovino**	**4. Digestato**	**5. Suino**	**6. Bovino**	**7. Suino**
Volume solfato ammonico (m^3)	0.33	0.63	0.35	0.42	0.77	1.04	1.41
N Solfato ammonico (kg/m^3)	66.5	47.0	5.7	25.6	4.8	3.5	8.0
Concentrazione solfato ammonico (%)	31.6	22.4	2.7	10.1	1.9	1.7	3.9
pH massimo Scrubber	8.37	1.78	0.98	0.99		0.66	
pH finale Scrubber	0.61	1.29	0.98	0.5		0.23	

Conclusioni

I risultati ottenuti dalle prove di laboratorio e soprattutto dalle prove svolte sull'impianto pilota mettono in luce le buone prestazioni del processo di strippaggio dell'ammoniaca a lento rilascio. L'aspetto forse ancora più rilevante riguarda l'esperienza maturata sull'impianto pilota che ha consentito di approfondire l'applicazione pratica delle conoscenze acquisite negli anni durante le prove in laboratorio individuando le criticità e quindi i punti in cui intervenire per ottimizzare la tecnologia e la sua gestione, che risulta fondamentale per poter definire i criteri progettuali da seguire per realizzare un affidabile impianto a scala reale.