

EQUIZOO



RIEQUILIBRIO DEI CARICHI DI AZOTO DA EFFLUENTI ZOOTEKNICI E LORO VALORIZZAZIONE A FINI FERTILIZZANTI

Quaderni della Ricerca
n. 159 - marzo 2014


Regione Lombardia
Agricoltura

Sperimentazione condotta nell'ambito del progetto di ricerca n. 1739 "Esperienza pilota per il riequilibrio dei carichi di azoto zootecnico in provincia di Cremona - EQUIZOO" finanziato con d.g.r. 29 dicembre 2010 n. 1088 (Piano della Ricerca 2010) di Regione Lombardia

A cura di:

Cecilia Baldini³, Ildebrando Bonacini¹, Giuseppe Bonazzi², Paolo Mantovi², Giuseppe Moscatelli², Pierluigi Navarotto³, Giuseppe Uberti¹

Hanno realizzato le attività sperimentali e lo studio:

¹Libera Associazione Agricoltori Cremonesi
Piazza del Comune, 9
26100 Cremona
Tel. 03724651 Fax 0372 461608
e-mail:cremona@confagricoltura.it

Provincia di Cremona
Via Dante, 134
26100 Cremona
Tel. 03724061 Fax 0372 406461
e-mail:agricoltura.ambiente@provincia.cremona.it

²Centro Ricerche Produzioni Animali CRPA Spa
Viale Timavo, 43/2
42121 Reggio Emilia
Tel. 0522 436999 Fax 0522 435142
e-mail: info@crpa.it

Libera S.r.l.
Piazza del Comune, 9
26100 Cremona
Tel. 03724651 Fax 0372 461608
e-mail: cremona@confagricoltura.it

³Università degli Studi di Milano
Dip. di Scienze Veterinarie per la Salute, la Produzione Animale e la Sicurezza Alimentare (VESPA)
Via Celoria, 10
20133 Milano
Tel. 02/50317900 Fax: 02/503111
e-mail: pierluigi.navarotto@unimi.it
marcella.guarino@unimi.it

Apima
Via Milano, 4
26100 Cremona
Tel. 037222178 Fax 0372 460764
e-mail: apima@fastpiu.it

Per informazioni:

Regione Lombardia – Direzione Generale Agricoltura
U.O. Sviluppo di innovazione, cooperazione e valore delle produzioni
Struttura Sviluppo e promozione delle produzioni,
ricerca, innovazione tecnologica e servizi alle imprese
Piazza città di Lombardia,1 – 20124 Milano
Tel. 02/6765.3790 – Fax 02/6765.8056
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Marco Castelnuovo - tel. 02/6765 6562
e-mail: marco_castelnuovo@regione.lombardia.it



Regione Lombardia
Agricoltura



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI MILANO



Provincia
di Cremona



LIBERA ASSOCIAZIONE
AGRICOLTORI CREMONESI



EQUIZOO

RIEQUILIBRIO DEI CARICHI DI AZOTO DA EFFLUENTI ZOOTEKNICI E LORO VALORIZZAZIONE A FINI FERTILIZZANTI

Quaderni della Ricerca

n. 159 - marzo 2014

Presentazione

L'agricoltura lombarda ha una rilevante importanza socio-economica ed è integrata con le numerose attività presenti sul territorio regionale. Lo sviluppo del comparto agricolo ha avuto come conseguenza l'affermarsi di un'agricoltura intensiva con particolare effetti sull'allevamento zootecnico.

La Direttiva europea 91/676/CEE, nota come "Direttiva Nitrati", individua alcune attività produttive che devono attuare misure volte a ridurre i rischi di inquinamento delle acque tra cui il settore agricolo; Regione Lombardia si è quindi dotata di una regolamentazione di settore che progressivamente ha portato a ridurre gli effetti ambientali negativi causati dall'attività agricola sia per quanto riguarda la qualità delle acque sia per il controllo delle emissioni in atmosfera.

In questo quadro normativo abbastanza complesso il sistema agricolo lombardo ha colto pienamente l'opportunità di investire in quelle iniziative che sono in linea con la sostenibilità delle produzioni agricole.

La ricerca e l'innovazione tecnologica hanno individuato numerose soluzioni e svariati strumenti, anche nell'ambito di finanziamenti di Regione Lombardia, che consentono di ridurre i rilasci azotati derivati dalle attività agricole; molte aziende del settore hanno già introdotto tecniche e modalità di gestione dell'allevamento e dei relativi effluenti sempre più rispettose dell'ambiente.

Il progetto EQUIZOO, realizzato in provincia di Cremona, ha svolto alcune attività integrate tra loro che hanno permesso di studiare le alternative gestionali, tra cui le modalità di gestione interaziendale e le tecnologiche innovative che possono essere utilizzate in concatenazione agli impianti di valorizzazione energetica degli effluenti. Il risultato della ricerca è l'indicazione di un percorso che rende possibile superare alcune limitazioni che la designazione delle Zone Vulnerabili ai Nitrati ha determinato nelle aree ad elevata vocazione zootecnica della pianura.

La diffusione dei risultati conseguiti, anche con la pubblicazione di questo Quaderno, costituisce un valido e aggiornato aiuto per gli operatori agricoli che intendono realizzare le innovazioni indirizzate ad accrescere l'efficienza di utilizzo della capacità fertilizzante presente negli effluenti di allevamento.

Direzione Generale Agricoltura
Regione Lombardia

INDICE

PREMESSA.....	5
1 PROCESSI PER LA PRODUZIONE DI FERTILIZZANTI COMMERCIALI DA LIQUAMI E DIGESTATI	7
1.1 Separazione solido-liquido	7
1.1.1 Tipologie di separatori e loro caratteristiche	7
1.1.2 Efficienze di separazione nella frazione solida	9
1.2 Essiccazione del digestato	15
1.2.1 Tipologie di impianti di essiccazione dei digestati	15
1.2.2 Processi a bassa temperatura	17
1.2.3 Prove con processi ad alta temperatura a circuito chiuso	19
1.2.4 Considerazioni generali sull'essiccazione di frazioni solide di digestati	28
1.3 Strippaggio dell'azoto ammoniacale da frazioni chiarificate di digestati.....	30
1.3.1 Indagine sulle tecniche di strippaggio esistenti	30
1.3.2 Prove con processo di strippaggio a media temperatura, a circuito chiuso, senza innalzamento del pH.....	33
1.3.3 Strippaggio: analisi delle prestazioni di una possibile soluzione impiantistica.....	37
2 TECNICHE PER L'UTILIZZO DEI FERTILIZZANTI DA DIGESTATI	39
2.1 Tecniche per l'utilizzo agronomico dei fertilizzanti derivanti dal trattamento di digestati ed effluenti zootecnici	39
2.1.1 Caratteristiche dei sistemi di sub irrigazione	39
2.1.2 L'utilizzo del solfato ammonico in subirrigazione	40
2.1.3 Monitoraggio di un impianto di subirrigazione	43
3 PROCEDURE PER IL RICONOSCIMENTO A FINI COMMERCIALI DEI FERTILIZZANTI DA DIGESTATI	46
3.1 Le procedure per il riconoscimento formale.....	46
3.1.1 Vendita diretta di fertilizzanti già a norma D.lgs. 75/2010	46
3.1.2 Riconoscimento e inserimento nell'elenco dei fertilizzanti nazionali di un nuovo fertilizzante	50
3.1.3 Le procedure per la cessione a terzi di fertilizzanti da effluenti e/o da digestati.....	51
4 STRUTTURE INTERAZIENDALI PER L'UTILIZZO AGRONOMICOGli EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO E ANALISI DEI COSTI	53
4.1 L'esperienza EQUIZOO di gestione interaziendale	53
4.2 Ipotesi di modelli di organizzazione interaziendale per l'utilizzo agronomico degli effluenti	55
4.2.1 Ipotesi di modelli di gestione interaziendale per allevamenti bovini da latte.....	55
4.2.2 Ipotesi di modelli di gestione interaziendale per allevamenti suinicoli.....	58
4.3 Verifica dei costi per una sostituzione parziale o integrale dei concimi di sintesi	64
4.3.1 Indagine sulle tecniche di applicazione dei liquami e sui cantieri di lavoro	64
4.3.2 Valutazione dei costi in funzione delle distanze degli appezzamenti.....	64
5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	70

PREMESSA

EQUIZOO è stata la traduzione in campo di una proposta progettuale integrata mirante a dimostrare come, con il ricorso a tecnologie innovative di trattamento dei liquami zootecnici e a modalità di gestione interaziendale dell'utilizzazione agronomica dei medesimi, sia possibile superare alcune delle difficoltà che la designazione delle Zone Vulnerabili ai Nitrati ha determinato in aree ad elevata vocazione zootecnica della provincia di Cremona e, più in generale, in tutto l'ambito regionale di pianura. Le prove effettuate hanno dimostrato che è possibile promuovere filiere impiantistiche progettate per la valorizzazione degli effluenti zootecnici e dei digestati, potenziandone l'intrinseco valore fertilizzante fino al punto da renderne possibile l'uso in sostituzione dei concimi di sintesi.

Sono state esaminate le tecnologie utilizzabili per produrre fertilizzanti commerciali, rispondenti o meno ai requisiti dettati dal D.lgs. 75/2010, che si collocano a valle degli impianti di biogas e che fanno riferimento all'essiccazione ed allo strippaggio dell'azoto ammoniacale. Essiccazione e strippaggio sono tecnologie incentivate dal DM 6 luglio 2012 che riguarda il cosiddetto "Conto Energia" e che, all'art 26, recita: per impianti alimentati da biogas operanti in regime di cogenerazione ad alto rendimento che prevedano il recupero dell'azoto dal digestato con la finalità di produrre fertilizzanti, è previsto un incremento del premio per l'assetto cogenerativo.

Preliminare a tutte le tecniche di produzione di fertilizzanti da digestati è la separazione solido-liquido di cui, nell'ambito di EQUIZOO, sono state fatte prove dimostrative con relativa raccolta dati e indagini sulla loro applicabilità.

Nel corso delle attività previste dal progetto EQUIZOO, si è ravvisata l'opportunità di valutare gli aspetti tecnici dell'applicazione ai terreni agricoli delle nuove matrici derivanti dal trattamento di effluenti zootecnici e digestati. Per quanto riguarda le matrici solide derivanti dall'essiccazione di effluenti zootecnici palabili e di frazioni solide separate dai liquami, non ci sono particolari problemi di applicazione al campo.

Per quanto riguarda invece le matrici fluide, come le soluzioni/sospensioni di solfato di ammonio che si producono negli impianti di biogas dotati di dispositivi per lo strippaggio e/o per l'essiccazione della frazione solida separata dal digestato, l'operatività nell'utilizzo agronomico è più problematica, anche se si prospettano interessanti tecniche di applicazione al campo, come la subirrigazione per mezzo di tubi interrati (manichette) con distribuzione a goccia. La soluzione di solfato ammonico può infatti essere utilizzata in miscela alle acque irrigue in questi impianti, come dimostrato nel progetto.

Una disanima particolarmente attenta ha riguardato anche le procedure per il riconoscimento a fini commerciali dei fertilizzanti prodotti in azienda, essendo la complessità burocratica un aspetto che spesso frena l'iniziativa degli imprenditori agricoli interessati.

Con l'obiettivo di promuovere, attraverso un'azione di convincimento nei fatti, l'impiego sempre più ampio e diffuso di effluenti tal quali e/o delle frazioni solide separate, sono state attivate e seguite a scala interaziendale diverse modalità di trasporto e applicazione degli effluenti dalla aziende con allevamento ai terreni agricoli di aziende non zootecniche.

L'esperienza condotta in campo con il progetto EQUIZOO ha permesso di elaborare alcuni modelli di gestione interaziendale, per allevamenti bovini da latte di un'area ad alta densità di capi della provincia di Cremona (cremasco) e per un gruppo di allevamenti suinicoli di un'area a minor densità di allevamenti, ma con forti problemi di eccedenze aziendali di azoto.

Il prodotto principale del progetto EQUIZOO è questo Quaderno della Ricerca, che è stato strutturato come linea guida o manuale ad uso di chi, imprenditori agricoli, tecnici, imprese produttrici di tecnologie e mezzi tecnici, amministratori, sia interessato alla produzione di fertilizzanti dagli effluenti zootecnici o dai digestati oppure intenda promuovere un loro utilizzo di tipo consortile.

1 PROCESSI PER LA PRODUZIONE DI FERTILIZZANTI COMMERCIALI DA LIQUAMI E DIGESTATI

Le tecnologie qui esaminate sono quelle utilizzabili per produrre fertilizzanti commerciali, rispondenti o meno ai requisiti dettati dal D.lgs. 75/2010, che si collocano a valle degli impianti di biogas e che fanno riferimento all'essiccazione ed allo strippaggio dell'azoto ammoniacale. Non viene discussa, invece, la tecnologia Ultrafiltrazione + Osmosi Inversa, per problemi di applicabilità su digestato da biomasse e non essendo comunque in grado, da sola, di produrre un concentrato classificabile come fertilizzante commerciale. Può essere considerata invece una tecnologia di finissaggio per ottenere un permeato scaricabile in acque superficiali.

Essiccazione e strippaggio sono tecnologie incentivate dal DM 6 luglio 2012 che riguarda il cosiddetto "Conto Energia" e che, all'art 26, recita: per impianti alimentati da biogas operanti in regime di cogenerazione ad alto rendimento che prevedano il recupero dell'azoto dal digestato con la finalità di produrre fertilizzanti, è previsto un incremento del premio per l'assetto cogenerativo (Tabella 1).

Tabella 1 – Premi aggiuntivi previsti per la rimozione dell'azoto dall'articolo 26 del DM 6 luglio 2012

Tipo di impianto biogas	Assetto cogenerativo ad alto rendimento	Efficienza di rimozione dell'N totale in ingresso [%]	Produzione di fertilizzante	Condizioni Relative alle emissioni	Premio aggiuntivo (Euro/MWh)
Qualsiasi potenza installata	Si	60	Si, commerciale	Copertura vasche	30
Potenza fino a 600 kW	Si	30	Si, anche non commerciale	Copertura vasche No emissioni ammoniacali	20
Potenza fino a 600 kW	Non necessario	40	Non necessaria	No condizioni	15

Preliminare a tutte le tecniche di produzione di fertilizzanti da digestati è la separazione solido liquido di cui, nell'ambito di EQUIZOO, sono state realizzate prove dimostrative con relative raccolte dei dati e indagini sulla loro applicabilità.

1.1 Separazione solido-liquido

1.1.1 Tipologie di separatori e loro caratteristiche

L'indagine ha riguardato il separatore a rulli contrapposti e quello a compressione elicoidale, macchine che rappresentano le due tipologie più diffuse negli allevamenti zootecnici e negli impianti di biogas (Figura 1). La limitazione dell'indagine a questi due tipi di macchine è dovuta anche al fatto che si tratta di dispositivi che rispondono meglio di altri agli obiettivi del progetto

EQUIZOO, volti ad individuare i tipi di trattamento a costi maggiormente sostenibili, sia di installazione, sia di gestione (manutenzione e consumi). L'efficienza di queste macchine è apprezzata dalle aziende, perché effettuano una buona separazione dei solidi grossolani e producono una frazione palabile più facilmente gestibile rispetto a quella liquida. In entrambi i casi si tratta di macchine che si adattano molto bene all'allevamento bovino, mentre il loro utilizzo nell'allevamento suino e negli impianti di biogas dipende dalle caratteristiche degli effluenti prodotti che dovrebbero essere poco diluiti (tenore di sostanza secca $> 4\%$), al fine di ottenere efficienze di separazione significative.

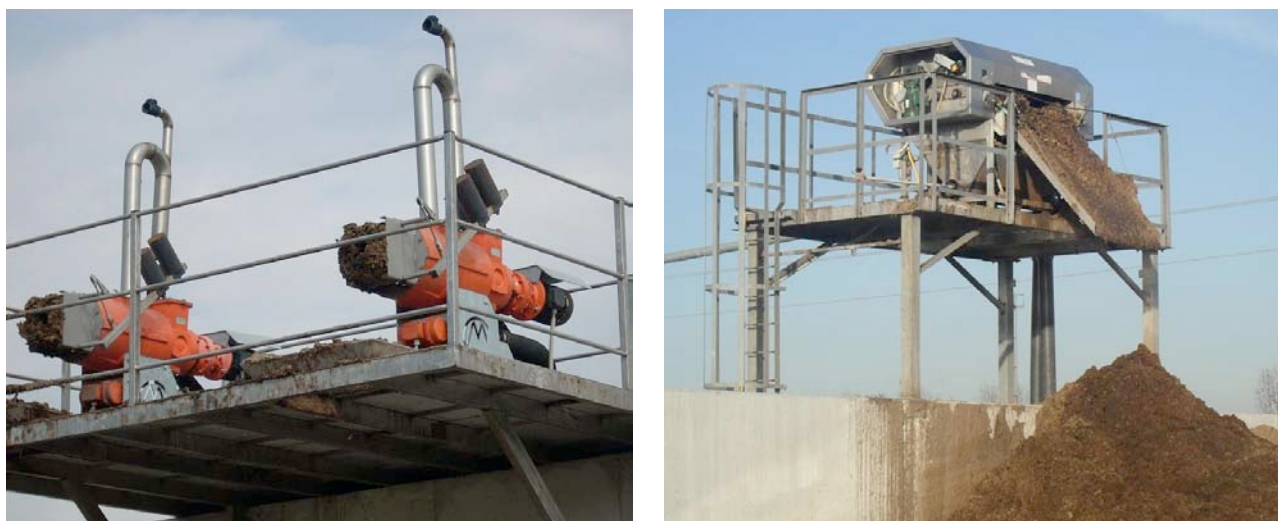


Figura 1 - I due tipi di separatore oggetto di indagine, a compressione elicoidale e a rulli contrapposti

Separatore a rulli contrapposti e controrotanti

Il cuore del dispositivo è un vaglio cilindrico rotante in metallo sulla cui parete esterna ruotano due rulli pressori in gomma e, su quella interna, due controrulli e una spazzola (*figura 2*). Una tramoggia permette il caricamento del liquame dall'alto e il filtraggio ad opera del vaglio. La funzione dei rulli pressori è quella di comprimere i solidi trattenuti sulla superficie esterna, favorendone un'efficace disidratazione. La spazzola interna ha, invece, la funzione di mantenere pulite le fessure del vaglio cilindrico. Una lama fissa raschia la superficie esterna del vaglio, rimuove lo strato dei solidi trattenuti lasciandoli scivolare su di una superficie inclinata, per accumularli poi all'esterno. La frazione liquida invece si raccoglie entro un collettore di fondo da cui è allontanata per mezzo di apposita tubazione.

Il dispositivo è regolabile, sia agendo sulla pressione che i rulli esercitano sulla parete esterna del vaglio, sia installando, secondo le esigenze, cilindri con maglie di apertura diversa, generalmente da 0,5 a 2,0 mm, in funzione del tipo di liquame da trattare e del grado desiderato di umidità del palabile.

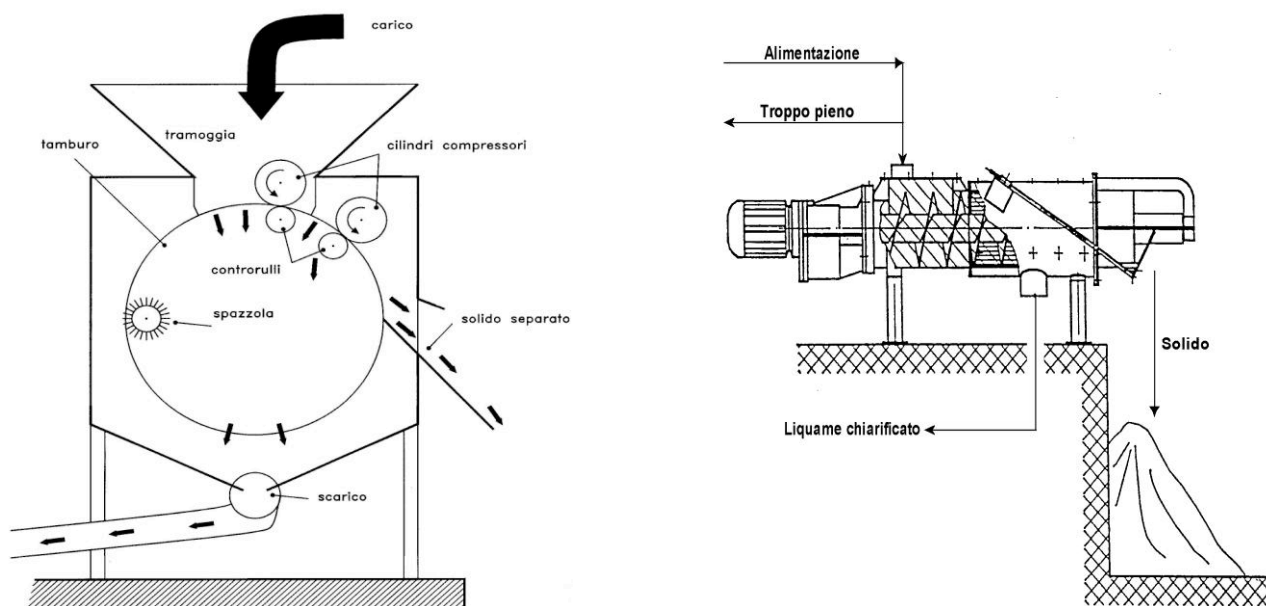


Figura 2 - Schema di funzionamento del separatore a rulli contrapposti e di quello a compressione elicoidale

Separatore a compressione elicoidale

Il dispositivo ha funzionamento meccanico ed ha il cuore costituito da un cilindro filtrante composto da sottili barre in acciaio, entro cui ruota una vite senza fine azionata da un motore elettrico (figura 2).

Il liquame, caricato dall'alto, è progressivamente compresso dalla vite elicoidale contro la parte interna del filtro cilindrico. La frazione liquida passa attraverso le fessure ed è scaricata sul fondo della macchina da cui è raccolta per essere stoccata. Quella solida avanza nel cilindro filtrante e viene pressata contro un ostacolo terminale la cui resistenza all'apertura può essere regolata al fine di ottenere il grado voluto di umidità residua. I dispositivi di regolazione sono diversi e variano secondo il modello di separatore utilizzato. Molto comune è il ricorso a contrappesi oppure ad un sistema a molle. In funzione del tipo di liquame da trattare, si possono scegliere filtri con diverse dimensioni delle fessure, generalmente da 0,25 a 1,00 mm.

1.1.2 Efficienze di separazione nella frazione solida

I dati raccolti nel corso delle prove EQUIZOO hanno permesso di arricchire la base dati e convalidare le efficienze dei due dispositivi considerati. Da questo insieme di dati risulta che il tenore di sostanza secca della frazione palabile dal dispositivo a compressione elicoidale è mediamente pari al 24,2%, con valori massimi oltre il 30% (nel caso di liquami suini in particolare); nelle prove con separatori a rulli contrapposti il valore medio è pari al 17,4%, con valori massimi del 22-23%. La compressione elicoidale consente, per le modalità con cui può essere regolata, di produrre, in genere, una frazione palabile più ricca di sostanza secca.

Le efficienze di separazione possono differire in modo considerevole quando le stesse macchine sono applicate a effluenti con caratteristiche chimico-fisiche diverse (Tabella 2 e Tabella 3).

Nella Figura 3, Figura 4 e Figura 5 si riporta l'insieme di dati raccolti nel corso di diversi anni di monitoraggi e di prove, tra cui quelle condotte nell'ambito di EQUIZOO.

A questo proposito, sono brevemente discusse le efficienze di separazione relative a quattro dei principali parametri di interesse e precisamente a: quantità ponderali, solidi totali, azoto totale, azoto ammoniacale.

Tabella 2 – Efficienze di separazione della tecnica a compressione elicoidale

Tipo di matrice	Peso	Solidi totali	Solidi volatili	Azoto totale	Azoto ammoniacale
Liquame bovino	20,1 (± 7)	52,2 ($\pm 13,1$)	58 ($\pm 13,6$)	23,1 ($\pm 7,5$)	15,2 (± 6)
Digestato bovino e biomasse	9,6 ($\pm 4,7$)	30,2 ($\pm 9,7$)	35,8 ($\pm 11,3$)	12,9 ($\pm 4,5$)	7,8 (± 4)
Liquame suino	4,2 ($\pm 3,3$)	27,7 (± 14)	33 ($\pm 14,9$)	7,1 (± 5)	3,2 ($\pm 2,6$)

Valori medi (tra parentesi la deviazione standard, misura la variabilità dei dati utilizzati per il calcolo del valore medio)

Tabella 3 – Efficienze di separazione della tecnica a rulli contrapposti

Tipo di matrice	Peso	Solidi totali	Solidi volatili	Azoto totale	Azoto ammoniacale
Liquame bovino	20,2 ($\pm 8,8$)	44,7 ($\pm 12,6$)	49,7 ($\pm 12,9$)	23 ($\pm 9,4$)	16,6 (± 8)
Digestato bovino e biomasse	8,6 (± 7)	26,8 ($\pm 17,6$)	32,1 ($\pm 19,7$)	13,6 ($\pm 7,9$)	10,3 ($\pm 6,3$)
Liquame suino	5,2 ($\pm 6,5$)	19,8 ($\pm 16,7$)	24,2 ($\pm 18,8$)	9,7 ($\pm 8,3$)	5,5 ($\pm 6,3$)

Valori medi (tra parentesi la deviazione standard, misura la variabilità dei dati utilizzati per il calcolo del valore medio)

Quantità ponderale (Peso). L'efficienza di separazione del quantitativo in peso (*Figura 3*) varia in modo significativo tra le diverse tipologie di effluenti, anche se la variabile che maggiormente incide è la concentrazione in sostanza secca (solidi totali = ST): si passa da efficienze dell'ordine di pochi punti percentuali con effluenti molto diluiti (2-3% di ST) a efficienze dell'ordine del 30-35% quando derivanti da effluenti con contenuto in ST molto elevato (10-12%).

In genere il contenuto in ST è basso per i liquami suini, medio per i digestati e più elevato per i liquami bovini tal quali con paglia e/o segatura e questo spiega in primo luogo le diverse efficienze di separazione in peso.

A parità di contenuto di ST l'efficienza di separazione in peso dei liquami bovini è risultata più elevata di quella dei liquami suinicoli, grazie alla maggiore dimensione media delle particelle presenti. Non sono state riscontrate differenze significative, a parità di contenuto di solidi totali, tra la tecnica a compressione elicoidale e i rulli contrapposti.

I valori medi sono risultati pari a: circa 20% per i liquami bovini, 9-10% per il digestato e 4-5% per i liquami suini.

Solidi totali. L'efficienza di separazione dei ST (*Figura 4*), allo stesso modo, segue il trend già descritto per l'efficienza di separazione delle quantità ponderali: si passa da valori medi del 3-5% quando viene trattato un effluente al 2% di ST per raggiungere valori massimi del 30-35% quando si opera su effluenti al 10-12% di ST.

Dal confronto tra la *Tabella 2* e la *Tabella 3* si evince come la tecnica della compressione elicoidale sia risultata mediamente più efficiente della tecnica a rulli contrapposti.

Azoto totale. L'efficienza di separazione dell'azoto totale (*Figura 5*) segue il trend già descritto per l'efficienza di separazione delle quantità ponderali: si passa da valori medi del 3-5% quando viene trattato un effluente al 2% di solidi totali per raggiungere valori massimi del 30-35% quando si opera su effluenti al 10-12% di solidi totali.

Non sono state riscontrate differenze significative, a parità di contenuto di solidi totali, tra la tecnica a compressione elicoidale e i rulli contrapposti.

I valori medi sono risultati pari a: circa 23% per i liquami bovini, 13-14% per il digestato e 7-9% per i liquami suini.

Azoto ammoniacale. L'efficienza di separazione dell'azoto ammoniacale, infine, è risultata in linea con quanto descritto per l'azoto totale.

Le due tecniche in definitiva, per quanto diverse, hanno efficienze di separazione simili nei confronti dei diversi parametri misurati e sono influenzate in primo luogo dal contenuto di solidi totali e dal tipo di frazione particellare presente.

Il contenuto di solidi totali può incidere notevolmente e pertanto è fondamentale, al fine di avere buone efficienze di separazione, cercare di evitare ove possibile le diluizioni dovute all'immissione di acque meteoriche, di abbeverata e di lavaggio nei liquami.

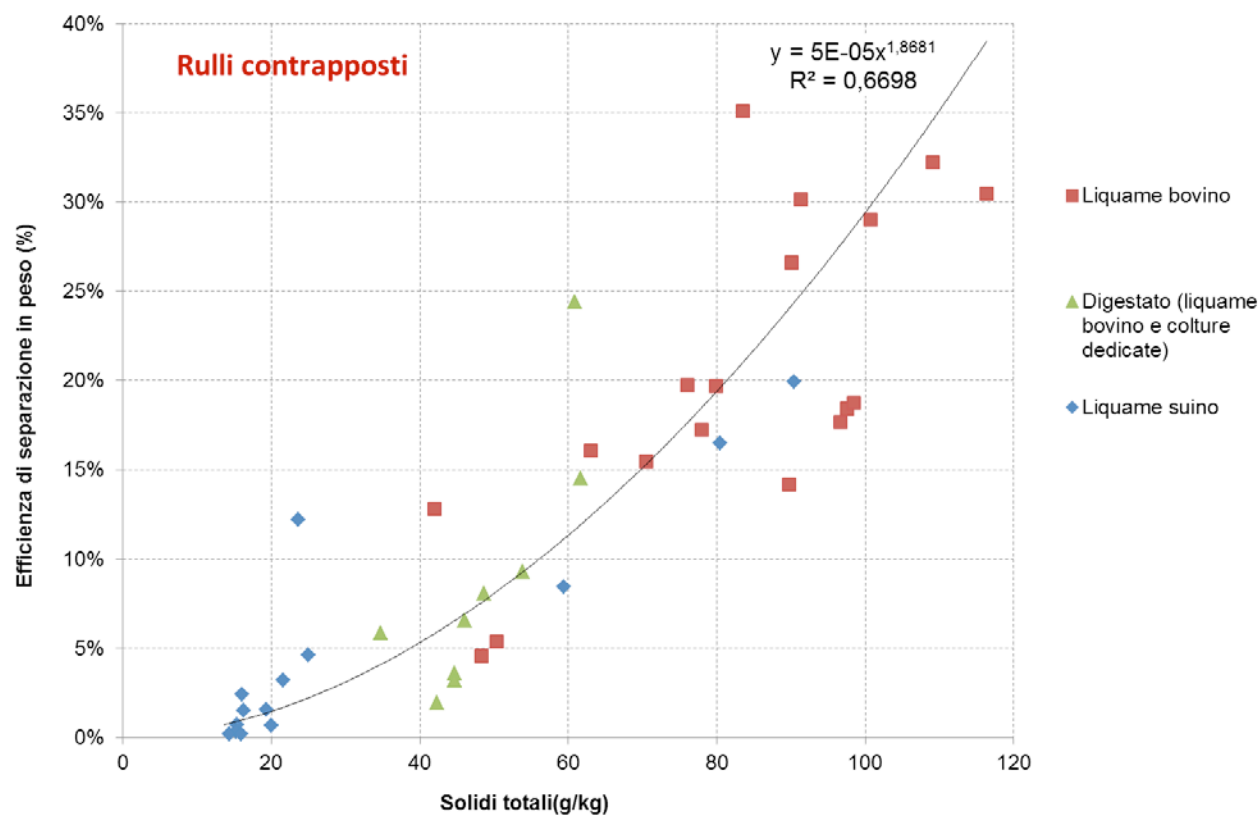
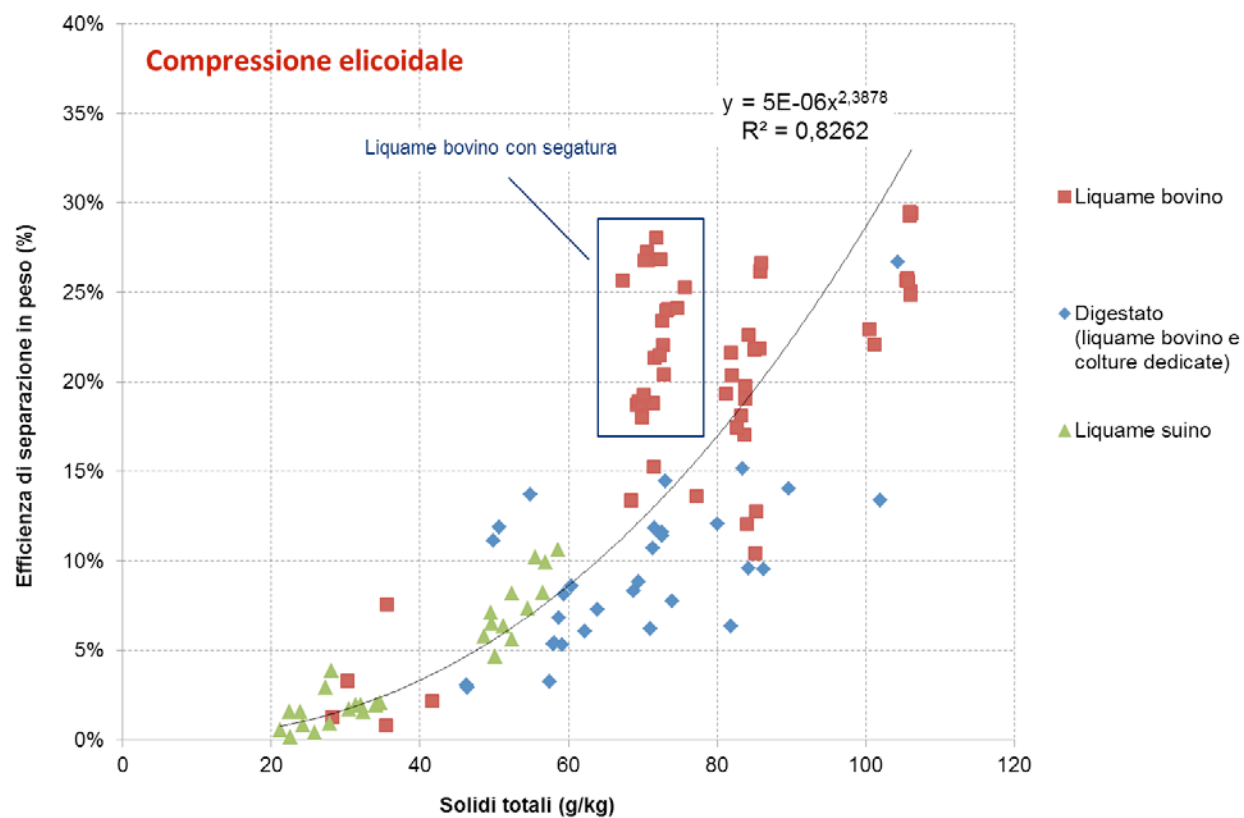


Figura 3 – Efficienza di separazione in peso della compressione elicoidale e dei rulli contrapposti

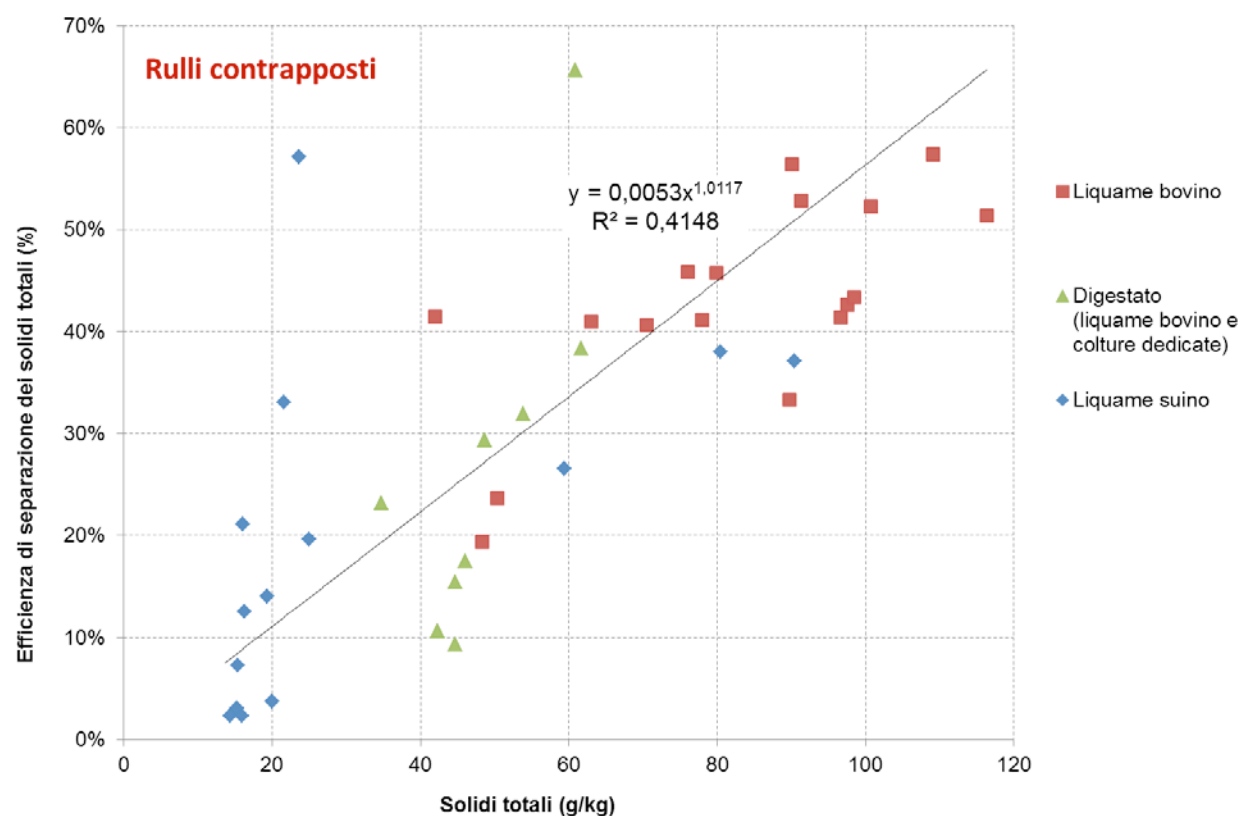
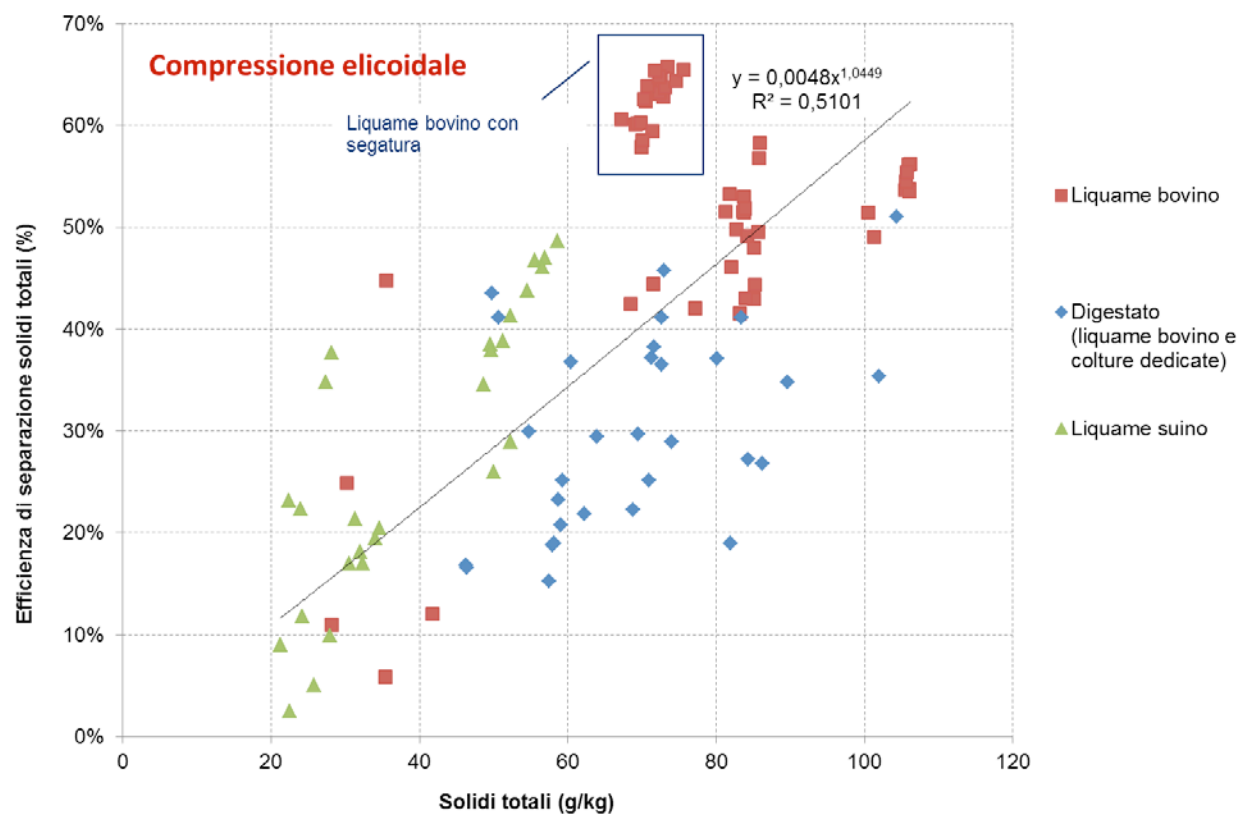


Figura 4 – Efficienza di separazione dei solidi totali della compressione elicoidale e dei rulli contrapposti

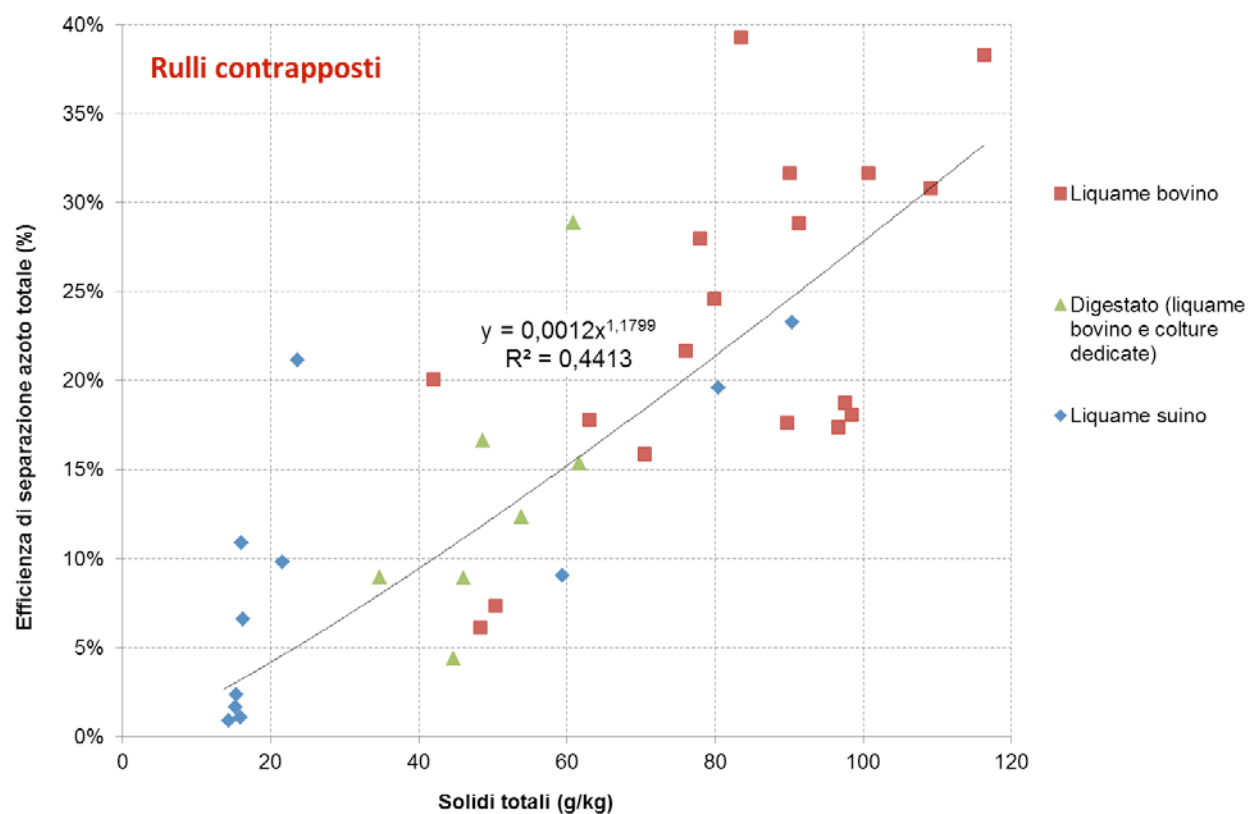
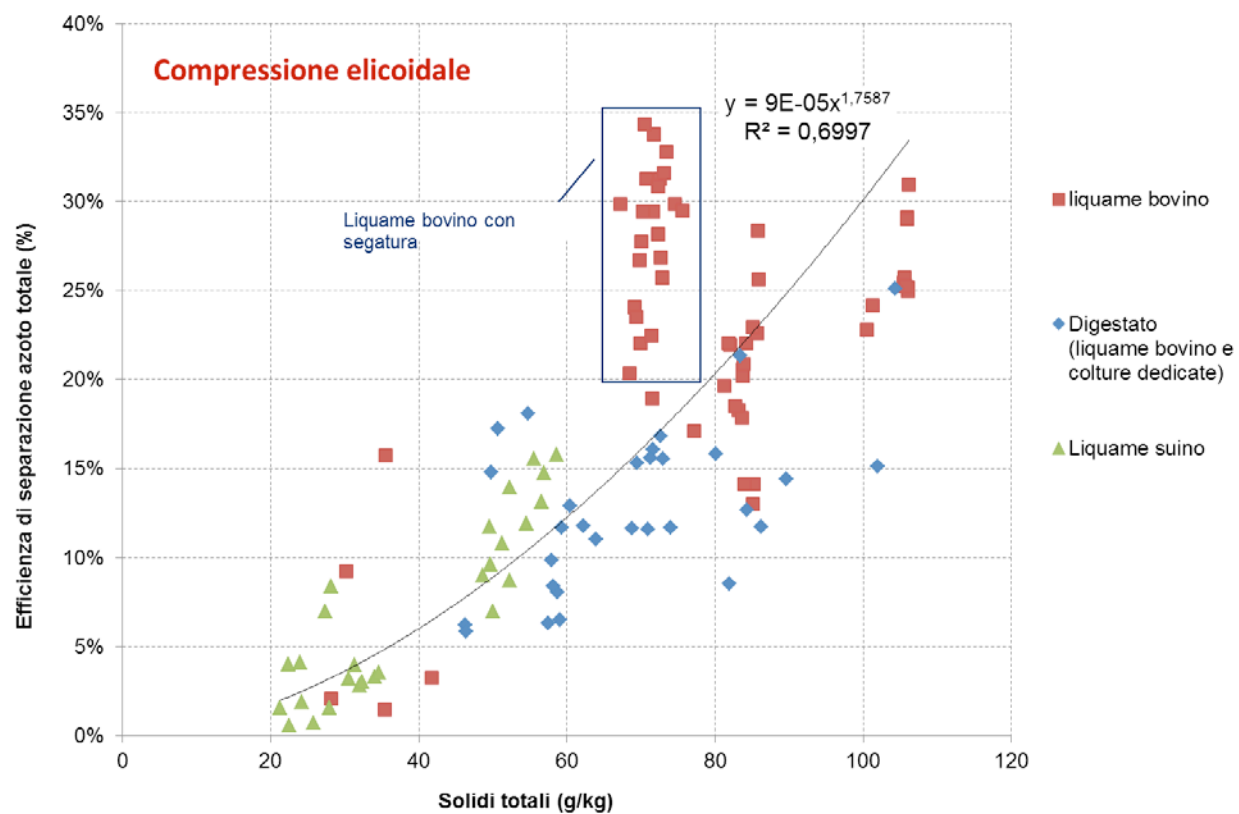


Figura 5 – Efficienza di separazione dell'azoto totale della compressione elicoidale e dei rulli contrapposti

1.2 Essiccazione del digestato

Il processo di essiccazione di biomasse di varia provenienza e variamente trattate è conveniente se è disponibile energia termica a bassissimo costo nel medesimo luogo in cui l'essiccazione avviene. Appare promettente, sotto questo profilo, lo sfruttamento dell'energia termica in surplus delle unità di cogenerazione (CHP) alimentate a biogas per produrre Energia Elettrica (E.E.), al netto dei fabbisogni per termostatazione del digestore e riscaldamento delle biomasse. L'utilizzo di questa energia termica in surplus appare tanto più interessante, se si considera che spesso occorre utilizzare E.E. per dissiparla nell'ambiente esterno.

L'essiccazione delle frazioni solide o dense di digestati è una tecnologia vantaggiosa anche sotto altri profili:

- è un processo conservativo: permette, infatti, di concentrare e recuperare parte della sostanza organica e degli elementi nutritivi (N:P:K) contenuti nel digestato e di esportarli, con ridotti costi di trasporto, in aree agricole a basso carico zootecnico, dove la domanda è attualmente soddisfatta dai soli concimi di sintesi;
- permette di valorizzare ulteriormente il materiale essiccato, portandolo al titolo richiesto ed alla pezzatura più idonea (pellet), per commercializzarlo come fertilizzante organico rispondente ai requisiti della legge nazionale (D.lgs. 75/2010);
- si accompagna, generalmente, alla produzione di un fertilizzante liquido altrettanto interessante, perché commercializzabile come solfato d'ammonio (titolo minimo N: 6%), riconosciuto dalla legge nazionale di cui sopra;
- comporta una sensibile riduzione del volume di digestato;
- per impianti operanti in regime di cogenerazione ad alto rendimento (costruiti dopo il 31/12/2012) che prevedano il recupero dell'azoto e, quindi, anche la sua concentrazione in frazioni essiccate, è previsto il premio aggiuntivo di cui al DM 6 luglio 2012.

1.2.1 Tipologie di impianti di essiccazione dei digestati

E' stata condotta un'indagine sulle tecnologie di essiccazione applicate a liquami e digestati che ha permesso di individuare una serie di tipologie di cui si riportano le caratteristiche essenziali in *Tabella 4*. Si possono distinguere tecnologie per essiccare diverse per la matrice di partenza, come ad esempio:

- frazioni solide separate;
- frazioni solide separate con aggiunta, durante il processo di essiccazione, di frazione liquida irrorata direttamente sul letto di essiccazione;
- quote di digestato tal quale preventivamente miscelate con materiale essiccato in uscita.

Si possono distinguere poi tecnologie diverse per il circuito di flusso di essiccazione che può essere aperto con scarico in atmosfera, o chiuso con ricircolo dell'aeriforme. Nel primo caso sono richiesti molto spesso dispositivi per la cattura dei gas ammoniacali che, con il circuito chiuso, possono invece essere evitati, non essendoci emissioni in atmosfera grazie al ricircolo del flusso d'aria, previa condensazione del vapore in essa contenuto.

Altri caratteri distintivi delle varie tecnologie sono riconducibili al livello termico dell'aria impiegata nel processo, inferiore o superiore ai 90 °C ed al trasferimento del calore che può avvenire con uso diretto dei fumi del cogeneratore o tramite scambiatore.

Nei processi a bassa temperatura lo scambio termico è di tipo convettivo per cui si devono utilizzare volumi d'aria consistenti e lunghi tempi di permanenza sul letto d'essiccazione (da 20 minuti ad oltre 1 ora). Nei processi ad alta temperatura i tempi di permanenza sono molto più ridotti (1-2 minuti) e ciò fa sì che la temperatura d'essiccazione del prodotto permanga costante nel tempo con maggiori garanzie di efficacia del processo e più sicurezza per quanto riguarda il rischio di infiammabilità.

Non sono state invece oggetto di questa indagine, due tecnologie di indubbio interesse riportate in *Tabella 4*: la prima basata su processo chimico, fisico, biologico definibile come “bioessiccazione” (*Figura 6*) e la seconda, fisica, basata su evaporazione/addensamento (*Figura 7*).

Tabella 4 - Tipologie di impianti di essiccazione di digestati

Bassa temperatura (< 110°C)	Tramite scambiatore che scalda l'aria di processo (Energia termica dell'acqua e/o dei fumi)	Tappeto, nastro ventilato o dischi rotanti sovrapposti	Aperto, con scarico in atmosfera
	Uso diretto dei fumi		
Alta temperatura (>> 120°C)	Tramite scambiatore con Olio diatermico o uso diretto dei fumi	Cilindro rotante	Aperto, con scarico in atmosfera
			Chiuso con condensazione della fumana e ricircolo dell'aeriforme
		Con rotore interno	Aperto, con scarico in atmosfera
			Chiuso con condensazione della fumana e ricircolo dell'aeriforme
Evaporazione / Addensamento	A singolo stadio	Pressione ambiente o in depressione / sottovuoto	Aperto, con scarico in atmosfera
	A doppio stadio con condensazione del vapore e recupero del cascame termico		Chiuso con condensazione della fumana e ricircolo dell'aeriforme
Bioessiccazione	Ventilazione naturale o forzata	rivoltamento automatico o con pala meccanica	Aperto, con scarico in atmosfera
	Ventilazione forzata e riscaldamento artificiale		Chiuso con trattamento dell'aria tramite biofiltro e/o scrubber



Figura 6 - Impianto di bio-essiccazione realizzato con tecnologia “Candiracci”



Figura 7 - Impianto di evaporazione sottovuoto con tecnologia Ecotecno

1.2.2 Processi a bassa temperatura

Il processo di essiccamento avviene su tappeti mobili o su dischi rotanti sovrapposti a temperature che non superano i 110 °C. Il calore prodotto dal cogeneratore è veicolato al materiale da essiccare da un fluido scambiatore che può essere acqua od olio diatermico.

Il circuito di flusso caratterizzante i processi a bassa temperatura è di tipo aperto, con scarico diretto in atmosfera. Se però non sono rispettati i valori limite di emissione di cui al D.lgs. 152/2006 (TITOLO I, parte V), o anche se i piani zonali di qualità dell'aria dettano condizioni particolarmente restrittive per le emissioni di ammoniaca, sarà resa obbligatoria la rimozione dell'ammoniaca in apposita torre di lavaggio acido. Già oggi in Regione Lombardia, date le condizioni di qualità dell'aria che richiedono un attento controllo delle emissioni in atmosfera, è prescritto il lavaggio acido a valle dell'essiccatore. Questa soluzione richiede maggiori complessità costruttive e gestionali, soprattutto se, in aggiunta, è prescritto anche l'inserimento di un secondo scrubber ad acqua per l'abbattimento delle polveri e il contenimento delle emissioni odorigene.

La descrizione che segue fa riferimento ad impianti di tipo aperto operanti a bassa temperatura, con scarico delle fumane in atmosfera previo lavaggio acido in apposita torre (scrubber) (Figura 8).

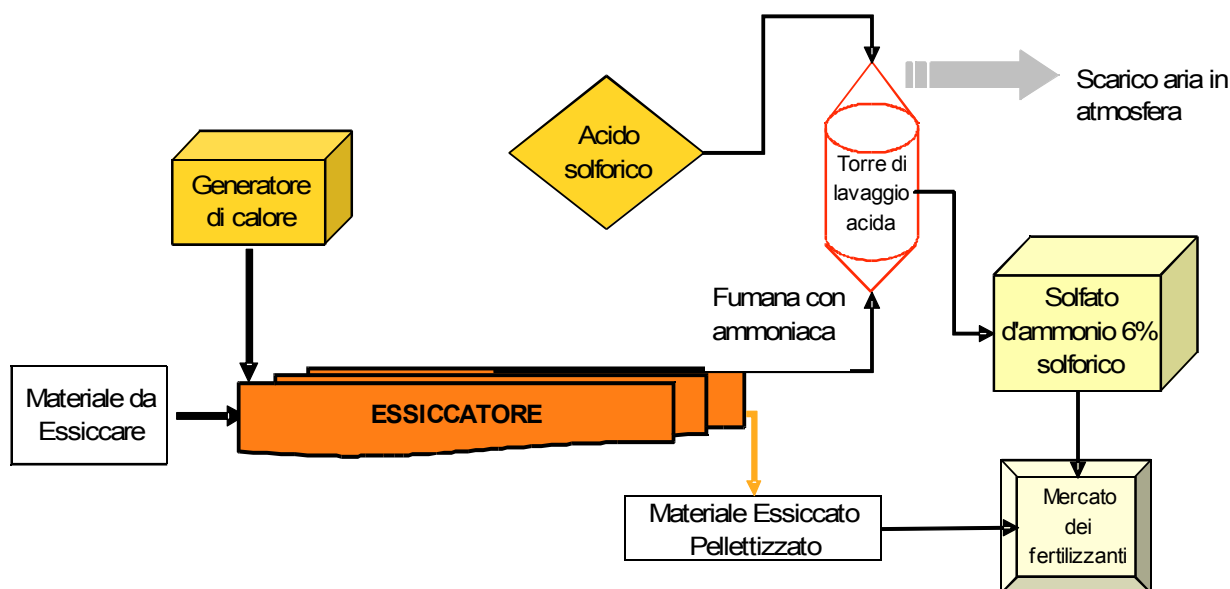


Figura 8 - Schema di flusso di un essiccatore a tappeto operante a bassa temperatura, con circuito aperto e lavaggio acido dell'aria esausta prima dello scarico in atmosfera

In Tabella 5 sono riportati alcuni dei dati di base che sono serviti per un'analisi delle prestazioni di uno di questi impianti operanti a bassa temperatura.

Il caso esaminato è legato ad una tipologia di impianti di biogas che ha oggi una certa prospettiva di realizzazione. Esso riguarda il trattamento di una frazione solida separata di digestato proveniente da un impianto di biogas della potenzialità di 300 kW alimentato con liquame bovino e silomais nella proporzione del 70 e del 30% rispettivamente, per una produzione di 45,1 t giorno di digestato.

Al letto di essiccazione sono alimentate 4,9 t/g di frazione solida al 25% di ST e, in aggiunta, 1,8 t/g di frazione liquida da irrorare sul materiale già parzialmente essiccato. Tutto ciò comporta una riduzione complessiva del volume di digestato del 15%, e ciò è vantaggioso perché si traduce in una pari riduzione del volume di stoccaggio per la frazione liquida e in minori costi di trasporto. Il beneficio è poi ancora maggiore se si considera una diminuzione significativa della superficie di terreno agricolo da asservire per gli spandimenti, dato che l'azoto esportabile fuori del sistema aziendale in forma di concime essiccato e di solfato di ammonio rappresenta il 23% dell'azoto totale contenuto nel digestato tal quale senza i trattamenti di cui sopra.

Tabella 5 - Caratteristiche tecniche e di processo di un impianto di separazione/essiccazione di frazione solida separata di digestato, con tecnologia a bassa temperatura, circuito aperto e lavaggio acido dell'aria esausta. La potenzialità dell'impianto di biogas è di circa 300 kW

Potenzialità dell'impianto di biogas		300 [kW]
Caratteristiche di alimentazione dell'impianto D.A.	in peso	70% Liquame bovino
	in peso	30% Silomais
Q avviata alla D.A.		50 [t/giorno]
Q di digestato t.q in uscita da D.A.		45,1 [t/giorno]
Separazione con separatore a compressione elicoidale		
Efficienza separazione dei solidi		40 [%]
Concentrazione dei solidi nel solido separato		25 [%]
Q di frazione solida separata		4,9 [t/giorno]
Q di frazione solida separata essiccabile al 85% ST		4,9 [t/giorno]
Q digestato chiarificato		40,2 [t/giorno]
Frazione liquida essiccabile in aggiunta		1,8 [t/giorno]
Riduzione volumica del digestato t.q.		15 [%]
Flussi dell'azoto		
Q di N nel digestato	(5,26 g N/kg)	86,7 [t/anno]
Azoto delocalizzabile con pellet e solfato d'ammonio		19,9 [t/anno]
Azoto delocalizzabile in % su N del digestato t.q.		23 [%]
Dati di processo		
Titolo in azoto del pellet		2,7 [%]
Produzione di pellet		557 [t/anno]
Calore disponibile da fumi cogeneratore e acqua calda		280 [kWth]
% mancante per raggiungere il 30%		7 [%]
Q di chiarificato da delocalizzare per rimuovere N mancante		1122 [t/anno]
Costo elettrico (assunto)		0,12 [€/kW]

Possibili benefici possono risultare dalla vendita del concime essiccato e del solfato di ammonio risultante dai lavaggi delle fumane. Altri benefici possono derivare dai risparmi sulle convenzioni con agricoltori per lo spandimento e da quelli derivanti dalle minori percorrenze. Completa il quadro dei possibili benefici il bonus cui si ha diritto grazie al raggiungimento di una riduzione del 30% dell'azoto contenuto nel digestato. Va precisato però che questo valore di riduzione è raggiungibile solo se al 23% di riduzione dell'azoto conseguibile con l'essiccazione, si aggiunge un'esportazione fuori dai confini aziendali di un altro 7% di azoto in forma di digestato tal quale.

1.2.3 Prove con processi ad alta temperatura a circuito chiuso

Dal dicembre 2011 a fine aprile 2012 l'attività EQUIZOO si è concentrata su questo secondo tipo di processo, eseguendo due cicli di prove. Con il primo ciclo sono state eseguite prove di essiccazione su solidi separati in uscita da un digestore anaerobico, mentre con il secondo ciclo, oltre ad ulteriori prove con solidi separati da digestati, sono state eseguite prove con solidi separati da liquami tal quali non sottoposti a digestione anaerobica (DA) e prove di compattazione e granulazione del materiale essiccato, per ottenere un prodotto commercializzabile, trasportabile e facilmente manipolabile.

Le prove sono state eseguite nel reparto sala prove della Ditta VOMM S.p.A., utilizzando il turbo-essiccatore VOMM "TURBO BIO D" (Figura 9).



Figura 9 - Immagine dell'impianto di essiccazione utilizzato per le prove (ditta VOMM S.p.A.)

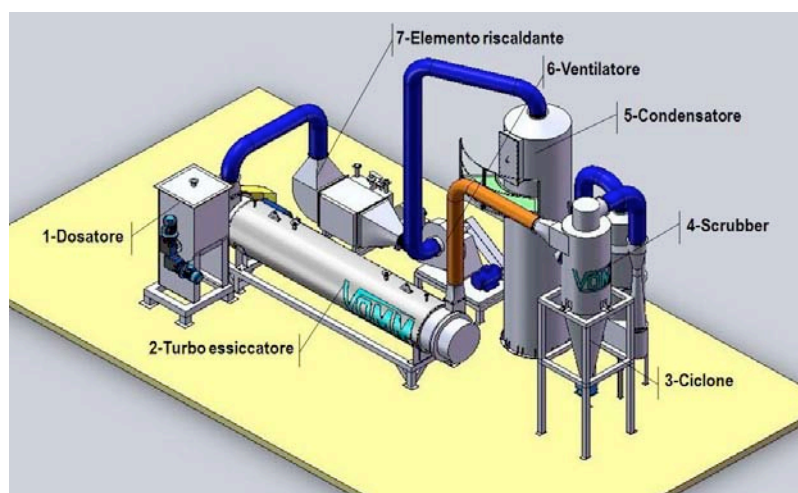


Figura 10 - Rappresentazione tridimensionale dell'impianto di essiccazione utilizzato per le prove (ditta VOMM S.p.A.)

L'unità pilota di essiccazione è inserita in un equipaggiamento più ampio composto da altre unità e l'intera linea di essiccazione è a circuito chiuso evitando in questo modo emissioni di ammoniaca, odori, polveri e composti organici volatili in atmosfera (Figura 10). Gli output del processo sono:

- il prodotto essiccato;

- la frazione liquida ottenuta dalla condensazione del vapore acqueo, contenente ammoniaca ed altri composti inquinanti, presente nel mezzo aeriforme in uscita dal turbo essiccatore;
- lo scarico dallo scrubber che, riempito con acqua, ha la funzione di abbattere le polveri fini non fermate dal precedente filtro a ciclone.

A completamento delle prove, si è ritenuto rispondente alle finalità del progetto lavorare anche sui liquidi di condensa risultanti dal processo di essiccazione ed operare con una tecnologia di concentrazione dell'azoto basata sul processo chimico fisico della Ultrafiltrazione seguita da Osmosi Inversa.

a) Le matrici testate

Oggetto delle prove sono state frazioni solide di diversa provenienza:

frazioni solide da digestati

- 1- Frazione solida separata con separatore a vite da digestato misto bovino/silomais (ST: 22%)
- 2- Frazione solida separata con separatore a vite da digestato misto bovino/silomais (ST: 18%)
- 3- Frazione solida separata con separatore a vite da digestato misto bovino/silomais (ST: 14%)

frazioni solide da liquami bovini tal quali

- 4- Frazione solida separata con separatore a vite da liquame bovino fresco (ST: 19%)
- 5- Frazione solida separata con separatore a vite da liquame bovino fresco (ST: 16%)
- 6- Frazione solida separata con separatore a rulli da liquame bovino fresco (ST: 18%)

All'origine della scelta delle sei matrici c'era innanzitutto la necessità di testare l'efficienza di essiccazione di frazioni solide provenienti sia da digestati misti, sia da liquami bovini tal quali (non sottoposti cioè a DA). Un'indagine sul territorio della provincia di Cremona ha evidenziato, infatti, la presenza di entrambe queste due tipologie di liquame, pur essendo ancora una minoranza le aziende bovine da latte che sottopongono a DA i liquami del proprio allevamento.

La scelta di tre concentrazioni di sostanza secca (% di ST), da sottoporre a prova per ognuno dei due gruppi di matrici (frazioni solide da digestato e da liquame tal quale), deriva poi dall'esigenza di indagare sull'efficienza di separazione della sostanza secca che conviene alle aziende bovine. Quando queste aziende hanno azoto in eccedenza rispetto ai terreni agricoli in dotazione, hanno l'esigenza di trasferire la maggior quantità possibile dell'azoto nella frazione solida, l'unica per la quale esiste una certa convenienza al trasporto fuori azienda in ragione del tenore di secco relativamente alto e del volume abbastanza contenuto. Per ottenere questo risultato è necessario però non eccedere nel cercare di ottenere nella frazione solida tenori di sostanza secca (ST) molto alti. Va considerato, infatti, che, tanto più basso è il contenuto percentuale di ST, ossia tanto più alto è il contenuto di acqua nella frazione solida, tanto più alto sarà il contenuto di azoto (la cui forma ammoniacale è prevalentemente soluta in acqua) in essa contenuto. Per questo converrebbe tenere basso il più possibile il tenore di ST del solido separato, senza perdere il requisito di palabilità e di assenza di liquidi di sgrondo. Per questa ragione è sembrato importante verificare la fattibilità tecnica e l'efficienza di essiccazione per diversi contenuti di sostanza secca dello stesso tipo di matrice. A questo fine sono state scelte tre concentrazioni di ST (14, 18 e 22%) per il solido da digestato e tre concentrazioni di ST per il solido da liquame bovino tal quale (19, 16, 18%), dopo aver verificato che anche le frazioni solide a più basso tenore di secco (14 e 16% di ST) mantenessero nel tempo la struttura palabile, senza rilasciare liquido di sgrondo.

b) Modalità di esecuzione delle prove

Le matrici da testare sono state introdotte nel turboessiccatore con questa modalità:

- il **materiale umido** è immesso manualmente in una tramoggia e da questa caricato automaticamente mediante coclea dosatrice al cilindro del turboessiccatore, che funziona come una centrifuga a camicia riscaldata ad olio caldo (fluido diatermico). Nella parte interna del cilindro, lungo l'asse longitudinale, è immesso un flusso di aria calda a 180-190°C, con una portata di 645 Nmc/h. L'aria esce poi dal turboessiccatore intorno ai 120-130°C. Al punto 1 (*Figura 11*) è effettuato il prelievo del campione per la determinazione dei principali parametri del materiale da essiccare: pH, ST, SV, Ceneri, NTK, N-NH₄⁺, N organico, P totale. Questa caratterizzazione è necessaria ai fini di stabilire le prestazioni del dispositivo, di cui calcolarne poi l'efficienza;
- il prodotto in uscita, costituito da una miscela di aria, vapore e materiale essiccato, fluisce in un ciclone dove le particelle solide ad alto contenuto di sostanza secca vengono separate per forza centrifuga e scaricate in un raccoglitore, dove vanno a costituire il **materiale essiccato**. Al punto 2 (*Figura 11*) è effettuato il prelievo del campione per la determinazione dei principali parametri che caratterizzano il materiale essiccato. Si tratta degli stessi parametri di cui è stata effettuata la determinazione per il materiale umido di cui al punto precedente;
- la corrente d'aria in uscita dal ciclone subisce un notevole abbassamento di temperatura (da 130 a meno di 100°C), trascina con sé particolato fine e passa in uno scrubber ad acqua per l'abbattimento del particolato più fine, prima dell'immissione nello stadio successivo. Si tratta di quantitativi modesti di condensa costituita da un liquido marrone scuro e denso con un contenuto medio di ST (%: 0,72), SV (%ST: 78,47), Ceneri (%ST: 21,53), NTK (mg/kg: 886), N-NH₄⁺ (mg/kg: 669), N organico (mg/kg: 218) P (mg/kg: 55,5), pH (9,19), facilmente riciclabile in testa all'essiccatore;
- l'aria in uscita dallo scrubber ad acqua, ancora calda (60-80°C) e ricca di vapore e di ammoniaca, è fatta passare in un refrigeratore a circuito chiuso di glicole etilenico che lavora a 5°C. L'acqua di condensa, di color giallo paglierino, torbida e maleodorante, è scaricata con apposita pompa in recipiente chiuso per essere avviata alle prove di Osmosi Inversa;
- l'aria deumidificata in uscita dal refrigeratore, a temperatura di circa 30°C, è ora avviata con una soffiante ad un termo condizionatore che riporta a circa 200°C la temperatura dell'aria, pronta ora ad essere ricircolata in testa al turbo essiccatore.

Le prove sono state completate poi dall'avvio di una quota del materiale essiccato ad una macchina pellettizzatrice, per verificare la fattibilità dell'operazione e la qualità merceologica del prodotto.

c) Risultati delle prove di essiccazione

Caratteristiche dei materiali da essiccare, di quelli essiccati ed efficienza del processo

I valori relativi ai materiali trattati sono riportati in *Tabella 6*, assieme a quelli del prodotto essiccato risultante.

Il processo di essiccazione si è rivelato molto efficace avendo portato a valori ragguardevoli di sostanza secca le varie matrici in uscita, partendo anche da matrici in ingresso con un basso tenore di ST (12%). Il tenore medio del materiale essiccato da frazioni solide di digestati è stato del 84,2%, e addirittura del 87,6% quello da frazioni solide da liquami tal quali. Dato che sono gli stessi i tempi di essiccamento e le quantità di matrici caricate, è naturale che i tenori di secco ottenuti siano più alti per i materiali in entrata a più alto tenore di ST.

Nonostante le perdite per volatilizzazione durante il processo di essiccamento, i tenori medi di azoto per tutte le matrici si mantengono abbastanza alti e precisamente, 1,49% sul tal quale nell'essiccato da digestato e 1,47 in quello da liquame tal quale.

Per quanto riguarda il fosforo si è arrivati a valori medi dello 0,67% del tal quale nell'essiccato da digestato e dello 0,43% del tal quale in quello da liquami tal quale. Sono valori di circa quattro volte più alti di quelli riscontrati nei materiali in entrata, conseguenza dell'aumento di pari entità del tenore di secco dovuto all'essiccazione.

Caratteristiche delle acque di condensa e prospettive della loro destinazione

Le analisi effettuate sul liquido di condensa hanno mostrato che, a parte il COD e NTK con valori medi pari a 995 mg O₂/kg e 732 mg/kg rispettivamente, tutti gli altri parametri hanno nel complesso valori molto bassi: ST di 0,02%; SST di 0,04 g/kg; P tot 4,8 mg/kg.

A causa dei tenori di COD ed azoto fuori dei valori limite consentiti, il condensato non può essere scaricato in acque superficiali. Al tempo stesso, le concentrazioni di azoto sono troppo basse per un uso fertilizzante di tale frazione, perciò si è ritenuto che un trattamento di finitura con Ultrafiltrazione ed Osmosi Inversa potesse essere proposto, anche perché il basso valore dei solidi sospesi totali, comporterebbe un basso rischio per l'operatività nel tempo delle membrane.

Bilancio di materia

In tutti i test condotti nella sala prove si è provveduto a pesare e campionare il materiale in ingresso e tutte le frazioni del materiale in uscita: acqua di condensa, materiale essiccato ed acqua contenuta nello scrubber per l'abbattimento delle polveri.

La *Tabella 7*, relativa ai test condotti sulla frazione solida separata da digestato, riporta in percentuale le ripartizioni ponderali e quelle dei vari parametri chimico-fisici, considerando uguale a 100 la sostanza in ingresso.

In *Figura 12*, *13* e *Figura 14* sono riportate immagini significative del materiale grezzo da essiccare, del materiale sfuso dopo l'essiccazione e del materiale pellettizzato pronto per l'insacchettamento e la vendita.

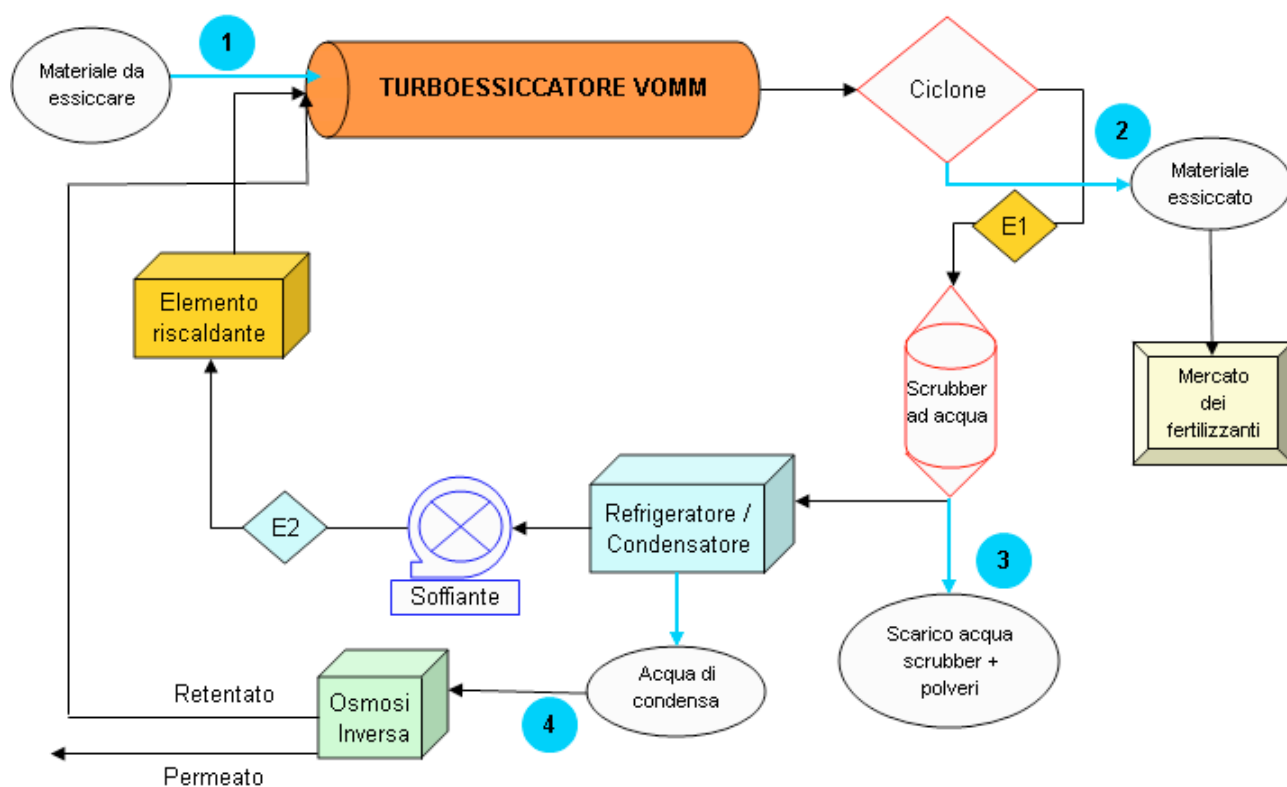


Figura 11 - Schema di flusso della linea impiantistica utilizzata per le prove di essiccazione con Turbo essiccatore VOMM



Figura 12 - Materiale umido da essiccare



Figura 13 - Materiale pulverulento sfuso



Figura 14 - Materiale essiccato e pellettizzato

Tabella 6 - Sostanza secca, azoto e fosforo nei materiali tal quali e nelle frazioni essiccate

		IN	OUT	IN	OUT	IN	OUT
Materiale trattato	Parametro	ST [%tq]		NTK [%tq]		P [%tq]	
Digestato	22% s.s.	22,0	88,2	0,43	1,62	0,19	0,71
Digestato	18% s.s.	17,9	83,0	0,40	1,41	0,17	0,70
Digestato	14% s.s.	13,9	81,8	0,34	1,44	0,13	0,61
Letame/Elicoidale	19% s.s.	19,1	87,6	0,37	1,40	0,10	0,49
Letame/Elicoidale	16% s.s.	15,8	85,8	0,39	1,40	0,10	0,47
Letame/Rulli	18% s.s.	18,2	89,8	0,41	1,62	0,08	0,35

Tabella 7 - Ripartizione dei pesi delle frazioni e dei parametri chimici analizzati

Parametro	Peso	ST	SV	NTK	N-NH ₄ ⁺	P tot
Unità di misura	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Frazione Condensata	81,5%	0,1%	0,1%	15,4%	69,5%	0,4%
Frazione Essiccata	19,7%	93,8%	94,5%	75,3%	25,9%	82,1%
Acqua scrubber polveri	-0,8%	0,8%	0,7%	12,7%	18,4%	0,9%

Incerteza del bilancio 0,4% 5,3% 4,8% 3,4% 13,8% 16,6%

d) Trattamento delle acque di condensa (Ultrafiltrazione e Osmosi Inversa)

Le prove sono state condotte da CRPA che ha impostato la ricerca, eseguito tutti i monitoraggi, con elaborazione e valutazione dei dati raccolti, in collaborazione con Envis, società di ingegneria nata all'interno della Sezione Depurazione e Ciclo dell'Acqua dell'ENEA di Bologna, che ha eseguito materialmente la conduzione dell'impianto pilota.

Lo scopo principale delle attività è consistito nella valutazione dell'efficienza del trattamento di Osmosi Inversa sui liquidi di condensa provenienti dal processo di essiccamento della frazione solida del digestato e del letame bovino tal quale.

Interessava, in particolare, la valutazione delle caratteristiche (soprattutto dei tenori di azoto) dei due distinti flussi generati con il processo di separazione mediante membrane di Osmosi Inversa e precisamente:

- del permeato, ai fini del suo smaltimento finale (scarico in acque superficiali o in fognatura);
- del retentato, ai fini del suo impiego come fertilizzante o in altre sezioni a monte della linea di trattamento.

I volumi da sottoporre al trattamento sono stati preventivamente condizionati con acido solforico in eccesso presso i laboratori del CRPA, al fine di salificare l'ammoniaca disciolta a solfato di ammonio, molecola che può essere trattenuta dalla membrana filtrante in ragione del suo *cut-off* (peso molecolare di una molecola trattenuta con una probabilità del 90% in condizioni standard).

La gestione dell'impianto e delle prove effettuate ha avuto come principale obiettivo la verifica delle prestazioni del modulo filtrante, in termini di:

- capacità di filtrazione/selettività della membrana;
- capacità di separazione dell'azoto e della sua ripartizione tra il permeato e il retentato;
- efficacia del trattamento nel tempo.

Le prove sono state condotte in modalità discontinua (*batch*), prevedendo il completo ricircolo del concentrato nel serbatoio di alimento in cui, quindi, nel corso della prova si riduce progressivamente il volume con una concentrazione a mano a mano crescente, mentre il permeato viene raccolto e allontanato rilevandone portata e concentrazione in continuo.

L'impianto pilota

L'impianto (*Figura 15*), realizzato interamente in acciaio (con l'eccezione del misuratore di portata e delle tubazioni di carico e scarico in materiale plastico resistente all'alta temperatura e ai lavaggi acidi/alcalini), ha utilizzato una membrana per Osmosi Inversa di tipo polimerico ad avvolgimento a spirale (spiral wound module Model WW-8040HP della GE Water and Process Technologies) (*Figura 16*).



Figura 15 - L'impianto di laboratorio per l'Osmosi Inversa



Figura 16 - La membrana impiegata per l'Osmosi Inversa

Dall'osservazione dei risultati si può dedurre che il trattamento con UF e OI, consente la produzione di un permeato con concentrazioni di N-NH_4^+ al di sotto dei valori limite per lo scarico in acque superficiali (Tabella 8).

Tabella 8 - Caratteristiche del permeato da Osmosi Inversa

	NTK	N-NH_4^+	P tot	COD	SST
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Condensato in ingresso a UF+OI	729	707	7,9	1358	60
Condensato in uscita da UF+OI	5,6	1,9	0,08	23	12

f) Analisi delle prestazioni di un essiccatore ad alta temperatura con rotore interno ed a circuito chiuso (turbo essiccatore VOMM)

Il caso esaminato è proponibile per una tipologia di impianti di biogas molto rappresentativa della realtà regionale lombarda (impianti da 1MW).

In Tabella 9 sono riportati alcuni dei dati di base che sono serviti per un'analisi delle prestazioni di uno di questi impianti operanti ad alta temperatura.

L'analisi è stata condotta su di un ipotetico impianto avente, come sorgente termica per l'alimentazione della linea di essiccazione, il calore di cogenerazione di un impianto di Digestione Anaerobica da 1 MW alimentato con liquame bovino e suino nella proporzione del 47% e con silomais e farine in quella del 53%, per una produzione di 72 t/giorno di digestato (*Tabella 9*).

Al turboessiccatore sono alimentate 15,27 t/g di frazione solida al 12% di ST. Si è scelto di caricare un materiale particolarmente bagnato per cercare di diminuire il più possibile il volume di frazione liquida rimanente. Tutto ciò comporta una riduzione complessiva del volume di digestato del 21% e ciò è vantaggioso perché si traduce in una pari riduzione del volume di stoccaggio per la frazione liquida e in minori costi di trasporto. Il beneficio è poi ancora maggiore se si considera una diminuzione significativa della superficie di terreno agricolo da asservire per gli spandimenti, dato che l'azoto esportabile fuori dal sistema aziendale in forma di concime essiccato e di solfato di ammonio rappresenta il 23% dell'azoto totale contenuto nel digestato tal quale senza i trattamenti di cui sopra.

Tabella 9 - *Analisi delle prestazioni dell'impianto di essiccazione di tipo chiuso operante ad alta temperatura*

Potenzialità dell'impianto di biogas		999 [kW]
caratteristiche alimentazione impianto	47%	liq. Bovino e Suino
	53%	Insilati vari + farine
Q avviata alla D.A.		86 [t/giorno]
Q di digestato t.q in uscita da D.A.		72 [t/giorno]
Separazione con separatore a compressione elicoidale		
Efficienza separazione dei solidi		40 [%]
Concentrazione dei solidi nel solido separato		12 [%]
Q di frazione solida separata		15,27 [t/giorno]
Q di frazione solida separata essiccabile al 85% ST		15,27 [t/giorno]
Riduzione volumica del digestato t.q.		21 [%]
Flussi dell'azoto		
Q di N nel digestato	(5,90 g N/kg)	155 [t/anno]
Azoto delocalizzabile con pellet		35,6 [t/anno]
Azoto delocalizzabile in % su N del digestato t.q.		23 [%]
Dati di processo		
Titolo in azoto del pellet		3,5 [%]
Produzione di pellet		787 [t/anno]
Calore disponibile da fumi cogeneratore		463 [kWth]
Costo elettrico (assunto)		0,12 [€/kW]

Possibili benefici possono risultare dalla vendita del concime essiccato e del solfato di ammonio risultante dai lavaggi delle fumane. Altri benefici derivano anche dai risparmi sulle convenzioni con agricoltori per lo spandimento e quelli derivanti dalle minori percorrenze. Non si ha diritto, data la potenza energetica dell'impianto, al bonus previsto per gli impianti inferiori ai 600 kW quando ottengono una riduzione dell'azoto contenuto nel digestato. Il recupero dell'energia termica, altrimenti dispersa, dovrebbe però dare titolo per i contributi dei cosiddetti "Certificati bianchi".

g) Considerazioni complessive sulle prove con essiccatore ad alta temperatura e rotore interno

A conclusione delle prove condotte in ambito EQUIZOO si può affermare quanto segue:

- un buon tenore di sostanza secca, intorno all'85%, è ottenibile con la tecnologia VOMM di turboessiccazione per frazioni solide in ingresso aventi tenori di sostanza secca variabili dal 12 al 22%. Vale la pena notare che tenori di sostanza secca così bassi in ingresso non sono proponibili per gli essiccatori a tappeto operanti a bassa temperatura, a meno che non si provveda a ricircolare materiale già essiccato con però ulteriori appesantimenti della linea. L'origine delle matrici solide, da digestato o da liquami bovini tal quali, non incide sull'efficacia del processo di essiccazione;
- il tenore di nutrienti (N e P) delle frazioni essiccate è interessante, ma non tale tuttavia da permettere di inserire il prodotto tra i concimi, ad esempio tipo letame essiccato. Il tenore di N totale non raggiunge, infatti, il valore richiesto del 3% sul tal quale. E' possibile invece ipotizzare che l'aggiunta alle matrici in ingresso all'essiccatore di calibrate quantità di soluzioni di solfato di ammonio provenienti ad esempio da impianti di strippaggio, possa elevare il tenore di N totale dal valore del 1,5% riscontrato nelle prove al valore del 2% o anche superiore in base alle richieste del mercato dei fertilizzanti. Ciò consentirebbe di includere il prodotto in uscita dal processo testato nella categoria degli ammendanti a buon tenore di azoto, riconosciuti dal D.lgs. 75/2010 sulla commercializzazione dei fertilizzanti;
- l'acqua di condensa, per i valori di COD (600-1400 mgO₂/l) e di azoto totale (700-740 mg/l) relativamente elevati, non ha facili destinazioni, non essendo utilizzabile come fertilizzante e non essendo scaricabile in acque superficiali. Tuttavia le prove di OI, come testimoniato dalle prove di cui si rendiconta in sintesi al paragrafo d), dimostrano l'applicabilità e l'efficacia di un trattamento di questo tipo, previa ultrafiltrazione. Si ottengono, infatti, due importanti risultati: un'acqua fortemente alleggerita del carico di COD e N totale (permeato), da poter essere scaricata in acque superficiali; una soluzione concentrata (retentato) a carico di azoto abbastanza elevato, tale, se ricircolata in testa all'essiccatore, da elevare il tenore di questo elemento nel prodotto finale a quasi il 2% del tal quale;
- la conduzione del processo in impianto di essiccazione a circuito chiuso, permette di valorizzare agronomicamente le matrici trattate, recuperando tutte le sostanze utili altrimenti disperse in atmosfera con effetti inquinanti. L'assenza di emissioni in atmosfera (l'aria di evaporazione è ripulita e continuamente ricircolata) rende trascurabile anche l'emissione di odori, di ammoniacca e di sostanze organiche volatili, cioè il tipo di impatto che tanti problemi può creare a livello di comunità locali.

1.2.4 Considerazioni generali sull'essiccazione di frazioni solide di digestati

Una prima considerazione scaturisce dal bilancio riportato in *Figura 17*, da cui si evince che questo cambia, anche a parità di potenza energetica erogata dall'impianto di biogas, a seconda delle matrici in ingresso.

Nel caso di impianto che tratta 100% di biomasse da colture energetiche (es. silomais), è possibile un processo di essiccazione di frazioni di digestato che danno luogo ad una consistente produzione di fertilizzante (920 t/anno), ad una rimozione dell'azoto del 60% che soddisfa i requisiti del Decreto incentivi (art 26 del DM luglio 2012), ad una evaporazione di acqua che porta ad un dimezzamento del volume di digestato che resta in forma liquida in azienda per lo spandimento agronomico.

Nel caso invece di un impianto che tratti effluente bovino e solo il 30% di biomasse energetiche, il bilancio peggiora per quanto riguarda la rimozione dell'azoto (scendiamo al 24%) e la riduzione del volume del digestato che resta in azienda (solo del 17%), mentre migliora per quanto riguarda la produzione di fertilizzante (1213 t/anno).

Il caso peggiore si ha con l'essiccazione di digestato da liquame suinicolo (70% + 30% di biomasse consentito). Considerando un impianto da 300kW, taglia massima ipotizzabile in questo tipo di

allevamento, abbiamo risultati veramente scoraggianti: bassissima rimozione dell'azoto (meno del 18%), poco più del 13 di riduzione del volume di digestato che resta in azienda e trascurabile produzione di fertilizzante.

Potenza elettrica	1000 kW	1000 kW	300 kW
Matrici al carico DA	100 % biomasse	70 % effluenti bovino 30% biomasse	70 % effluenti suino 30 % biomasse
Solido Essiccato	920 t/anno	1213 t/anno	234 t/anno
Azoto esportabile	60,6 %	24,1 %	18,7 %
Acqua evaporata	51,6 %	16,9 %	13,3 %

Figura 17 - Bilancio di massa in termini di frazione solida essiccata, azoto trasferibile in tale frazione ed esportabile, acqua evaporata

Più in generale possiamo concludere che:

- L'introduzione in un impianto di biogas di un essiccatore per le frazioni solide del digestato, comporta un maggior impegno su tutta la linea. In particolare, è necessario il ricorso a mano d'opera molto preparata, per i frequenti interventi specialistici, anche di sola manutenzione. All'accuratezza di queste ultime e ad un'attenta programmazione dei tempi di funzionamento, è legato l'utilizzo completo del calore di cogenerazione in esubero;
- le tecnologie per l'essiccazione sono soggette, poi, ad una sempre maggiore complessità strutturale, man mano che vengono introdotti nuovi limiti per le emissioni, con inevitabili lievitazioni dei costi d'investimento. Sono favorite in questo senso le tecnologie a circuito chiuso perché, oltre all'abbattimento dell'ammoniaca nelle arie esauste, operano anche quello degli odori e del particolato;
- per una buona penetrazione sul mercato le tecnologie per l'essiccazione richiedono la sostenibilità economica, il che si traduce in costi di investimento che rendano possibile il rientro del capitale investito in un tempo ragionevole;
- decisivo per la sostenibilità sarà anche il decollo di un mercato sicuro dei fertilizzanti ottenuti (pellet da digestato essiccato e solfato d'ammonio) e di quotazioni di mercato dell'unità fertilizzante che, assieme agli incentivi previsti dal "conto energia" (DM 6 luglio 2012), rendano remunerativo l'investimento;
- un buon passo avanti in questa direzione, sarà costituito dalla conclusione positiva della procedura in corso per l'inserimento del prodotto "digestato essiccato" nella normativa che regola la commercializzazione dei fertilizzanti (D.lgs. 75/2010);
- decisivo sarà anche l'ottenimento del bonus azoto previsto dal "conto energia" e del CAR (Cogenerazione ad Alto Rendimento). Purtroppo, al momento, su questi incentivi, basati su efficienze difficili da rispettare, sussistono ancora troppe incertezze sui meccanismi di erogazione.

1.3 Strippaggio dell'azoto ammoniacale da frazioni chiarificate di digestati

Dopo un'indagine preliminare sulle tecniche di strippaggio esistenti, a ottobre 2012 ed a marzo 2013 sono stati condotti due cicli di prove di strippaggio dell'azoto ammoniacale da frazioni liquide ottenute da separazione solido-liquido di digestato costituito da liquami bovini in miscela con colture dedicate.

1.3.1 Indagine sulle tecniche di strippaggio esistenti

Sono state individuate tre tipologie impiantistiche, diverse per la struttura delle colonne di strippaggio, che possono essere così classificate:

- Impianto a colonna di strippaggio percolante con corpi di riempimento;
- Impianto con colonna a piatti;
- Impianto con colonna a gorgogliamento interno del flusso d'aria.

Nella *Figura 18* e nella *Figura 19* sono rappresentati lo schema di flusso e un'immagine di un impianto di strippaggio realizzato nel 2006 dalla Ditta Rota su progetto CRPA. Tale impianto è tuttora in funzione ed è utilizzato per prove di strippaggio su diversi tipi di digestati.

Nella *Figura 20* sono rappresentate le caratteristiche dell'interno di diversi reattori di strippaggio oggi reperibili sul mercato.

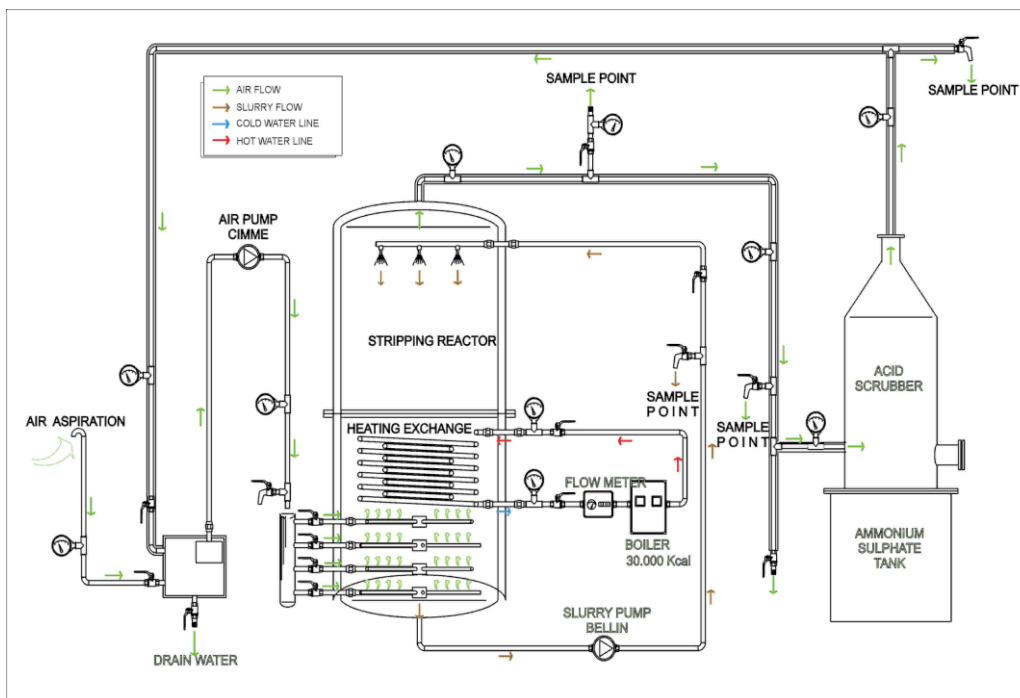


Figura 18 - Schema di flusso del primo impianto di strippaggio per digestato messo a punto da CRPA e dalla ditta Rota di Corte de' Frati (Cremona)

(funzionamento a ricircolazione d'aria in semi batch. HRT: 6 ore; temperatura scrubber acido: 50-70 °C; capacità del reattore: 1 m³ di liquame; Q di aria insufflata 100-250 m³/h/ m³ di aria insufflata)



Figura 19 - Immagine dello strippatore



Figura 20 - Componenti interne di reattori di strippaggio: scambiatori e miscelatori

L'indagine ha permesso di individuare due tipi diversi di processo di strippaggio e, di ognuno, di rilevare le principali caratteristiche operative e i problemi connessi. In sintesi:

Strippaggio a bassa temperatura con innalzamento del pH (pH tra 10,5 e 12)

- Ottime efficienze di rimozione (anche superiori al 90% in NH_3);
- elevato costo delle basi (da 1 a 5 euro/ m^3 in relazione al potere tamponante del digestato ed alla sostanza alcalinizzante usata);
- problematicità di gestione del chiarificato basico risultante (pH molto alto e quantità elevate);
- presenza di residui (ioni Ca^{++} , Na^+ , altri) di impatto potenzialmente negativo sui terreni in caso di destinazione agricola del chiarificato risultante.

Strippaggio ad alta temperatura senza modificazione del pH

- Sostenibile economicamente solo se si dispone di cascami termici derivanti dalla Digestione Anaerobica con annessa co-generazione ad alto rendimento;
- buone efficienze se si lavora a temperature di 80-85 °C (riduzioni anche superiori a 80% in NH₃);
- nessuna problematicità di gestione del refluo risultante, anche per l'assenza di residui dei pretrattamenti alcalinizzanti (ioni sodio, calce, ...).

Nelle due figure che seguono sono riportate le rese di strippaggio che si possono avere con i due tipi di processo descritti.

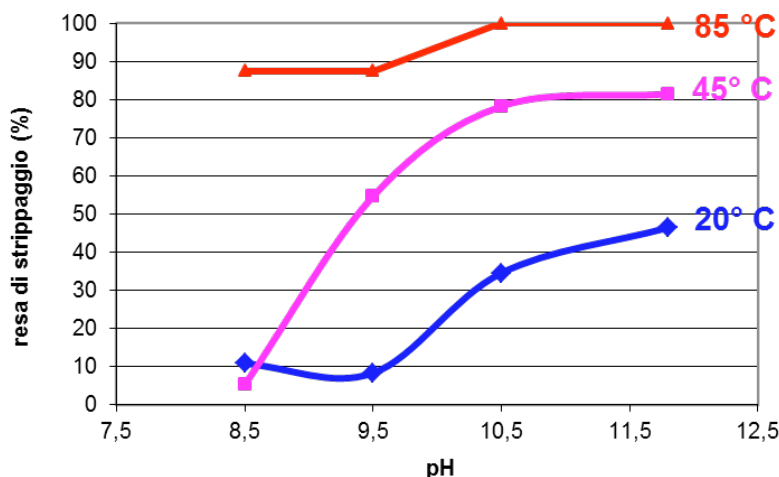


Figura 21 - Andamento della resa di strippaggio in funzione del pH e delle temperature (ConDIFA-Quaderni della ricerca Regione Lombardia-Agricoltura, 2009)

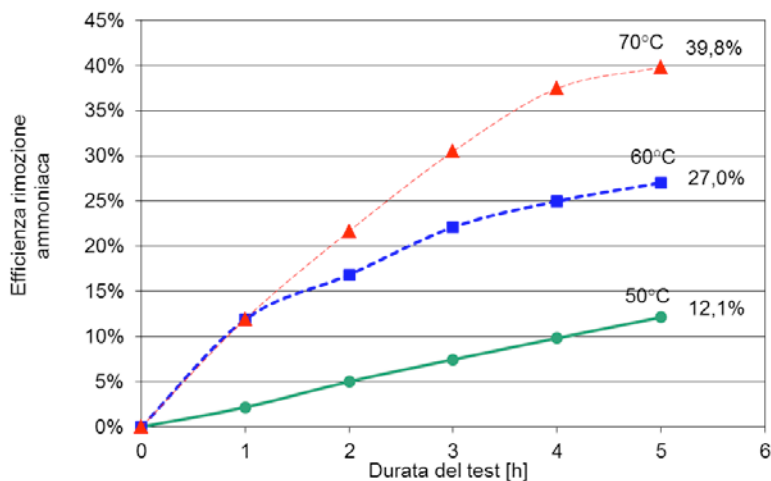


Figura 22 - Andamento medio della percentuale di ammoniaca rimossa durante i test CRPA (2008) condotti su liquame suino chiarificato in funzione della temperatura (50°C, 60°C e 70°C) e della durata del processo.

In *Figura 21* appare molto chiaramente come a temperature basse (20 °C), o medie (45 °C), l'innalzamento del pH sia condizione necessaria per avere rimozioni dell'azoto per strippaggio che sono comunque modeste. A temperature più alte, invece, per esempio intorno agli 80-85 °C, l'efficienza di strippaggio è già alta anche con modesti innalzamenti del pH.

La *Figura 22* mostra poi con chiarezza l'aumento di efficienza di rimozione con l'aumentare della temperatura.

Entrambi i grafici sono stati risolutivi nella scelta, per l'esecuzione delle prove, della modalità di strippaggio basata sul riscaldamento a temperatura medio alta. Le ragioni sono state fondamentalmente le seguenti:

- la disponibilità di cascami termici dai cogeneratore presenti negli impianti di biogas;
- la convenienza ad operare, anche per le possibilità di accesso ai contributi del DM 6 luglio 2012, sulla frazione chiarificata di digestati che, per altro, si trova già a pH superiore alla neutralità. La Digestione Anaerobica (DA), infatti, innalza il pH riducendo gli acidi volatili che possono ostacolare il passaggio dell'ammoniaca dalla soluzione acquosa a gas;
- la DA trasforma N organico (non strippabile) in azoto in forma ammoniacale (strippabile) aumentandone la percentuale e l'efficienza di rimozione;
- la DA riduce notevolmente la sostanza organica responsabile della formazione di schiume, anche se, nella fase di strippaggio, questo problema non è del tutto eliminato.

Restano tuttavia alcuni problemi legati allo strippaggio ad alte temperature che, nel corso delle prove, si è cercato di capire per trovare soluzioni al loro superamento.

Essi sono:

- possibile eccessiva diluizione dell'acido solforico nella torre di lavaggio (necessità di intercettazione dell'umidità del flusso d'aria di strippaggio e di ottima coibentazione del sistema per ridurre le condensazioni);
- necessità di avviare allo strippaggio il chiarificato con il più basso contenuto di sostanza secca possibile [ST<2-2,5%] (minor effetto tampone del pH, maggior volatilizzazione dell'ammoniaca, ridotte formazioni di schiume e minori accumuli nel reattore di sostanza organica);
- necessità di sviluppo di tecniche con ricircolo del flusso d'aria di strippaggio per evitare emissioni maleodoranti.

1.3.2 Prove con processo di strippaggio a media temperatura, a circuito chiuso, senza innalzamento del pH

Le prove sono state eseguite nel reparto prove della Ditta VOMM S.p.A., utilizzando il dispositivo "TURBO BIO NH3 R VOMM" che costituisce uno sviluppo prototipale del dispositivo utilizzato per le prove di essiccazione. Le modifiche introdotte costituiscono un'innovazione tecnologica e di processo di proprietà della ditta VOMM S.p.A.

Le prove sono state condotte utilizzando una linea a circuito chiuso con ricircolo del flusso d'aria di strippaggio, previo lavaggio con acido, condensazione e successivo riscaldamento a 70 °C.

In *Figura 23* viene illustrato lo schema di flusso della linea impiantistica di strippaggio. I punti numerati da 1 a 4 corrispondono ai punti di campionamento del digestato chiarificato in ingresso e delle 3 frazioni ottenute dal processo di strippaggio. I punti denominati E1 ed E2 rappresentano i punti di campionamento dell'aria di processo in uscita dall'unità di strippaggio (E1) e dell'aria reimmessa nell'unità di strippaggio (E2) dopo essere stata sottoposta al lavaggio con acido, con solo acqua ed alla condensazione. In questi due punti si è campionato il flusso d'aria al fine di determinarne la concentrazione in azoto ammoniacale (mg/m³).

Il tempo di stazionamento del materiale all'interno dell'unità di strippaggio è stato fissato in 5 minuti e 20 secondi, modificando strutturalmente il reattore che era stato usato per le prove di essiccazione di cui al paragrafo 1.2.3, senza abbassare il carico specifico. Il flusso d'aria di strippaggio è stato impostato a 300 Nm³/h. Il carico specifico di digestato chiarificato allo strippatore è stato pari a 100 kg/h.

Il flusso d'aria in uscita dall'unità di strippaggio, ricco di ammoniaca ed altri composti organici è stato poi depurato mediante lavaggio in controcorrente in uno scrubber con soluzione acida. All'interno dello scrubber il pH della soluzione acida è stato mantenuto costante a 2,5 – 2,6 richiamando nuovo acido quando il pH saliva oltre 2,6. L'acido solforico (H_2SO_4) in soluzione acquosa utilizzato nei test, durante il contro lavaggio del flusso d'aria di strippaggio, si lega all'azoto ammoniacale presente nel flusso formando un sale stabile, il solfato d'ammonio, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. La soluzione acquosa di questo sale ha buone prospettive di essere riconosciuta come fertilizzante commerciale, poiché con semplici aggiustamenti del titolo è in grado di rispettare i requisiti del D.lgs. 75/2010. Nel capitolo 2.1 sono valutate tecniche di applicazione di questo fertilizzante con linee interrate per la fertirrigazione a goccia.

Successivamente il flusso d'aria, depurato dall'ammoniaca, viene introdotto in controcorrente in un secondo scrubber, funzionante a sola acqua. Questo secondo stadio evita che condense e goccioline acide possano essere trascinate dal flusso d'aria, in uscita dal primo stadio acido, alla successiva unità di condensazione ed in seguito alle unità di riscaldamento e strippaggio. Inoltre un ulteriore lavaggio con acqua ha il pregio di ridurre la concentrazione degli inquinanti organici presenti nel flusso.

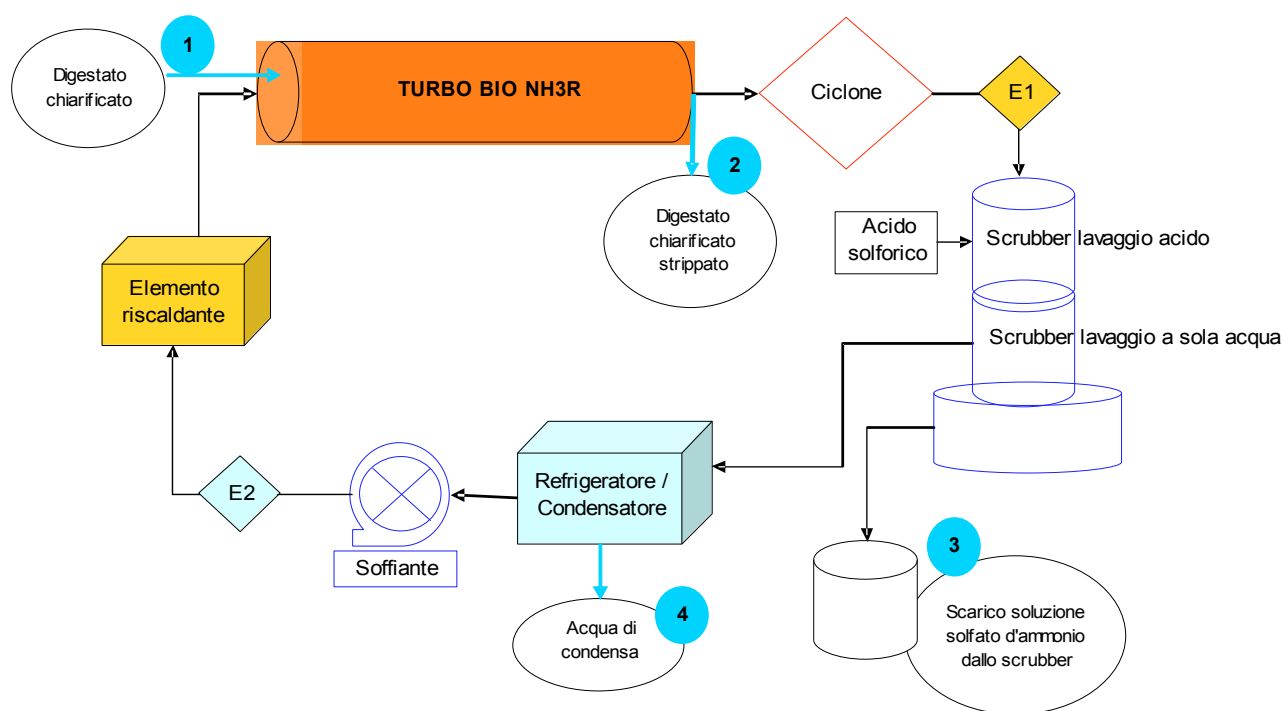


Figura 23 – Schema di flusso della linea impiantistica di strippaggio

In questo ciclo di prove sono stati sottoposti a strippaggio:

- un digestato chiarificato tal quale avente un pH già leggermente basico pari a 7,78;
- lo stesso tipo di digestato chiarificato utilizzato al punto sopra, ma avendo leggermente innalzato preventivamente il pH a 8,5 utilizzando KOH in scaglie. Incremento raggiungibile con quantitativo ingente di base: 1,93 g di KOH puro in scaglie per kg di digestato chiarificato.

Per ciascuno dei due digestati chiarificati sottoposti a strippaggio sono stati eseguiti 3 test, condotti a diverse temperature di processo:

- 1° test: temperatura di camicia (temperatura di parete della camera al cui interno avviene il processo di strippaggio) pari a 60 °C e temperatura dell'aria in ingresso all'unità di strippaggio avente valore medio pari a 53 °C;
- 2° test: temperatura di camicia pari a 75 °C e temperatura dell'aria in ingresso all'unità di strippaggio avente valore medio di 68 °C;
- 3° test: temperatura di camicia pari a 90 °C e temperatura dell'aria in ingresso all'unità di strippaggio avente valore medio di 83 °C.

I risultati ottenuti con il secondo tipo di digestato, quello con il pH leggermente innalzato preventivamente a 8,5 utilizzando KOH in scaglie, dimostrano che nello strippaggio ad elevate temperature un innalzamento leggero di pH non ha alcun effetto sull'efficienza finale di strippaggio. Questo in linea con altre ricerche sperimentali come si osserva in *Figura 21* (Fonte: ConDIFA-Quaderni della Ricerca Regione Lombardia-Agricoltura, 2009).

Di rilievo i risultati riscontrati con il primo tipo di digestato nel terzo test, quello con temperature di camicia più alte. Le efficienze di rimozione dell'azoto ammoniacale sono pari al 77,1% (*Tabella 10*). Nella stessa *Tabella 10* si riporta il bilancio di massa relativo alla forma ammoniacale dell'azoto per i 3 test condotti sul chiarificato senza innalzare il pH. Sempre in questa tabella si riportano le efficienze di rimozione in peso dell'azoto ammoniacale, come differenza percentuale tra la quantità in ingresso e quella in uscita. In *Tabella 11* è illustrato il bilancio di massa dell'azoto totale (NTK) per questi 3 test.

Tabella 10 – Bilancio di massa della forma ammoniacale dell'azoto

Test	N-NH ₄ ⁺ IN	N-NH ₄ ⁺ OUT	Azoto Ammoniacale abbattuto	N-NH ₄ ⁺ nella frazione condensata	N-NH ₄ ⁺ nella frazione condensata	N-NH ₄ ⁺ stimato nello scarico scrubber	N-NH ₄ ⁺ stimato nello scarico scrubber
	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
Camicia 60°C	161,9	79,3	51,1%	0,0	0,0%	82,7	51,1%
Camicia 75°C	161,9	54,1	66,6%	0,2	0,1%	107,7	66,5%
Camicia 90°C	161,9	37,0	77,1%	1,4	0,8%	123,6	76,3%

Tabella 11 – Bilancio di massa dell'azoto totale (NTK)

Test	NTK IN	NTK OUT	Azoto totale abbattuto	NTK nella frazione condensata	NTK nella frazione condensata	NTK stimato nello scarico scrubber	NTK stimato nello scarico scrubber
	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]
Camicia 60°C	273,1	180,6	33,9%	0,0	0,0%	92,6	33,9%
Camicia 75°C	273,1	159,1	41,8%	0,5	0,2%	113,6	41,6%
Camicia 90°C	273,1	141,3	48,3%	2,4	0,9%	129,5	47,4%

E' apparso in tutta la sua importanza come il contenuto di azoto ammoniacale presente nella frazione condensata, espresso come percentuale dell'azoto ammoniacale in ingresso alla linea di strippaggio, sia mediamente inferiore all'unità, mentre la quasi totalità di quello rimosso sia catturato sotto forma di solfato d'ammonio nel dispositivo di lavaggio con acido (scrubber).

Si riscontra anche una significativa riduzione in peso del refluo in uscita specialmente quando si incrementano le temperature di processo.

Nel grafico in *Figura 24* – si evince che incrementando le temperature di processo, sia le temperature di camicia (60 – 75 – 90 °C) che le temperature del mezzo aeriforme (53 – 68 – 83 °C), le efficienze di strippaggio aumentano significativamente (50 – 67 – 77%). Non è conveniente però elevare ulteriormente le temperature, perché quando si raggiungono valori prossimi al punto di evaporazione della frazione acquosa presente nel digestato chiarificato, la quantità di vapor acqueo asportata dal flusso aeriforme di strippaggio aumenta considerevolmente dando origine a forti ricondensazioni nello scrubber acido diluendo la soluzione di solfato d'ammonio ed aumentando il consumo di acido solforico. L'effetto di questa diluizione è negativo perché abbassa il tenore di azoto totale nella soluzione e allontana dall'obiettivo del tenore minimo del 6% richiesto dalla normativa per il riconoscimento come fertilizzante commerciale.

Si evidenzia in questa rappresentazione grafica, quanto già affermato in merito alla trascurabile influenza sull'efficienza finale di strippaggio ad elevate temperature, di un innalzamento leggero di pH.

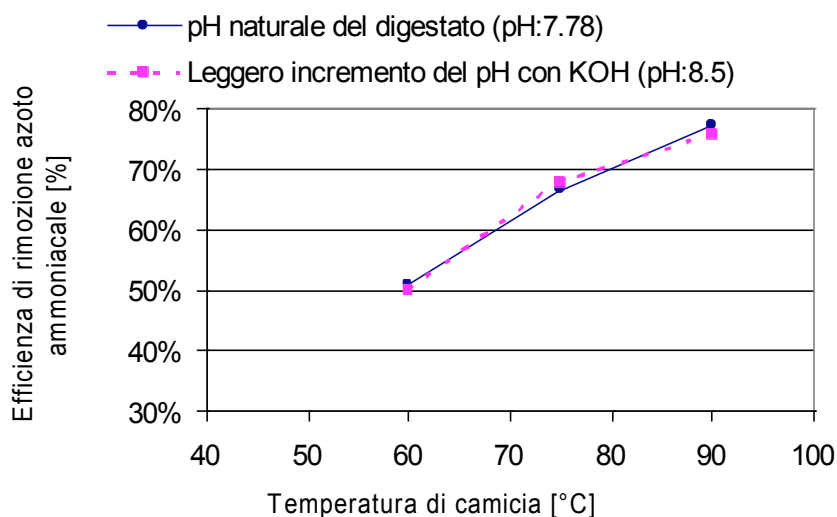


Figura 24 – Efficienza di rimozione dell'azoto ammoniacale in relazione del pH del refluo e delle temperature di processo di camicia

Per meglio evidenziare i positivi risultati dovuti, oltre che ad un corretto settaggio e ai dosaggi ben calibrati, all'inserimento in linea di un doppio scrubber per la pulizia del flusso d'aria di strippaggio, si riportano in *Tabella 12* le concentrazioni medie di azoto ammoniacale rilevate nel flusso d'aria campionato nei punti di ingresso e di uscita e la relativa efficienza di rimozione dell'azoto ammoniacale dal flusso d'aria prima del re-riscaldamento e re-immissione nel reattore di strippaggio (abbattimento medio dell'ammoniaca del 94% in entrambe le prove).

E' da rimarcare il fatto che si tratta di un abbattimento che, avvenendo in un sistema a circuito chiuso, influenza notevolmente la successiva capacità di asportare nuovo azoto ammoniacale una volta che questa aria viene re-circolata nel reattore di strippaggio.

Tabella 12 – Concentrazione di azoto ammoniacale nel flusso d'aria di strippaggio in ingresso (E1) e in uscita (E2) ed abbattimento conseguito dall'unità scrubber e dal sistema di condensazione per la pulizia del flusso d'aria di strippaggio dall'ammoniaca

	E1 N-NH ₄ ⁺ OUT	E2 N-NH ₄ ⁺ IN	Abbattimento
	[mg/m ³]	[mg/m ³]	%
T camicia di 60°C senza variazione del pH	319	22	93
T camicia di 75°C senza variazione del pH	383	26	93
T camicia di 90°C senza variazione del pH	535	18	97
media	412	22	94
T camicia di 60°C con pH innalzato a 8,5	435	8	98
T camicia di 75°C con pH innalzato a 8,5	347	26	93
T camicia di 90°C con pH innalzato a 8,5	552	47	92
media	445	27	94

1.3.3 Strippaggio: analisi delle prestazioni di una possibile soluzione impiantistica

Possibili benefici potrebbero risultare dalla riduzione dei terreni necessari per la distribuzione agronomica del digestato trattato e dal presumibile introito derivante dalla commercializzazione del fertilizzante ottenuto. L'analisi è stata condotta su di un ipotetico impianto avente, come sorgente termica per l'alimentazione della linea di essiccazione, il calore di cogenerazione di un impianto di Digestione Anaerobica. I risultati sono riportati nella *Tabella 13*.

Il caso esaminato riguarda il trattamento di una frazione chiarificata di digestato proveniente da un impianto di biogas della potenzialità di 300 kW alimentato con liquame bovino e silomais nella proporzione del 70% e del 30% rispettivamente, per una produzione di 45,1 t giorno di digestato. Al reattore di strippaggio sono alimentate 36,5 t/g di frazione liquida, chiarificata mediante processo di separazione della frazione solida con centrifuga. Il beneficio maggiore derivante dallo strippaggio è la diminuzione significativa della superficie di terreno agricolo da asservire per gli spandimenti. Infatti l'azoto esportabile fuori dal sistema aziendale in forma di solfato di ammonio rappresenta il 40% dell'azoto totale contenuto nel digestato tal quale.

I benefici possono derivare dalla vendita della sospensione di solfato di ammonio risultante dai lavaggi dell'aria carica di ammoniaca. Altri benefici possono derivare dai risparmi sulle convenzioni con agricoltori per lo spandimento. Non si raggiunge la rimozione dell'azoto del 60% richiesta per il bonus previsti dal DM 6 luglio 2012 articolo 26, ma una rimozione, rispetto al digestato tal quale, non superiore al 40%.

Il bonus, tuttavia, potrebbe essere ottenuto, se il 20% di N da rimuovere per arrivare al 60% venisse raggiunto delocalizzando 1752 t/anno di frazione solida.

Tabella 13 – Analisi delle prestazioni di un impianto di strippaggio ad alta temperatura

Potenzialità dell'impianto di biogas		300 [kW]
Caratteristiche di alimentazione dell'impianto D.A.	in peso	70% Liqueame bovino
	in peso	30% Silomais
Q avviata alla D.A.		50 [t/giorno]
Q di digestato t.q in uscita da D.A.		45,1 [t/giorno]
<i>Separazione con decanter</i>		
Efficienza separazione in peso dei solidi		75 [%]
Concentrazione dei solidi nel solido separato		25 [%]
Q digestato chiarificato		36,5 [t/giorno]
Q di frazione solida separata		8,6 [t/giorno]
<i>Flussi dell'Azoto</i>		
Q di N nel digestato	(5,26 g N/kg)	86,7 [t/anno]
Q di N nel chiarificato dopo centrifugazione	(4,13 g N/kg di cui 78% N-ammoniacale)	55 [t/anno]
Q di N nella frazione solida		31,7 [t/anno]
<i>Dati di processo</i>		
T° di strippaggio		85 [°C]
Efficienza di strippaggio su N ammoniacale del chiarificato		80 [%]
Calore disponibile da fumi cogeneratore e acqua calda		280 [kW/th]
N rimosso dal digestato t.q. uscito DA mediante strippaggio della frazione liquida		40 [%]
% mancante per raggiungere il 60%		20 [%]
Q di solido da delocalizzare per rimuovere N mancante		1752 [t/anno]
Costo elettrico (assunto)		0,12 [€/kW]
Utilizzo reagenti basico	Nulla	

In conclusione, le prove dimostrano alcuni vantaggi della tecnica sperimentata nelle prove condotte nell'ambito del progetto EQUIZOO utilizzando il Turbo Bio NH3 R VOMM:

- operare a circuito chiuso del flusso d'aria di strippaggio, previo lavaggio con acido, condensazione e successivo riscaldamento a 70 °C, permette di non avere emissioni maleodoranti ed inquinanti in ambiente;
- possibilità di entrare in strippaggio anche con chiarificati ad alto tenore di ST, grazie alla tecnologia di processo messa a punto ed alle caratteristiche costruttive dello strippatore;
- processo continuo, non facilmente applicabile ad altri tipi di strippatori;
- ottenimento di elevate rese senza il ricorso a reagenti basici per innalzare il pH.

2 TECNICHE PER L'UTILIZZO DEI FERTILIZZANTI DA DIGESTATI

2.1 Tecniche per l'utilizzo agronomico dei fertilizzanti derivanti dal trattamento di digestati ed effluenti zootecnici

Nel corso delle attività previste dal progetto EQUIZOO, si è ravvisata l'opportunità di valutare gli aspetti tecnici dell'applicazione ai terreni agricoli delle nuove matrici derivanti dal trattamento di effluenti zootecnici e digestati.

Per quanto riguarda le matrici solide derivanti dall'essiccazione di effluenti zootecnici palabili e di frazioni solide separate dai liquami, non ci sono particolari problemi di applicazione al campo. Nel caso il materiale sia granulato o pellettato, sono utilizzabili gli spandiconcime centrifughi ampiamente disponibili sul mercato mentre, con i dispositivi cosiddetti "a tubo oscillante", è possibile spargere queste matrici anche in forma pulverulenta.

Per quanto riguarda invece le matrici fluide, come le soluzioni/sospensioni di solfato di ammonio che si producono negli impianti di biogas dotati di dispositivi per lo strippaggio e/o per l'essiccazione della frazione solida separata del digestato, l'operatività nell'utilizzo agronomico è più problematica, anche se si prospettano interessanti tecniche di applicazione al campo.

Da prime prove eseguite in provincia di Cremona da operatori privati è emersa la validità agronomica di questo fertilizzante liquido, per altro classificabile come "*sospensione di solfato ammonico*", riconosciuto come *concime azotato fluido* dal D.lgs. 75/2010 (vedi paragrafo 3.1). D'altra parte, la destinazione commerciale per l'utilizzo agronomico di questo concime liquido è condizione necessaria affinché il processo di recupero dell'azoto dai digestati risulti sostenibile. La soluzione di solfato ammonico, ottenuta dai processi di recupero descritti, costituisce in definitiva un fertilizzante, in tutto simile a quelli di sintesi, ma che è corretto definire come 'fertilizzante rinnovabile'. L'opportunità di inserire nei piani di concimazione di un'azienda agricola anche queste soluzioni azotate, ha indotto il gruppo di lavoro EQUIZOO ad eseguire una prima indagine riguardante gli aspetti tecnico-impiantistici della subirrigazione per mezzo di tubi interrati (manichette) con distribuzione a goccia. La soluzione di solfato ammonico può infatti essere utilizzata in miscela alle acque irrigue in questi impianti.

La scelta di questa tecnica deriva dalla praticità che essa offre e per la possibilità di abbinarla all'irrigazione e per la riduzione dell'impegno di lavoro. L'interesse è addirittura accresciuto se si considera la possibilità di adottare, in abbinamento a questo sistema fertirriguo, tecniche di coltivazione conservative (esempio minima lavorazione o semina su sodo), ivi compresa la possibilità di praticare la doppia coltura in rapida successione.

Nell'ambito del progetto EQUIZOO si è voluto pertanto indagare sulle caratteristiche dei sistemi di subirrigazione e verificare in campo l'operatività e l'affidabilità delle reti interrate.

2.1.1 Caratteristiche dei sistemi di sub irrigazione

La subirrigazione è una tecnica che si basa sulla distribuzione delle acque irrigue per mezzo di tubi interrati (manichette) dotati di distributori a goccia, che vengono installati a una certa profondità nel terreno.

Si tratta di una tecnica che permette un risparmio idrico significativo rispetto ai metodi più convenzionali di irrigazione come quello a pioggia con lancio in pressione da irrigatori semoventi (i cosiddetti “gettoni”), in quanto si riducono soprattutto le perdite per evaporazione.

Il sistema viene generalmente realizzato con ali gocciolanti «flosce». La conformazione a labirinto dei gocciolatori determina una perdita di carico che consente di ottimizzare l’uniformità di distribuzione dell’acqua in tutto l’appezzamento asservito.

Il sistema viene alimentato da un sistema di pompaggio e, a valle di questo, sono presenti gruppi filtranti aventi la funzione di ridurre il rischio di intasamento dei labirinti gocciolanti presenti sulle manichette e riduttori di pressione per fare in modo che la pressione in ingresso alle manichette si mantenga costante e, di solito, vicina ad 1 bar.

Con questo sistema di irrigazione si riescono generalmente a distribuire quantitativi di 3-5 mm/ora, ma tali apporti chiaramente dipendono dalla portata dell’impianto e dalla distanza sulle linee dei gocciolatori; inoltre si può praticare la fertirrigazione se si miscelano alle acque concimi solubili, come il solfato ammonico preso in considerazione in questo capitolo.

La fertirrigazione, praticata per mezzo di sistema di subirrigazione, può permettere di ottenere dei vantaggi significativi sia di ordine agronomico che ambientale ma anche economico, grazie alla possibilità di modulare gli apporti di nutrienti alle reali esigenze e tempistiche di assorbimento da parte delle coltivazioni agrarie.

2.1.2 L’utilizzo del solfato ammonico in subirrigazione

La prima parte dell’indagine ha riguardato le tecniche di posa e di gestione delle linee interrato e le soluzioni adottate per la prevenzione delle incrostazioni nei distributori a goccia.

Per questo fine i partner di progetto hanno collaborato con la ditta Underdrip srl di Malagnino (CR), impegnata da qualche anno nello sviluppo della tecnica di fertirrigazione con impianti interrati. Presso un’azienda agricola di Gadesco Pieve Delmona (CR), è stato individuato un appezzamento di forma rettangolare e di oltre 5 ettari (larghezza 156 m e lunghezza 345 m circa), in cui sono state installate a cura della ditta le linee di subirrigazione. Le manichette, interrate a 48 cm di profondità e ad una distanza di 70 cm, sono provviste di gocciolatori distanziati di 30 cm.

L’interramento è avvenuto con sistema satellitare, al fine di poter sovrapporre con precisione alle manichette le file di mais nella fase successiva di semina. La macchina utilizzata per l’interramento delle manichette (*Figura 25*) è frutto di know how della ditta Underdrip e di adattamenti e modifiche avvenuti in tempi successivi con il fine di ottimizzare le operazioni di posa.



Figura 25 - Trattore munita di GPS e di attrezzo per l'interramento delle manichette (foto Underdrip)



Figura 26 – Rappresentazione tridimensionale del sistema di subirrigazione con coltura di mais (disegni Underdrip)

Dalla linea distributrice di testa si dipartono le ali gocciolanti o manichette (*Figura 26*), su ognuna delle quali si andranno a sovrapporre con precisione le file di piante di mais.

L'adacquamento a goccia avviene quindi ad una profondità inizialmente inferiore a quella del giovane apparato radicale della piantina (*Figura 27*). L'areola bagnata che si forma tende però ad espandersi anche verso l'alto grazie alla risalita per capillarità. Con lo sviluppo vegetativo della coltura, le radici possono raggiungere la profondità delle ali gocciolanti. Non sfugge il vantaggio che un apporto irriguo e fertilizzante di questo tipo assicura in termini di risparmio idrico e di efficacia di concimazione.

A questi sicuri vantaggi si potrebbero contrapporre però i rischi di possibili intasamenti per incrostazioni e depositi di sedimenti, a livello di distributori a goccia (labirinti gocciolatori). Consapevole di questo rischio la ditta interviene con due azioni preventive: filtraggio della miscela di acque irrigue e solfato di ammonio e acidificazione dovuta alla soluzione di solfato di ammonio (vedi oltre), che permette di contrastare la formazione di precipitati che possono occludere i labirinti gocciolatori.

La filtrazione avviene con il dispositivo di cui alla *Figura 28*, costituito da due sistemi filtranti. Il primo più grossolano è utilizzato per le sole acque di roggia mentre il secondo è utilizzato per entrambi i tipi di acqua: quella di roggia già prefiltrata e quella di pozzo. Il primo filtro a sabbia prevede tre unità filtranti: le pressioni in entrata e in uscita sono rispettivamente di 3 e 2 bar. Il secondo filtro prevede tre filtri a sabbia con granulometria più fine (marca Scarabelli) e un filtro assoluto come ultimo stadio (anche questo con scarico manuale). La pressione in entrata e in uscita sono rispettivamente di 2 e 1 bar. L'intera linea di fertirrigazione presenta una pressione costante di circa 1 bar.

Il controlavaggio dei filtri è eseguito manualmente dal personale aziendale che controlla la differenza di pressione tra ingresso e uscita. Normalmente ogni 2-3 ore viene eseguito un controlavaggio dei filtri. Una centralina automatica di gestione potrebbe essere vantaggiosamente collegata.

Per quanto riguarda l'acidificazione, si considera che già le soluzioni di solfato di ammonio siano a pH acido per un eccesso di H_2SO_4 risultante dai processi di fissazione dell'ammoniaca. All'occorrenza, tuttavia, a queste soluzioni viene addizionato acido nitrico oppure fosforico per abbassarne il pH.

Ad ogni irrigazione, nella fase terminale (ultimi 30 minuti), si somministra solo acqua senza aggiunta di fertilizzante.

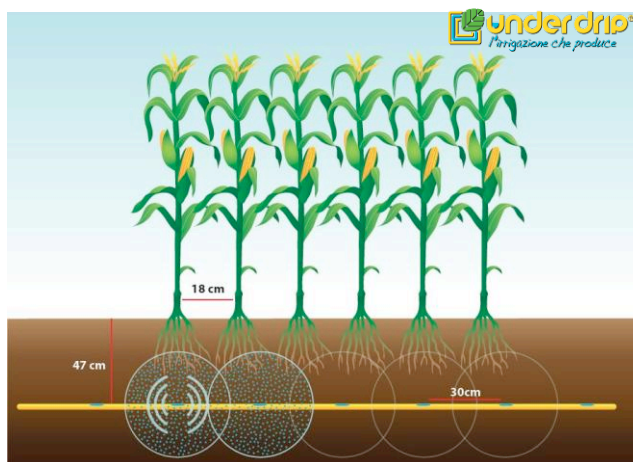


Figura 27 - *Visione prospettica delle areole di bagnamento lungo le file del mais (disegno Underdrip)*



Figura 28 - *Il sistema di filtrazione*

2.1.3 Monitoraggio di un impianto di subirrigazione

- *Materiali e metodi*

Il campo sperimentale oggetto di monitoraggio, di cui si riporta foto aerea (*Figura 29*), è diviso in due settori di 2,50 e 2,75 ettari. I due settori hanno l'impianto di irrigazione indipendente e possono essere gestiti in modo differenziato. Da tre anni vengono gestiti con semina su sodo.



Figura 29 - Immagine dell'area con il campo prova riquadrato in giallo

Nel corso del 2013 l'attività di monitoraggio e valutazione ha riguardato i seguenti aspetti:

- caratteristiche chimiche delle acque irrigue impiegate nella miscela immessa nella linea interrata (3 campionamenti nel corso della stagione irrigua);
- caratteristiche chimiche della soluzione di solfato d'ammonio impiegata come concime (3 campionamenti nel corso della stagione irrigua);
- caratteristiche chimiche della miscela di acque e solfato di ammonio impiegata nei diversi interventi di subirrigazione (3 campionamenti nel corso della stagione irrigua). Su questa miscela sono stati analizzati anche bicarbonati, solfuri, ferro, manganese e durezza, parametri chimici che possono avere una influenza significativa sul funzionamento dell'impianto di microirrigazione;
- funzionalità del sistema attraverso il controllo di: portata dell'impianto, livelli di pressione prima e dopo il filtro, frequenza dei controlavaggi, qualità dello scarico dei controlavaggi (2 campionamenti nel corso della stagione irrigua);
- valori del pH e della conducibilità del terreno, all'inizio degli interventi di fertirrigazione e dopo la raccolta del mais.

- **Risultati**

Di seguito si riportano le principali caratteristiche delle acque irrigue, della sospensione di solfato di ammonio e della loro miscela (*Tabella 14*).

Per quanto riguarda le concentrazioni degli elementi che possono costituire un rischio per l'occlusione delle manichette, i bicarbonati si sono mantenuti al di sotto della soglia di attenzione di 300 mg/l, la durezza è risultata media, le concentrazioni di manganese medio-basse mentre quelle di ferro, nelle due irrigazioni che hanno visto l'utilizzo di acque di pozzo, sono risultate piuttosto elevate, cioè superiori al valore soglia di rischio di 1500 µg/l. In casi come questo è certamente decisivo acidificare la miscela di acque e solfato che si inietta nelle ali gocciolanti, al fine di prevenire fenomeni occlusivi. La *Tabella 15* riporta le caratteristiche medie del flusso di controlavaggio, nel quale si è concentrata in modo particolare la sostanza organica in sospensione (solidi sospesi, COD). Si tratta di uno scarico non particolarmente problematico che deve essere raccolto e può essere riutilizzato ai fini fertirrigui ma non in subirrigazione.

Su entrambi i settori sono stati distribuiti complessivamente circa 5000 m³ di acqua in circa 40 ore, più 5-6 m³ di soluzione di solfato ammonico, in oltre 10 interventi di irrigazione. La diluizione della sospensione di solfato nell'acqua irrigua ha visto variazioni molto ampie a seconda degli interventi, tra 1:200 e 1:1000 circa. Complessivamente l'apporto idrico è risultato inferiore ai 200 mm/ha.

Gli apporti complessivi di azoto totale sono risultati pari a circa 200 kg/ha per settore 3 e circa 170 kg/ha per settore 4. L'apporto di fosforo invece è risultato trascurabile, pari a circa 1 kg/ha.

Per quanto concerne i campionamenti del terreno, questi sono stati effettuati a giugno e novembre 2013, circa a metà del campo, in corrispondenza della fila del mais (quindi sopra alla manichetta interrata) ad una profondità tra i 35 e i 40 cm. Nel campionamento di novembre, in corrispondenza di ogni campione sulla fila, ne è stato prelevato anche uno tra le file.

I valori di pH sono variati da 5,05 a 6,27 (tra acido e subacido), quelli della conducibilità tra 0,06 e 0,21 mS/cm, ben lontani dal valore di attenzione pari a 2 mS/cm che può inibire le colture più sensibili.

Tabella 14 – Principali caratteristiche delle acque irrigue, della sospensione di solfato di ammonio e della loro miscela (valori medi)

		Acque irrigue	Sospensione solfato ammonico	Miscela acque - solfato ammonico
pH	-	7,4	4,3	6,5
Conducibilità	mS/cm	0,5	>150	3,1
Solidi sospesi totali	g/l	0,03	1,16	0,05
COD	mg O ₂ /l	20	605	21
Azoto totale Kjeldahl	g/kg	0,04	73,3	0,35
Azoto ammoniacale	%NTK	-	85	-
Nitrati	mg/kg	23	7	25,9
Fosforo	mg/kg	13	2,5	-
Potassio	mg/kg	22	240	-
Bicarbonati	HCO ₃ mg/l	-	-	100
Durezza	°F	-	-	24
Solfuri	S ⁻ mg/l	-	-	<0,01
Ferro	µg/l	-	-	2045*
Manganese	µg/l	-	-	155*

* quando si è utilizzata acqua di pozzo, con acqua di roggia i valori si riducono

Tabella 15 – Principali caratteristiche del flusso di controlavaggio

pH	-	7,6
Conducibilità	mS/cm	0,5
Solidi Sospesi Totali	g/l	1,03
COD	mg O ₂ /l	161
Azoto totale Kjeldahl	mg/kg	29
Nitrati	mg/kg	21,5
Fosforo	mg/kg	3,7
Potassio	mg/kg	7,7

A causa delle avverse condizioni meteorologiche il mais è stato raccolto solo nel mese di novembre. In ottobre benché la granella fosse giunta a maturazione (*Figura 30*) la sua umidità era ancora elevata e pertanto si è cercato di favorire l'essiccazione naturale cimando le piante (*Figura 31*).

La produzione media dell'appezzamento è risultata di 11,5 t/ha di granella (ad umidità standard commerciale del 15,5%). Si è trattato di un buon risultato produttivo se si considera che la media produttiva aziendale è risultata significativamente più bassa, tra 8,5 e 9,0 t/ha di granella e che l'appezzamento era al terzo anno di gestione conservativa (semina su sodo).

Si può concludere che dai risultati del monitoraggio appare una sostanziale validità della tecnica, la cui piena messa a punto richiede però ulteriori controlli e interventi migliorativi, soprattutto per quanto attiene il mantenimento nel tempo dell'omogeneità distributiva.



Figura 30 - Mais a maturazione



Figura 31 - Cimatura delle piante per favorire l'essiccazione

3 PROCEDURE PER IL RICONOSCIMENTO A FINI COMMERCIALI DEI FERTILIZZANTI DA DIGESTATI

3.1 Le procedure per il riconoscimento formale

Il presente capitolo ha l'obiettivo di inquadrare gli adempimenti amministrativi necessari per la commercializzazione dei materiali a potenziale valore fertilizzante, che si generano dal trattamento degli effluenti zootecnici e dei digestati. La descrizione che segue fa riferimento alle tre matrici che hanno più interesse per reperibilità sul territorio e volumi prodotti:

- materiali essiccati più o meno ricchi in azoto e fosforo derivanti da frazioni solide separate di digestati;
- sospensioni/soluzioni derivanti dal lavaggio chimico di arie esauste cariche di azoto ammoniacale dei processi di essiccazione di materiali palabili di origine zootecnica e/o derivanti da digestati;
- sospensioni/soluzioni da processo di strippaggio applicato alle frazioni chiarificate derivanti da effluenti zootecnici e/o da digestati.

In linea generale, i materiali fluidi che si generano dalle arie esauste, seppure con una certa variabilità di composizione, si possono classificare come **“sospensioni di solfato di ammonio”**, materiali allo stato fluido che contengono azoto e zolfo e che, come tali, hanno valore fertilizzante ai fini dell'uso agronomico. I materiali essiccati, invece, pur rientrando nella categoria dei fertilizzanti, devono essere distinti, secondo il titolo dei vari nutrienti e del tenore di sostanza organica che li caratterizza, in ammendanti e concimi.

Obiettivo di questo paragrafo è delineare, per i materiali fertilizzanti sopra descritti, le procedure per la messa in commercio, differenziandole in base alle scelte operative dei produttori. Si individuano le seguenti procedure differenziate:

- vendita diretta di materiali che risultano dai trattamenti di cui sopra (essiccazione, strippaggio) e aventi di per sé caratteristiche già rispondenti ai requisiti della normativa vigente sui fertilizzanti;
- vendita diretta di fertilizzanti nuovi non ancora presenti sul mercato e derivanti dai trattamenti di cui sopra, previo riconoscimento e inserimento nell'elenco dei fertilizzanti di cui alla normativa nazionale;
- cessione di questi materiali, in forma grezza o semilavorata, a Soggetti Terzi interessati alla loro commercializzazione.

3.1.1 Vendita diretta di fertilizzanti già a norma D.lgs. 75/2010

In Italia il quadro normativo di riferimento in merito ai fertilizzanti è rappresentato dal D.Lgs. 29 aprile 2010, n. 75 (nel seguito “Decreto fertilizzanti”), che ha riordinato e rivisto tutta la normativa di settore, anche alla luce del Regolamento CE 2003/2003 relativo ai concimi.

E' utile in primo luogo riportare alla lettera le principali definizioni previste dal Decreto.

All'art. 2, comma 1 del Decreto fertilizzanti sono definiti:

a) **«concimi»**: prodotti la cui funzione principale è fornire elementi nutritivi alle piante; i concimi si suddividono in «concimi CE» e «concimi nazionali» i cui tipi e caratteristiche sono riportati rispettivamente nel regolamento (CE) n. 2003/2003 e nell'allegato 1;

f) **«concime minerale»**: un concime nel quale gli elementi nutritivi dichiarati sono presenti sotto forma di composti minerali ottenuti mediante estrazione o processi fisici e chimici industriali; per convenzione possono essere classificati come concimi minerali la calciocianammide e l'urea e i

suoi prodotti di condensazione e associazione, nonché i concimi contenenti microelementi chelati o complessati;

o) **«concime ottenuto da miscelazione»**: un concime ottenuto miscelando a secco più concimi, senza che si producano reazioni chimiche.

All'art. 2, comma 2 del Decreto fertilizzanti sono definiti:

b) **«dichiarazione per i prodotti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera b)»**: la precisazione della concentrazione dei parametri quantitativi garantita entro tolleranze specificate e dei parametri o caratteristiche qualitativi altrimenti garantiti;

e) **«titolo dichiarato per i prodotti di cui all'articolo 1, comma 1, lettera b)»** (concimi nazionali, ammendanti, correttivi e prodotti correlati immessi sul mercato di seguito definiti, descritti e classificati negli allegati 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 13)»: la percentuale di peso della caratteristica o delle caratteristiche del prodotto così come viene commercializzato, salvo casi espressamente indicati negli allegati; per i prodotti fluidi è ammessa in aggiunta alla dichiarazione del titolo in peso-peso, anche la dichiarazione del titolo in peso-volume a 20 °C;

f) **«tolleranza»**: la deviazione consentita del valore misurato del titolo dal suo valore dichiarato;

l) **«immissione sul mercato»**: la fornitura di fertilizzante a titolo oneroso o gratuita, o immagazzinamento finalizzato alla fornitura. L'importazione di un fertilizzante nel territorio doganale della Comunità europea è considerata immissione sul mercato;

m) **«fabbricante»**: la persona fisica o giuridica responsabile dell'immissione del fertilizzante sul mercato; in particolare, è considerato fabbricante il produttore, l'importatore, il confezionatore che lavora per conto proprio, o ogni persona che modifichi le caratteristiche di un fertilizzante; tuttavia, non è considerato fabbricante un distributore che non modifichi le caratteristiche del fertilizzante.

In merito alla commercializzazione come prodotto fertilizzante, la norma è chiara nel sostenere che possono essere messi in commercio quei prodotti per i quali sono rispettate tutte le prescrizioni in essa contenute (art. 4, comma 1 del Decreto fertilizzanti).

Di seguito si riportano tutti i passaggi formali che occorre svolgere per poter “mettere in commercio” un prodotto come “fertilizzante”, in piena conformità con quanto previsto dal Decreto fertilizzanti. Si fa riferimento, come esempio, al caso delle soluzioni/sospensioni di solfato di ammonio.

- *Classificazione del prodotto “fertilizzante”*

In primo luogo occorre cercare, tra le diverse tipologie di fertilizzanti elencate in Allegato 1 del Decreto fertilizzanti, quella che per origine e/o modalità di preparazione e per composizione meglio si conforma alle “soluzioni di solfato di ammonio derivate da trattamento di digestati e assimilati”.

La norma, nella categoria “Concimi minerali semplici” (Allegato 1) offre due possibilità:

- “solfato ammonico”, concime azotato solido (Allegato I, punto 2.1, tipo n. 2);- “sospensione di solfato ammonico”, concime azotato fluido (Allegato II, punto 2.2, tipo n. 3).

Il primo è un prodotto secco ad alto titolo azotato (N pari ad almeno il 20%) che non interessa in questa sede in quanto non si ottiene dai trattamenti in essa descritti; il secondo, invece, risponde alle caratteristiche del prodotto risultante dai trattamenti sopra descritti, per le modalità di preparazione e i componenti essenziali, come risulta evidente dalla *Tabella 1*, ripresa in toto dall'Allegato 1 del Decreto. Il titolo minimo in elementi nutritivi (l'azoto ammoniacale in questo caso) che il prodotto deve garantire è pari al 6%. Alla luce della definizione di “titolo dichiarato” il prodotto deve contenere almeno 6 kg di azoto ammoniacale ogni 100 kg di tal quale.

Tabella 16 – Definizione delle caratteristiche della sospensione di solfato ammonico nel D.lgs. 75/2010

2.2. Concimi azotati fluidi

N.	Denominazione del tipo.	Modo di preparazione e componenti essenziali.	Titolo minimo in elementi fertilizzanti (percentuale di peso). Valutazione degli elementi fertilizzanti. Altri requisiti richiesti	Altre indicazioni concernenti la denominazione del tipo.	Elementi il cui titolo deve essere dichiarato. Forma e solubilità degli elementi fertilizzanti. Altri criteri.	Note
1	2	3	4	5	6	7
3.	Sospensione di solfato ammonico	Prodotto liquido ottenuto per via chimica e contenente solfato ammonico ed eventualmente sali ammoniacali organici biodegradabili	6% N Azoto valutato come azoto ammoniacale	La dizione "a basso titolo" è obbligatoria per i titoli in azoto ammoniacale inferiori al 10%	Azoto ammoniacale Indicazioni facoltative supplementari: zolfo valutato come SO ₃	Può essere indicato, in aggiunta alla dichiarazione peso/peso, il titolo in peso/volume a 20 °C. Le sostanze organiche eventualmente presenti devono risultare biodegradabili. È obbligatorio indicare il processo da cui deriva il prodotto.

Quello indicato in *Tabella 16* risulta pertanto il contenuto minimo di azoto che il prodotto deve possedere per poter rientrare nella tipologia “sospensione di solfato ammonico”; il “titolo dichiarato”, invece, è il contenuto di azoto che il produttore dichiara essere presente nel prodotto, è riportato in etichetta.

- *Tolleranze rispetto al titolo dichiarato*

La “tolleranza”, come da definizione sopra riportata (art. 2, c.1, lettera f del Decreto fertilizzanti) è la differenza ammessa tra il titolo rilevato con l’analisi chimica e quello dichiarato.

Il Decreto fertilizzanti prevede per ciascun parametro e per ciascun tipo di fertilizzante scostamenti massimi tollerati, posti ben in evidenza all’Allegato 7.

Di particolare rilevanza è il rispetto del titolo minimo. A sottolinearne l’importanza si riporta in toto quanto rigorosamente richiesto al punto 1.3 dell’Allegato 7:

“1.3. – Nessuna tolleranza è ammessa per quanto concerne i titoli minimi e massimi specificati nel Regolamento (CE) 2003/2003 e negli Allegati 1, 2, 3, 4, 5 e 6, tenuto conto dell’incertezza di misura.”

Pertanto, nella commercializzazione diretta, è sempre opportuno formulare un prodotto con un titolo in azoto superiore a quello minimo richiesto, al di sopra almeno del valore statistico dell’incertezza del risultato analitico, in modo da risultare comunque in regola nell’occasione di eventuali controlli.

- *Le procedure per l’iscrizione nel Registro dei fabbricanti di fertilizzanti*

Il fabbricante che intende immettere sul mercato un fertilizzante deve prima fare richiesta di:

- iscrizione al Registro dei fabbricanti di fertilizzanti, ai sensi dell'art. 8, comma 1 del Decreto fertilizzanti. All'Allegato 14 dello stesso Decreto fertilizzanti è riportato il modulo per l'iscrizione;
- iscrizione al Registro dei fertilizzanti di ciascuno specifico prodotto fertilizzante che intende immettere sul mercato, sempre ai sensi dell'art. 8, comma 1 del Decreto fertilizzanti. All'Allegato 13 dello stesso Decreto fertilizzanti è riportato il modulo per l'iscrizione.

Il MIPAAF, tramite l'Ispettorato Centrale della tutela della qualità e repressioni frodi, accerta che i fertilizzanti immessi in commercio siano rispondenti ai requisiti previsti dal Decreto fertilizzanti. All'atto del controllo ufficiale, la verifica che i titoli di elementi fertilizzanti dichiarati siano veritieri è effettuata ricorrendo ai metodi ufficiali di campionamento e di analisi.

Il MIPAAF pubblica regolarmente l'elenco dei laboratori italiani competenti per la verifica della conformità dei fertilizzanti alla norma. E' quindi consigliabile eseguire una o più analisi di controllo del titolo di azoto posseduto dal prodotto "sospensione di solfato ammonico" presso uno di questi Laboratori accreditati.

In merito alla iscrizione del prodotto nel Registro dei fertilizzanti, occorre allegare alla domanda una relazione che illustri:

- elenco, caratteristiche e origine delle materie prime;
- descrizione delle fasi del processo di produttivo;
- parametri di processo con cui si tiene sotto controllo la produzione.

Infine, occorre allegare un "FAC-SIMILE" di etichetta del nuovo prodotto.

L'identificazione e l'etichettatura del fertilizzante devono avvenire non solo per il prodotto confezionato, ma anche per quello sfuso. In quest'ultimo caso tutte le informazioni contenute nell'etichetta devono essere allegate ai documenti di accompagnamento.

• *Le sanzioni previste dal Decreto fertilizzanti*

Secondo quanto stabilito dall'art. 12, chiunque produce o immette sul mercato fertilizzanti non compresi nel Reg. CE 2003/2003 e negli allegati di cui al D.lgs. 75/2010 stesso, incorre in una sanzione amministrativa variabile dai 6.000,00 ai 36.000,00 euro, fatto salvo che il fatto non costituisca reato. In questo caso si rischia un procedimento penale.

Ne deriva che, l'immissione in commercio di un "prodotto" che ha effetti fertilizzanti, ma non rientra tra le tipologie previste dalle due norme sopra citate, non può avvenire con il titolo di "fertilizzante" ai sensi del Decreto.

• *Adempimenti dovuti ai sensi del Regolamento REACH*

Il Regolamento REACH, pubblicato alla fine del 2006, concerne la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche. L'Agenzia europea che se ne occupa è l'ECHA con sede ad Helsinki.

Una sostanza chimica è definita come un elemento chimico e i suoi composti, ottenuta per mezzo di un procedimento di fabbricazione inteso come la sintesi per via di processo chimico controllato in laboratorio o in uno stabilimento di qualcosa che prima non c'era.

Nel caso specifico dei materiali qui considerati e cioè: a) materiali essiccati più o meno ricchi in azoto e fosforo derivanti da effluenti zootecnici palabili e/o da frazioni solide separate di digestati; b) sospensioni/soluzioni da arie esauste cariche di azoto ammoniacale derivanti dal processo di essiccazione di cui al punto precedente; c) sospensioni/soluzioni da processo di strippaggio applicato alle frazioni chiarificate di digestati, solo i materiali di tipo b) e c) sono da considerare sostanze chimiche a tutti gli effetti. Chimicamente possono essere: solfato ammonico, se nel lavaggio delle arie esauste si usa acido solforico, fosfato mono e bi-ammonico, se si usa acido fosforico.

Ne consegue che questi due tipi di sospensione sono soggetti agli obblighi previsti dal regolamento CE n. 1907/2006 concernente la registrazione, la valutazione, l'autorizzazione e la restrizione delle sostanze chimiche (il cosiddetto REACH).

La registrazione delle sostanze soggette a REACH è a carico del “fabbricante”, cioè della persona fisica o giuridica che produce la sostanza.

Per registrare una sostanza occorre:

- *analizzarne chimicamente i contenuti*. L'analisi deve essere piuttosto dettagliata: oltre ai titoli in azoto e zolfo, andranno analizzati tutti i metalli pesanti e le eventuali impurezze organiche derivanti dal processo di biodigestione che sta a monte del trattamento;
- *presentare un “dossier di registrazione”*. Anche nel caso di una sostanza non pericolosa e semplice, come il solfato ammonico, il dossier deve essere comunque redatto da un tecnico specialista secondo uno standard prestabilito e in lingua inglese;
- *pagare una tassa all'ECHA* (i costi variano in funzione della sostanza e della quantità prodotta).

Una volta avviata la pre-registrazione della sostanza, si deve attendere la conclusione dell'iter della pratica (dopo il 2018) anche se, nel frattempo si può comunque operare.

Per quanto riguarda la “sospensione di solfato d'ammonio” al 6% di azoto, si precisa che è prevista anche la completa esenzione dall'obbligo di registrazione, purché l'immissione sul mercato sia di quantità inferiori a 1 t/anno e la produzione sia inferiore alle 3,3 t/anno.

Trattandosi di una sostanza non pericolosa, non occorre l'autorizzazione per la sua produzione e l'immissione in commercio, fatta salva l'iscrizione al Registro dei fertilizzanti e a quello dei fabbricanti.

Pertanto, la sospensione di solfato ammonico non richiede alcuna precauzione particolare per la manipolazione e l'immagazzinamento. Si consiglia comunque l'impiego di recipienti adatti e ben chiusi, se possibile sistemati sotto tettoia.

3.1.2 Riconoscimento e inserimento nell'elenco dei fertilizzanti nazionali di un nuovo fertilizzante

Disponendo di un nuovo fertilizzante organico, o di un prodotto che costituisca una variazione di un altro già esistente e già inserito nell'elenco, affinché sia possibile la libera commercializzazione come “prodotto”, è necessario caratterizzarlo in modo adeguato e compiere tutte le attività necessarie per avviare ufficialmente l'iter formale per l'inserimento negli allegati di cui al Decreto fertilizzanti.

Solo questo passaggio, infatti, permette di collocare a pieno titolo le frazioni solide e liquide risultanti dal trattamento di un digestato nel “mercato” dei fertilizzanti commerciali. Tutto questo come conseguenza della scelta del produttore di uscire dalle procedure per l'utilizzo diretto sui terreni agricoli afferenti la propria azienda o su quelli di aziende convenzionate, soggiacendo alla normativa sull'utilizzo agronomico degli effluenti zootecnici e materiali assimilati.

Il nuovo “fertilizzante” deve essere ampiamente caratterizzato allo scopo di definirne la dotazione di nutrienti minima, media e massima. La definizione della “dotazione minima” di nutrienti è particolarmente importante ai fini del riconoscimento come un nuova tipologia di prodotto fertilizzante. A tal fine è necessario indicare nel modulo di domanda di inserimento negli elenchi degli Allegati al Decreto fertilizzanti in quale punto si ritiene che debba essere inserito, con quale numero d'ordine e con quale denominazione.

Parallelamente è necessario avviare e portare a termine tutte le attività necessarie per la predisposizione del “Fascicolo tecnico”, in conformità a quanto richiesto dall'Allegato 10 del Decreto fertilizzanti, da allegare alla domanda di inserimento del nuovo prodotto fertilizzante e da

inoltrare al Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali. Il “Fascicolo tecnico” (Allegato 10 del Decreto fertilizzanti) consiste delle seguenti parti:

- descrizione del ciclo produttivo e della natura delle materie prime;
- caratterizzazione chimico-fisica e microbiologica completa;
- scheda di sicurezza del nuovo prodotto;
- risultati di una prova agronomica semplificata della durata di un anno, atta a definire gli effetti e le modalità di somministrazione del nuovo prodotto su più colture.

La caratterizzazione completa del nuovo prodotto fertilizzante deve essere condotta in triplo e le analisi essere eseguite da un laboratorio esterno accreditato e presente nell’elenco pubblicato da MIPAAF dei laboratori di riferimento per i controlli qualitativi di cui al Decreto fertilizzanti. La caratterizzazione deve prevedere la determinazione dei parametri richiesti dal sopracitato Allegato 10:

- caratteristiche fisiche: pezzatura, dimensione granuli, massa volumica, solubilità in acqua;
- caratteristiche chimico-fisiche:
 - parametri agronomici: pH, sostanza secca, solidi volatili, carbonio organico totale e carbonio umificato, azoto totale, azoto ammoniacale, azoto nitrico, fosforo totale e fosforo solubile, potassio totale e potassio solubile in acqua;
 - micro e meso elementi: CaO totale e solubile in acqua, MgO totale e solubile in acqua, zolfo totale e solfati, rame totale, zinco, ferro, manganese, boro, ferro, cobalto;
 - metalli pesanti: cadmio, mercurio, nichel, piombo, cromo totale, cromo esavalente, arsenico;
- caratteristiche microbiologiche: mesofili aerobici, coliformi fecali, salmonelle, stafilococchi, uova di nematodi.

Con la presentazione della domanda e del “Fascicolo Tecnico” al MIPAAF la procedura si conclude. Si precisa che, nel caso di uno dei prodotti più comuni derivante dall’essiccazione di frazioni solide separate di digestati da biomasse vegetali, denominate “digestato vegetale essiccato”, la valutazione della pratica è effettuata anche dal Ministero dell’Ambiente.

Esistono già pratiche complete in corso di valutazione presso i due Ministeri, che dovranno concludersi con l’emanazione di un decreto del MIPAAF che ufficializza il nuovo prodotto fertilizzante come “Concime organico NP” “digestato vegetale essiccato”.

3.1.3 Le procedure per la cessione a terzi di fertilizzanti da effluenti e/o da digestati

Dal punto di vista formale, l’attività di cessione di fertilizzanti azotati dai singoli produttori a Soggetti Terzi (intermediari o strutture di commercializzazione) che fanno parte di una catena di vendita sul mercato può essere impostata nei due modi di seguito illustrati.

CASO A) Cessione come “fertilizzante azotato”, conforme al Decreto fertilizzanti.

In questo caso, lo scenario è il seguente:

- ogni singolo produttore della frazione azotata si iscrive come “produttore di fertilizzante” al Registro dei fabbricanti (vedi paragrafo 3.1.1). La procedura di cessione a terzi è pertanto semplificata, in quanto avviene come cessione di un “prodotto” ma, di contro, questo presuppone che ciascuna frazione azotata rispetti il titolo minimo di azoto e tutti gli altri requisiti di cui al Decreto fertilizzanti.

A ciò occorre aggiungere l’obbligo di registrazione della sostanza ai sensi del Regolamento REACH, se si produce più di 1/t anno nel caso del solfato ammonico puro.

Il Soggetto Terzo diventa un intermediario (distributore) che ritira un prodotto fertilizzante e lo rivende o lo cede sua volta ad una struttura di commercializzazione; come tale, non deve iscriversi

al Registro dei fabbricanti di fertilizzanti, operazione peraltro già eseguita, ma deve iscrivere il prodotto al Registro dei fertilizzanti.

CASO B) Cessione come “rifiuto non pericoloso” ai sensi della Parte Quarta del D.lgs. 152/06.

In questo caso lo scenario è il seguente:

- ogni singolo produttore classifica la matrice ceduta come “rifiuto non pericoloso” e lo gestisce come tale unitamente agli altri rifiuti prodotti dall’azienda agricola, senza ulteriori adempimenti.

Il sito in cui confluiscono i diversi flussi di “rifiuti”, gestito dal Soggetto Terzo, deve essere autorizzato per lo stoccaggio e il trattamento finalizzato al recupero di rifiuti dalla Provincia. Gli oneri formali sono numerosi e non trascurabili ma, di contro, i vari flussi ritirati non devono rispettare limiti particolari e la loro miscelazione ed ottimizzazione per produrre un fertilizzante a titolo noto e costante diventa il “processo di produzione” del nuovo fertilizzante.

Il Soggetto Terzo, una volta autorizzato a ritirare le diverse frazioni azotate, le sottopone a processo per ottenere il fertilizzante, mediante miscelazione o arricchimenti vari, a seconda della tipologia di prodotto che vuole commercializzare, sempre nel rispetto dei requisiti del Decreto fertilizzanti. L’obbligo di registrazione ai sensi del REACH resta, ma solo in capo al Soggetto Terzo.

- *Considerazioni conclusive*

Sulla base di quanto sopra considerato, si può affermare quanto segue:

- nel caso A) gli oneri formali ricadono soprattutto sul singolo imprenditore che “produce” il fertilizzante. Il Soggetto Terzo in questo caso diventa un intermediario che ritira e commercializza lo stesso fertilizzante che ha ritirato. La messa “a norma” del singolo impianto di fabbricazione del fertilizzante diventa tuttavia impegnativa e da verificare nelle singole realtà territoriali; tale approccio può avere come contropartita positiva il valore economico che il Soggetto Terzo riconosce a ciascun produttore per la vendita del fertilizzante;
- nel caso B) gli oneri formali ricadono soprattutto sul Soggetto Terzo. La complessità della pratica per ottenere l’autorizzazione al recupero di “rifiuti” è da valutare una volta sentita anche la Provincia, ma si ritiene sia comunque fattibile. In questo caso il Soggetto Terzo è “autorizzato” a compiere tutte le operazioni necessarie per “standardizzare” la produzione del nuovo fertilizzante.

La cessione del flusso azotato come “sottoprodotto”, ai sensi dell’art. 184 bis del D.lgs. 152/06 anziché come “rifiuto”, si ritiene poco praticabile dal punto di vista legale, perché non si riesce a dimostrare in modo sufficientemente “sostenibile” il rispetto dei 4 punti previsti nel succitato articolo.

4 STRUTTURE INTERAZIENDALI PER L'UTILIZZO AGRONOMICO DEGLI EFFLUENTI DI ALLEVAMENTO E ANALISI DEI COSTI

4.1 L'esperienza EQUIZOO di gestione interaziendale

Con l'obiettivo di promuovere, attraverso un'azione di convincimento nei fatti, l'impiego sempre più ampio e diffuso di effluenti tal quali e/o delle frazioni solide separate, sono state attivate e seguite a scala interaziendale, diverse modalità di trasporto e applicazione degli effluenti sui terreni agricoli.

A tal fine sono state individuate tre aziende zootecniche fornitrici di effluenti (liquame suino, pollina, digestato di liquame bovino in miscela con biomasse) e altrettante aziende cerealicole che da anni facevano utilizzo quasi esclusivo di concimi chimici, disponibili a ricevere gli effluenti per sostituire una quota di concimi chimici, sperimentando vie diverse di fertilizzazione (*Tabella 17*).

Tabella 17 – *Elenco delle aziende coinvolte nella gestione interaziendale EQUIZOO*

Aziende fornitrici	Tipo di effluente ceduto	Stoccaggio effluenti
Azienda Avanzini (Pessina Cremonese)	Liquame suino	Vasche in cemento
Azienda Franzoni (Pessina Cremonese)	Pollina	Platea in cemento
Azienda Pasquali (Torre dè Picenardi)	Digestato da liquami bovini + biomasse	Vasche in cemento
Aziende riceventi gli effluenti	Tipo di effluente ricevuto	Colture fertilizzate con effluenti
Azienda Pari (Pessina Cremonese)	Liquame suino, digestato	Mais da granella
Azienda Lupatini (Isola Dovarese)	Pollina	Frumento e mais trinciato
Azienda Santini (Voldo)	Pollina	Mais da granella

Nel contempo è stato costituito un Servizio in capo alla Libera Associazione Agricoltori Cremonesi avente come operatore un agrotecnico impegnato a tempo parziale nella gestione di questa “banca effluenti” (*Figura 32*). L'agrotecnico, oltre a seguire le operazioni (combinazione di domanda-offerta degli effluenti, logistica dei trasporti), ha espletato anche la parte di tipo amministrativo concernente gli scambi di effluenti tra le aziende nella compilazione dei PUA (Piani di Utilizzazione Agronomica), al fine di dimostrare che è possibile sollevare le aziende da ogni onere burocratico in quanto il Servizio, cui l'agrotecnico fa capo, può essere interlocutore unico per le Autorità Competenti.

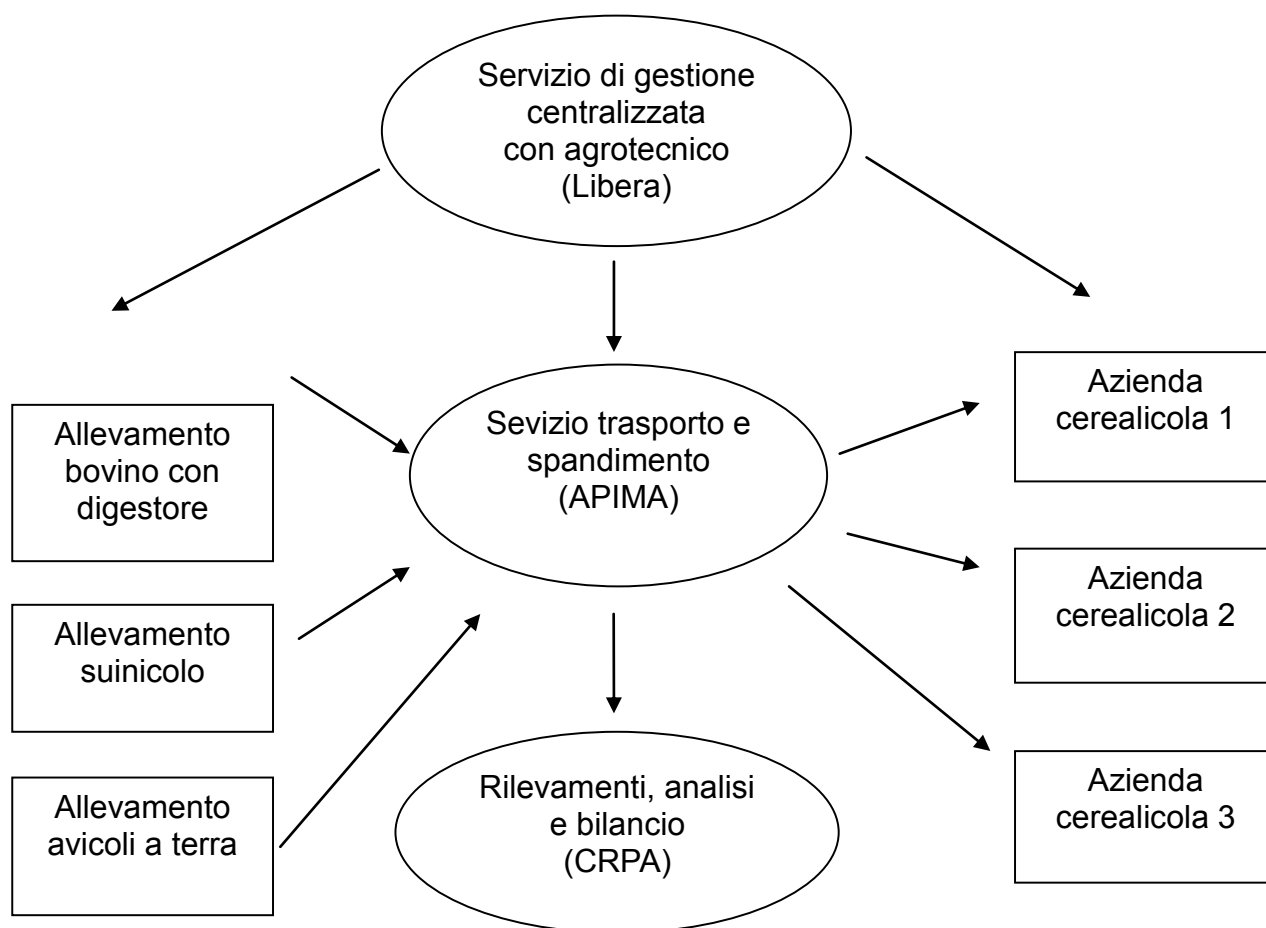


Figura 32 - Schematizzazione del Servizio per la gestione interaziendale degli effluenti

Le concimazioni a tutto campo con gli effluenti formalmente consegnati alla “banca” e da questa conferiti (via conto terzista) alle aziende agricole sono state attivate a partire dal 2011 e sono terminate nel 2013.

Le attività di monitoraggio hanno riguardato alcuni degli appezzamenti fertilizzati con gli effluenti, nei quali si è confrontato un ‘testimone’ fertilizzato solo con concimi chimici, seguendo la consueta pratica aziendale. In questi appezzamenti si è proceduto al campionamento dei terreni pre-spandimento, per la loro caratterizzazione completa e per il controllo del tenore di azoto nitrico; lo stesso tipo di campionamento è stato ripetuto alla raccolta delle colture, per la determinazione dell’azoto nitrico residuo. Sono stati anche campionati gli effluenti distribuiti (liquame suino, pollina, digestato) per la loro caratterizzazione completa. Alla raccolta delle colture, sono state quantificate le produzioni e campionati i prodotti vegetali per la determinazione della sostanza secca e delle principali caratteristiche qualitative.

Gli effetti sulle rese produttive e sui rilievi determinati dalla dinamica dell’azoto nel suolo non sono riportati in questa pubblicazione perché insufficienti ad un’elaborazione statisticamente significativa. Ciò a seguito degli eventi meteorologici dell’ultimo anno di prove che hanno negativamente interferito sul regolare sviluppo colturale. Di rilievo invece la valenza dimostrativa delle prove, che hanno mostrato agli agricoltori partecipanti all’esperienza interaziendale come sia

possibile, senza cali di rese produttive, utilizzare liquami e digestati in varie fasi di crescita delle colture e, principalmente, nel periodo di sviluppo vegetativo quando le colture si avvantaggiano massimamente dell'azoto zootecnico applicato.

Nell'ambito di questa attività si è inoltre proceduto, con la collaborazione di APIMA, alla valutazione dei tempi e dei costi delle operazioni di trasporto e spandimento. Ciò è avvenuto con appositi monitoraggi in campo, i cui risultati sono serviti per le elaborazioni che seguono (paragrafi 4.2 e 4.3).

4.2 Ipotesi di modelli di organizzazione interaziendale per l'utilizzo agronomico degli effluenti

L'esperienza condotta in campo con il progetto EQUIZOO (paragrafo 4.1) ha permesso di elaborare alcuni modelli, due per gli allevamenti bovini da latte di un'area ad alta densità di capi della provincia (cremasco) ed uno per un gruppo di allevamenti suinicoli di un'area a minor densità di allevamenti, ma con forti problemi di eccedenze aziendali di azoto.

I modelli sono stati elaborati separatamente per le diverse situazioni, quelle bovine e quella suina, tuttavia nelle situazioni reali nulla impedisce di applicarli a realtà miste, comprensive di diverse tipologie di allevamenti.

Si evidenzia che le ipotesi descritte nei successivi punti 4.2.1 e 4.2.2 richiederanno un approfondimento tecnico amministrativo per le verifiche di compatibilità con la normativa vigente che caratterizzano alcuni passaggi della procedura ipotizzata. Attualmente infatti la normativa prevede che il Piano di Utilizzazione Agronomica (PUA), cioè il piano di distribuzione degli effluenti di allevamento (tal quale o trattati), sia presentato dall'impresa che dispone dei terreni (in proprietà o in affitto) sui quali si effettua l'utilizzazione agronomica. Questo passaggio è parte della più ampia procedura di "Comunicazione Nitrati" a cui sono tenute anche tutte le imprese che producono o trattano quantitativi di effluenti di allevamento corrispondenti a chilogrammi di azoto annuo superiori ad una determinata quantità.

4.2.1 Ipotesi di modelli di gestione interaziendale per allevamenti bovini da latte

Sono stati oggetto di elaborazione e analisi due modelli di gestione interaziendale:

- a) raccolta di liquami tal quali, freschi o digeriti negli allevamenti consorziati, trasporto e spandimento su terreni con colture prevalentemente da rinnovo;
- b) raccolta di liquami tal quali, trasporto ad impianto di biogas centralizzato, separazione del solido dal digestato, essiccazione della frazione solida per produrre fertilizzanti commerciali, ritorno della frazione liquida digerita agli allevamenti di provenienza.

a) raccolta di liquami tal quali, freschi o digeriti negli allevamenti, trasporto e spandimento su terreni a colture da rinnovo

• Natura del servizio

Il modello che qui viene proposto è un'ipotesi organizzativa che ricalca e perfeziona l'esperienza consortile EQUIZOO, descritta al paragrafo 4.1, con il fine di migliorare e semplificare la gestione degli effluenti superando il concetto di gestione dell'azoto su base aziendale per passare ad uno più esteso su base territoriale e/o consortile. La gestione interaziendale degli effluenti zootecnici, pur prevista e discussa nell'Allegato A della Delibera Regionale 2208/2011 (PdA regionale), potrebbe richiedere un approfondimento specifica anche di livello normativo.

Il modello prevede una struttura creata ad hoc, in capo ad un soggetto "terzo" che assume un ruolo

riconosciuto nel management di una parte della gestione dell'azoto di origine zootecnica di un pool di allevamenti bovini aventi terreni sia in Zone Vulnerabili ai Nitrati, sia in zone Ordinarie non vulnerabili. L'allevatore si fa carico ad esempio dell'asportazione delle deiezioni animali dai ricoveri e del loro stoccaggio in strutture a norma con le norme regionali ed è coadiuvato nei compiti di gestione degli effluenti a valle, vale a dire trasporto ed applicazione ai terreni agricoli.

L'allevatore sarà tenuto egualmente alla Comunicazione nitrati, ma solo per la parte relativa alla produzione degli effluenti in stalla ed al loro stoccaggio. Il soggetto terzo sarà tenuto alla Comunicazione nitrati per la parte di utilizzazione agronomica a valle. Dovrà pertanto predisporre un PUA, compilato secondo le indicazioni del PdA regionale, che dovrà interessare i terreni delle aziende agricole riceventi (tra questi potranno esserci anche quelli delle aziende che hanno ceduto gli effluenti).

Il PUA potrà essere unico e interesserà le singole aziende riceventi, ognuna delle quali avrà la completa libertà di stabilire l'ordinamento colturale sui propri terreni e le relative rotazioni. Anche le pratiche colturali (semina, diserbi, sarchiature, raccolto) saranno a carico delle singole aziende riceventi. A cura del Servizio sarà la sola concimazione, eseguita secondo i tempi, le modalità e le dosi di unità fertilizzanti, sia di origine animale sia di origine chimica, stabilite dal PUA. Solo nel caso le concimazioni si svolgano in concomitanza con le operazioni di preparazione del terreno per la semina (spargimento seguito da interrimento con aratura entro le 12 ore, liquamazione con erpicatura o sarchiatura utilizzando lo stesso mezzo), o con l'irrigazione (fertirrigazione con mix di acque irrigue e liquami), tutto l'insieme di operazioni potrà essere a carico del Servizio.

- *Gestore del Servizio*

La struttura dovrà essere dedicata, nel senso che dovrà erogare in via esclusiva (o in via prioritaria) il servizio di spandimento a beneficio degli allevatori aderenti. Si è visto, infatti, che l'affidamento del servizio di spandimento a contoterzisti che praticano attività differenziate (aratura, trebbiatura, diserbo, ecc.), difficilmente permette di rispettare i tempi di spandimento previsti dai PUA, essendo spesso prioritarie le attività citate.

Sulla natura di tale struttura di servizio dedicata dovranno essere individuate le forme giuridiche più opportune alla stregua di esperienze già consolidate nelle Fiandre e in Olanda.

- *Attrezzature necessarie*

La struttura di Servizio sopra delineata dovrà dotarsi di:

- autobotti di portata molto elevata (bilici fino a 35 t) per il trasporto a distanze fino a 50 km;
- rimorchi stradali a tenuta e telonati per il trasporto della frazioni solide e dei letami;
- cassoni e contenitori smontabili da collocare in testa agli appezzamenti per lo stoccaggio dei quantitativi di liquami necessari ad alimentare le macchine distributrici;
- macchine distributrici di elevata capacità, operativamente veloci, dotate di pneumatici a bassa pressione quando richiesti ed assetto variabile nell'avanzamento tra le file delle colture nel caso di spandimento in copertura;
- dispositivi e attrezzature per l'iniezione diretta, la distribuzione con scarificazione o erpicatura del terreno in concomitanza con lo spandimento, barre per lo spandimento a raso;
- ali piovane da installare su carrelli trainati dagli irrigatori a pioggia nel caso di fertirrigazione;
- sistemi di filtrazione per impianti di distribuzione a goccia.

- *Costi*

Nei primi anni di operatività del servizio i costi saranno a carico degli allevatori, anche per dare forza all'azione dimostrativa e promozionale nei riguardi degli agricoltori riceventi.

Dopo qualche anno potrà essere possibile introdurre forme partecipative di questi ultimi, in relazione anche alla sostituzione totale o parziale dei concimi chimici con gli effluenti zootecnici.

b) raccolta da allevamenti bovini di liquame tal quale, trasporto ad impianto di biogas centralizzato, separazione del solido dal digestato, essiccazione della frazione solida per produrre fertilizzanti commerciali, ritorno della frazione liquida digerita agli allevamenti di provenienza

- *Natura del Servizio*

Convieni, per ragioni di chiarezza, illustrare separatamente le due attività previste da questo modello.

i) Attività di raccolta, trasporto e utilizzazione agronomica dei liquami tal quali e delle frazioni chiarificate.

Il liquame tal quale degli allevamenti bovini aderenti è raccolto e trasportato all'impianto di biogas, secondo turnazioni stabilite da apposito calendario. Il mezzo di trasporto, una volta consegnato il carico, preleva dagli stoccaggi del centro di trattamento un pari volume di digestato chiarificato per trasportarlo, nel viaggio di ritorno, ad uno degli allevamenti in programma per il prelievo del tal quale. In ogni allevamento dovranno esserci quindi due vasche: una di piccola dimensione (capacità pari alla produzione di liquame di almeno una settimana) per la raccolta del tal quale man mano che fuoriesce dalle stalle ed una più grande per lo stoccaggio del digestato chiarificato.

E' importante far presente che il liquame restituito a ciascuna azienda avrà un volume e un tenore di azoto inferiore a quello del tal quale consegnato e, precisamente, sarà restituito un volume di chiarificato contenente un quantitativo di N corrispondente alla ricettività delle colture praticate sui terreni aziendali. In altre parole, se nel liquame consegnato al centro di digestione anaerobica ci sono delle eccedenze di azoto, queste saranno trattenute presso il centro di digestione anaerobica e inserite nel PUA afferente la dotazione di terreni del centro stesso.

Il servizio avrà cura di elaborare i PUA ed effettuare gli spandimenti sui terreni di tutte le aziende agricole aderenti e su quelli del centro di digestione anaerobica per la quota di chiarificato trattenuta negli stoccaggi del centro stesso. Sulle modalità di spandimento valgono i criteri esposti per il modello a).

ii) Attività di digestione anaerobica, separazione solido liquido dal digestato, essiccazione della frazione solida.

Questa attività si svolge secondo le modalità descritte ai capitoli 1.1 e 1.2 esclusivamente presso il centro di digestione anaerobica. Oltre al processo di digestione delle biomasse consegnate (liquami bovini ed eventualmente colture energetiche in codigestione), è effettuata:

- la separazione delle frazioni solide;
- l'essiccazione delle frazioni solide con dispositivi per l'utilizzo del calore di cogenerazione, compreso quello dei fumi del motore;
- la granulazione o pellettatura eventuale e il confezionamento del fertilizzante per la immissione sul mercato;
- lo stoccaggio delle quote di frazione chiarificata che non saranno consegnate alle aziende in quanto contenenti le loro eccedenze di azoto.

- *Gestore del servizio*

Anche in questo caso una struttura creata ad hoc assume a proprio carico la gestione dei PUA e dello spandimento degli effluenti del pool di allevamenti bovini aderenti, con terreni sia in Zone Vulnerabili ai Nitrati, sia in Zone Ordinarie non vulnerabili. Vi si affianca una struttura che gestisce un impianto di biogas e si fa carico della separazione del digestato, dell'essiccazione della frazione solida e della produzione di fertilizzante commerciale.

Le due strutture potranno anche essere in capo allo stesso soggetto.

- *Attrezzature necessarie*

Potranno essere le stesse previste per il modello a).

- *Costi*

I costi della gestione interaziendale dovranno essere opportunamente ripartiti. In linea di massima i costi di trasporto e di trattamento potrebbero essere a carico del centro di digestione anaerobica. A carico delle aziende zootecniche potrebbero essere i costi di spandimento sui loro terreni.

4.2.2 Ipotesi di modelli di gestione interaziendale per allevamenti suinicoli

- *Il contesto ambientale di riferimento*

L'elaborazione modellistica è quella relativa alla gestione degli effluenti di un numero limitato di allevamenti suinicoli di un'area circoscritta con problemi aziendali di eccedenza di azoto. Il modello riguarda le fasi di trasporto dei liquami dai ricoveri ad un impianto centralizzato per la produzione di biogas e la successiva utilizzazione agronomica del digestato.

L'elaborazione del modello è effettuata in un contesto territoriale limitato, a scavalco di alcuni comuni con terreni parzialmente in Zona Vulnerabile, con l'ambizione di costruire uno strumento standardizzato che, una volta validato, possa essere applicato nei territori comunali della provincia di Cremona e delle province limitrofe con presenza suinicola di una certa importanza.

Lo studio si basa su di una simulazione che prende in considerazione 4 allevamenti di dimensione superiore ai 2000 capi, specializzati nell'ingrasso di suino pesante e rappresentativi della realtà territoriale considerata, assumendo una distanza dall'ipotetico centro interaziendale di trattamento radialmente non superiore a 5 km. La soglia di 2000 capi è stata scelta in considerazione del fatto che allevamenti di questa consistenza generano impatti rilevanti sui recettori acqua, aria e suolo. Tre di questi allevamenti sono di media dimensione, mentre il quarto può definirsi di grande dimensione raggiungendo il numero di 5000 capi mediamente presenti (*Tabella 18*).

- *Ipotesi di valorizzazione energetica ed agronomica biogas*

Si è ipotizzato che, utilizzando i dati delle comunicazioni presentate dagli allevatori con le modalità stabilite dal Programma d'Azione regionale, sia possibile risalire alle produzioni specifiche di liquame ($\text{m}^3/\text{t pv}$), partendo dalla produzione annua di liquame, dal peso vivo presente e dalla tipologia di pavimentazione dei ricoveri.

Si è supposto, nella nostra simulazione, che le produzioni specifiche permettano una prima distinzione tra "allevamenti a ridotto consumo idrico" (produzione di liquame $< 44 \text{ m}^3/\text{t pv}$) ed "allevamenti ad elevato consumo idrico". Con questi due criteri si è proceduto selezionando i 4 allevamenti (*Tabella 18*) i cui liquami possono essere destinati a un unico ipotetico impianto di biogas, a gestione interaziendale o comunque in capo ad un imprenditore agricolo. La localizzazione di questo ipotetico impianto è grosso modo baricentrica rispetto ai 4 allevamenti.

In *Tabella 18* sono riportati soltanto i principali dati di base di progetto che permettono di arrivare a stabilire la potenza energetica dell'impianto. Come si può vedere il tenore di sostanza secca (o Solidi Totali = ST) del liquame risulta da un'assunzione grossolana che attribuisce due soli valori, uno pari a circa il 3,0% ai liquami più diluiti ($>44 \text{ m}^3/\text{t pv}$ di liquame) e uno pari a circa il 4,5% ai liquami più concentrati. La media ponderata di tutti i singoli valori aziendali è stata assunta pari al 3,7% di concentrazione di Solidi Totali ($37,29 \text{ kg ST}/\text{m}^3$). Si tratta di un valore altamente ricorrente in un gran numero di analisi eseguite su liquami di provenienza suinicola (vedi ricerche CRPA citate nei riferimenti bibliografici).

Una seconda assunzione che è necessario fare riguarda il contenuto di solidi biodegradabili (SV = Solidi Volatili), valore molto importante perché permette di stimare la produzione potenziale di biogas e del metano (CH₄) in esso contenuto. Non essendo nota la modalità e la frequenza di rimozione dei liquami dai ricoveri, non è facile valutare il grado di freschezza del liquame, caratteristica questa di grande importanza per stimare la concentrazione di SV. Si è ritenuto ragionevole, in questa simulazione, adottare un valore di SV pari al 75% dei ST, valore intermedio tra quelli comunemente riscontrati negli allevamenti. Anche per questo parametro si è assunto un valore medio ponderato tra quelli dei singoli allevamenti pari a 27,97 kg SV/m³.

In *Tabella 18* è riportata la produzione di metano associata ai liquami dei singoli allevamenti, assumendo una produzione specifica, anche in questo caso, intermedia tra quelle più comunemente riscontrate, vale a dire 310 Nm³ CH₄/t SV.

Tabella 18 - Dati di base per il dimensionamento dell'impianto interaziendale di biogas

n. identificativo azienda	Capi (n)	Peso vivo (t)	Prod. specifica liquame (m ³ /t pv)	Prod. totale liquame (m ³ /a)	ST liquame (kg/m ³)	ST ponderati medi (kg/m ³)	SV ponderati medi (kg/m ³) ₍₁₎	Prod. metano (Nm ³ /a) ₍₂₎
1	3650	329	53	17437	30,7			124568
2	2830	215	39	8385	42,2			82201
3	2500	184	39	7176	44,9			50306
4	4950	407	41	16687	38,3			150262
TOTALI	13930	1135		49685		37,29	28,07	432344

⁽¹⁾ si assume una percentuale di solidi volatili (SV) pari al 75% dei solidi totali (ST)

⁽²⁾ si assume una produzione di 295 Nm³ di CH₄/t SV

Si è poi calcolata la potenza installata e la produzione energetica dell'impianto, stante la produzione di metano ottenibile riportata nell'ultima colonna di *Tabella 18*. I dati ottenuti, riportati in *Tabella 19*, sono riferiti al giorno come unità temporale e sono relativi, oltre che alla potenza energetica, alla produzione di azoto nel digestato prima e dopo lo stoccaggio, al fine di calcolare la superficie agricola necessaria per l'utilizzazione agronomica. La tabella riporta il confronto fra tre situazioni: la prima riguarda la digestione anaerobica dei soli liquami suinicoli, mentre le altre due riguardano l'aggiunta al liquame di silomais in percentuali pari al 10% e al 20% della biomassa totale caricata. Non si è ritenuto conveniente portare queste percentuali al valore massimo del 30% consentito dalla normativa (DM 6 luglio 2012), per non superare il limite di 600 kWe ed entrare di conseguenza in una dimensione di impianto che comporta penalizzazioni sotto il profilo della tariffa di vendita dell'energia elettrica al Gestore di rete. In sede progettuale o di studio di fattibilità vale sicuramente la pena valutare il contributo di sottoprodotti dell'agroindustria, come polpe di bietola o residui dell'industria enologica, in sostituzione del silomais.

Dal confronto tra le tre situazioni emerge come l'avvio alla digestione anaerobica nell'impianto centralizzato dei soli liquami suinicoli dei 4 allevamenti selezionati, porti ad una dimensione di impianto di poco superiore ai 100 kWe. A questa dimensione non corrisponde, come si può vedere dall'ultima colonna di *Tabella 19*, una produzione di energia termica sufficiente al mantenimento in temperatura dell'impianto. A prescindere da questa penalizzazione non marginale, occorre poi un'attenta valutazione dei costi di investimento, per verificare che il tempo di rientro dei capitali investiti sia accettabile e che tutto quadri sotto il profilo economico.

Tabella 19 – Prestazioni dell'impianto interaziendale di biogas e produzione di azoto al campo

Alimentazione impianto	% in peso su liquame caricato	% in peso sul totale biomassa caricata	Silomais caricato (m ³ /g)	Liquame caricato (m ³ /g)	N nel digestato fresco (kg/ a)	Perdite di N in stoccaggio (kg/a)	N al campo (kg/a)
Solo liquami			-	136,6	148.700	29.750	118.990
Liquame + insilati	10%	9%	13,7	136,6	171.800	34.400	137.500
Liquame + insilati	20%	17%	27,3	136,6	194.000	39.000	155.000

Alimentazione impianto	Metano prodotto (Nm ³ /a)	kWel installati	kWth medi disponibili
Solo liquami	432.344	163	-81
Liquame + insilati	952.898	394	111 ⁽¹⁾
Liquame + insilati	1.469.653	636	290 ⁽²⁾

⁽¹⁾ nel periodo invernale ci può essere deficit di calore per la termostatazione del digestore

⁽²⁾ anche nel periodo invernale ci può essere un leggero surplus

Nel secondo caso, con l'aggiunta di una quantità di biomassa (silomais) pari al 10% in peso del liquame caricato (9% del totale caricato), si raggiunge una potenza installata più interessante, superiore ai 300 kWe e le cose migliorano anche dal punto di vista dell'auto sostentamento termico dell'impianto. Solo nel periodo invernale ci può essere un temporaneo deficit di calore, cui si potrà sopperire con caldaia a fonte non rinnovabile (metano o gasolio).

Certamente più interessante il terzo caso, con la realizzazione di un impianto che aggiunge biomassa in quantità pari al 20% del peso del liquame dei 4 allevamenti selezionati. In questa situazione si arriva ad una potenza installata intorno ai 600 kWe, senza penalizzazioni sotto il profilo dell'auto sostentamento termico. Nell'elaborazione del modello non poteva essere trascurato il problema del digestato la cui collocazione non è sempre di facile soluzione. Nel caso dell'utilizzazione agronomica si evidenziano difficoltà per l'aumento del terreno necessario per lo spandimento. In *Tabella 20* è stata riportata la SAU necessaria nei tre casi esaminati.

Tabella 20 – SAU da reperire per lo spandimento del digestato con o senza insilati in alimentazione

Tipo di alimentazione impianto	N da applicare (kg)	N da applicare (kg/ha/anno) ⁽¹⁾	SAU da reperire (ha)	SAU (% in più)
Solo liquami	118.990	204	583	0
Liquame + insilati	137.500	204	674	15,6
Liquame + insilati	155.000	204	760	30,3

⁽¹⁾ come da assetto culturale di cui alla tabella che segue

Nello studio si ipotizza, come soluzione al 30% di aumento della SAU necessaria nel terzo caso, il reperimento di ulteriori terreni in zona non vulnerabile. La superficie necessaria, tuttavia, potrebbe

anche diminuire, qualora si applicassero al digestato tecniche per la rimozione dell'azoto tali da ottenere frazioni commercializzabili come fertilizzanti. Ciò consentirebbe la delocalizzazione dell'azoto, fino al 30%, ricorrendo ai dispositivi di essiccazione di frazioni solide separate, fino al 60%, utilizzando la tecnologia dello strippaggio dell'azoto per produrre una soluzione di solfato di ammonio commercializzabile come concime liquido conforme ai requisiti del D.lgs. 75/2010.

- *Ipotesi di un servizio interaziendale per lo spandimento degli effluenti*

La *Tabella 20* mostra come, nel caso dell'impianto di circa 600 kWe, ci si attesti sui 760 ha di SAU richiesti per lo spandimento di tutto il digestato.

Nonostante il quadro non preoccupante sotto il profilo della disponibilità di terreno, non si possono sottacere le difficoltà pratiche legate allo spandimento dei liquami: tempi di spandimento, dosi d'applicazione, modalità di accesso al campo, ecc. Per superare tali difficoltà si è ipotizzato l'affidamento delle operazioni di spandimento ad un servizio interaziendale che libera totalmente gli allevatori e il gestore dell'impianto da tali incombenze, razionalizzando tutte le operazioni.

Prima di delineare il profilo di questa struttura di servizio è necessario vedere gli aspetti operativi che le dovrebbero essere affidati: colture da inserire nel PUA, dosi da applicare, calendario degli spandimenti, tecniche di applicazione.

- *Colture da inserire nel PUA interaziendale e dosi da applicare*

Si ipotizza di limitare l'ordinamento colturale da inserire nel PUA a due colture seminatrici, largamente praticate nell'area, da seminare in rotazione sui 760 ha interessati: mais (sia da insilato, sia da granella) e un cereale autunno vernino (frumento, orzo, triticale o segale).

In *Tabella 21* sono riportati i Massimi di Applicazione Standard (il MAS corrisponde al fabbisogno azotato della coltura e, quindi, al quantitativo di N efficiente da apportare), le dosi di N zootecnico, quelle di N minerale che andranno ad integrazione e i quantitativi di digestato da applicare alle due colture.

Il PUA sarà impostato rispettando i MAS con riferimento all'equazione di bilancio semplificato di seguito riportata:

$$\text{MAS} \geq \text{Fo} \times \text{Ko} + \text{Fc}$$

dove con Fo si indica l'apporto di azoto da digestato (non oltre il valore medio di 204 kg/ha, come da *Tabella 21*, con Ko il coefficiente di efficienza dell'azoto (60% sia per il liquami tal quali, sia per i digestati) e Fc l'apporto di azoto da urea o nitrato ammonico cui si assegna convenzionalmente un coefficiente di efficienza pari a 1.

Il volume di digestato da spandere sui circa 760 ha è pari a 56716 m³/anno (*Tabella 21*).

La quantità totale di N al campo, al netto delle perdite di stoccaggio, che dovrà essere applicata ai 760 ha è di 154836 kg/anno. Il tenore medio di N al campo di liquame tal quale e digestato è del 2,73%.

In *Tabella 21* sono riportate, per le due superfici pressoché equivalenti di mais e frumento, i volumi di digestato da apportare, gli apporti di azoto totale ed efficiente relativi e gli apporti di N da urea (o da nitrato ammonico).

Tabella 21 – Volume di digestato da distribuire a cura del servizio interaziendale

Coltura	SAU (ha)	MAS ⁽¹⁾ (kg/ha/a)	Apporto N da digestato (Fo) (kg N/ha/a)	Apporto N totale ⁽²⁾ da digestato (Fo) (kg N/a)	Apporto N eff. ⁽²⁾ da digestato (Fo x Ko) (kg/a)	Apporto N da urea (kg/ha/a)	Volumi di digestato da spandere (m3/a)
Mais granella (Irriguo)	385	280	204	78540	47124	158	28769
Frumento	374	190	204	76296	45778	68	27947
TOTALI	760			154836	92902		56716

⁽¹⁾ Corrisponde al fabbisogno di N della coltura e al quantitativo di N efficiente da somministrare

⁽²⁾ E' stato attribuito un Ko (coefficiente di efficienza dell'N) di 0,60 ai liquami/digestati e 1,0 all'urea, come da Programma d'Azione regionale

- *Calendario degli spandimenti e tecniche di applicazione*

L'efficienza del 60% da raggiungere con l'azoto del digestato impone scelte rispettose delle buone pratiche agronomiche per quanto riguarda sia il calendario degli spandimenti, sia le tecniche di distribuzione.

Il primo dovrà corrispondere il più possibile alle fasi vegetative in cui la coltura ha il massimo di asportazioni, le seconde dovranno essere tali da ridurre al minimo le perdite di N per volatilizzazione in atmosfera e consentire l'accesso al campo anche in copertura, con la coltura nelle prime fasi vegetative. In *Tabella 22* è riportata un'ipotesi di calendario degli spandimenti che risponde all'esigenza sopra espressa e, nel contempo, a quella di non costringere ad ampliare gli stoccaggi già realizzati a norma di legge.

Le tecniche d'applicazione sono diverse e potranno essere studiate in relazione alla natura dei terreni ed alla geometria degli appezzamenti, la cui superficie non potrà essere troppo frammentata.

Tabella 22 - Calendario degli spandimenti e volumi di digestato da applicare

Periodo	mais (m ³ /anno)	frumento (m ³ /anno)
Febbraio (in copertura)		5641
Marzo/Aprile (alla semina)	5359	
Aprile/Giugno (alla sarchiatura)	17815	
Luglio/Settembre (aratura)		15678
Ottobre (aratura)	5359	
TOTALI	28535	21320

Le caratteristiche principali delle macchine che permettono di applicare i liquami elevando l'efficienza dell'azoto, si possono così riassumere:

- alta capacità di lavoro e di accesso al campo (ruote larghe e a bassa pressione per ridurre il rischio di compattamento del suolo);
- rifornimento del mezzo spandimento con navetta per il trasporto del liq/dig. dagli stoccaggi al bordo campo;
- capacità di interrare il liquame a diverse profondità onde ridurre le emissioni di ammoniaca ed evitare quelle di odori.

- *Costi e struttura del servizio*

Nell'analisi dei costi si è tenuto conto dei benefici che derivano da una corretta ed efficiente applicazione del digestato. I dati di *Tabella 21* mostrano come sia realisticamente possibile, a parità di produzione attesa, sostituire con l'azoto del digestato il 45% dell'azoto ureico nel caso del mais e il 35% dell'azoto da nitrato ammonico nel caso del grano. I grafici che comparano i costi della sostituzione parziale o completa dell'urea di paragrafo 4.3.2 possono essere utilizzati per calcolare le distanze massime dall'impianto che consentono tali sostituzioni con vantaggio economico.

Il cantiere di lavoro dovrebbe essere costituito da una macchina per lo spandimento, da un'autobotte da 15 t per il trasporto (o, meglio, da un bilico di 30-35 m³) e da una vasca di stoccaggio di circa 30-45 m³ (polmone) da collocare a piè di campo e da smontare e rimuovere facilmente. Una struttura di questo tipo potrebbe egregiamente servire un comprensorio di 2500-3000 ha.

Ciò significa che il cantiere descritto è largamente sovradimensionato per i 760 ettari interessati. Ne deriva che la sua operatività deve essere sovra comunale e che due di questi cantieri sarebbero sufficienti a servire il complesso dei comuni della parte centrale della provincia di Cremona.

Le considerazioni sopra espresse comportano che in sede di fattibilità andranno attentamente valutate per la struttura del servizio almeno due opzioni: la costituzione *ex novo* di un servizio ad hoc, a struttura societaria da definire, oppure il coinvolgimento di strutture esistenti già operanti nel campo del contoterzismo.

4.3 Verifica dei costi per una sostituzione parziale o integrale dei concimi di sintesi

4.3.1 Indagine sulle tecniche di applicazione dei liquami e sui cantieri di lavoro

Il coinvolgimento in un unico sistema operativo di un certo numero di aziende zootecniche produttrici di liquami e di un certo numero di aziende ad indirizzo cerealicolo utilizzatrici di detti liquami come fertilizzanti, presuppone la conoscenza delle più recenti e innovative tecniche di applicazione, in grado di assicurare un elevato livello di efficienza dell'azoto. E' con la dimostrazione dell'efficacia di queste tecniche, infatti, che gli agricoltori possono superare la riluttanza ad utilizzare i liquami e convincersi che l'azoto di origine zootecnica può sostituire, anche totalmente, quello di origine chimica. Si è inteso in questo modo dare sostanza alla pratica prevista dalla normativa lombarda dei cosiddetti "contratti di valorizzazione", previsti dal Programma d'Azione regionale (deliberazione di Giunta n. VIII/5215 del 2 agosto 2007 e s.m.i). Alcune di queste tecniche sono state oggetto di dimostrazione in occasione di giornate dimostrative organizzate nell'ambito di EQUIZOO.

I mezzi spandiliquame che sono stati presi in considerazione sono sia quelli classici a serbatoio trainato, sia quelli semoventi con serbatoio incorporato e attrezzati per l'accesso in campo con coltura in atto. Su questi ultimi sono stati fatti alcuni approfondimenti, dato il loro particolare interesse nel quadro di gestione interaziendale previsto da EQUIZOO. Nell'analisi economica riportata nel paragrafo che segue e svolta sempre in collaborazione con il partner APIMA, sono stati considerati cantieri di lavoro completi, comprensivi di autobotti "navetta" per il trasporto del liquame dall'azienda al campo e contenitori a piè di campo per uno stoccaggio limitato, ma di capacità sufficiente a fungere da polmoni per alimentare i mezzi di spandimento semoventi senza interruzione del servizio.

4.3.2 Valutazione dei costi in funzione delle distanze degli appezzamenti

Il dato di partenza per questo tipo di analisi è la quantificazione dei costi di fertilizzazione con i concimi chimici normalmente utilizzati nell'area di pianura delle aziende agricole lombarde. A questo scopo si è preso a riferimento la coltura del mais per la prevalenza nell'ordinamento agricolo lombardo di pianura.

In *Tabella 23* è riportato il fabbisogno di azoto efficiente, pari a 280 kg/ha/anno, quale risulta dalla tabella dei Massimi di Applicazione Standard adottata dalla Regione (Delibera di Giunta n.10925/2013). Nella stessa tabella è riportato il costo di concimazione di 1 ha di mais, quale somma degli apporti di urea e perfosfato minerale. I due valori separati e aggregati sono poi riportati in *Figura 33*, dove si vede come tali costi chiaramente non dipendano dalla distanza dell'appezzamento dal centro aziendale, mantenendosi costanti.

Tabella 23 – Concimi chimici: costi di fertilizzazione per mais (fonte Borsa Merci Modena per concimi, tariffario APIMA Cremona per distribuzioni, marzo 2013)

MAIS, apporto di unità fertilizzanti → 280 kg N/ha (MAS), 100 kg P₂O₅

Costi:

- Costo urea: 280 kg N/ha x 1,03 €/kg N.....	288 €/ha
- Costo perfosfato: 100 kg P ₂ O ₅ /ha x 1,00 €/kg P ₂ O ₅	100 €/ha
- Costo distribuzione in due momenti (presemina e sarchiatura).....	118 €/ha
- Costo totale fertilizzazione con concimi chimici.....	506 €/ha

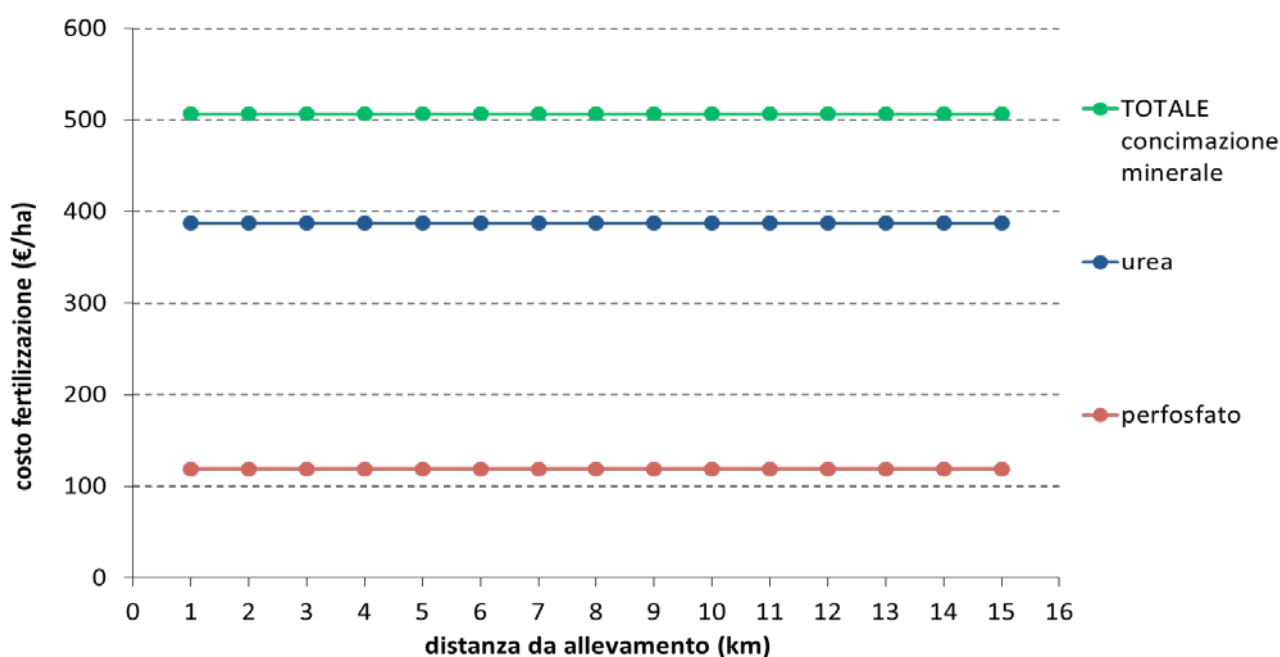


Figura 33 - Concimi chimici: costi di fertilizzazione per mais in funzione della distanza dall'allevamento

Allo scopo di valutare la distanza massima di convenienza alla sostituzione con liquami e digestati di questi due concimi minerali, sono stati raccolti in collaborazione con il partner APIMA dati relativi ai tempi di caricamento, di trasporto e di spandimento.

In *Tabella 24* sono riportati in forma analitica, i costi di caricamento, trasporto e spandimento di liquami a diverse distanze, differenziando tali costi anche per le modalità di distribuzione (a ventaglio, per interrimento, a bande con mezzo semovente).

Tabella 24 – Costi di carico, trasporto (con botte da 15 m³) e distribuzione di liquami o digestati, in funzione della distanza dall'allevamento

	distanza da allevamento (km)														
Tipo di operazione	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
- Carico	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
- Trasporto	6,40	12,80	19,20	25,60	32,00	38,40	44,80	51,20	57,60	64,00	70,40	76,80	83,20	89,60	96,00
- Distribuzione (ventaglio)	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67	6,67
- Distribuzione (interratori)	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33
Totale (ventaglio)	19,73	26,13	32,53	38,93	45,33	51,73	58,13	64,53	70,93	77,33	83,73	90,13	96,53	102,93	109,33
Costo per m ³	1,32	1,74	2,17	2,60	3,02	3,45	3,88	4,30	4,73	5,16	5,58	6,01	6,44	6,86	7,29
Totale (interratori)	26,40	32,80	39,20	45,60	52,00	58,40	64,80	71,20	77,60	84,00	90,40	96,80	103,20	109,60	116,00
Costo per m ³	1,76	2,19	2,61	3,04	3,47	3,89	4,32	4,75	5,17	5,60	6,03	6,45	6,88	7,31	7,73
Costo per m ³ (semovente su mais)	4,82	5,24	5,67	6,10	6,52	6,95	7,38	7,80	8,23	8,66	9,08	9,51	9,94	10,36	10,79
Costo per m ³ (semovente su tritcale)	4,32	4,74	5,17	5,60	6,02	6,45	6,88	7,30	7,73	8,16	8,58	9,01	9,44	9,86	10,29

In *Figura 34* sono riportati i costi complessivi (caricamento, trasporto e distribuzione) dello spandimento dei liquami, distintamente per il tradizionale carrobotte e per i più innovativi mezzi semoventi in grado di accedere al campo con la coltura in atto, sia essa mais o cereale autunno-vernino.

L'incremento di costo, lineare nei quattro casi, è dovuto esclusivamente al trasporto ed è di circa 2,5 Euro/m³ più alto per il mezzo semovente. In questo caso è un incremento che è, tuttavia, compensato da una maggiore efficienza dell'azoto applicato e, quindi, da una più elevata capacità di sostituzione del concime chimico rispetto al liquame distribuito con il tradizionale carrobotte.

La distanza dell'appezzamento dal centro aziendale di produzione diventa allora il fattore decisivo nella scelta della modalità di utilizzazione agronomica del liquame.

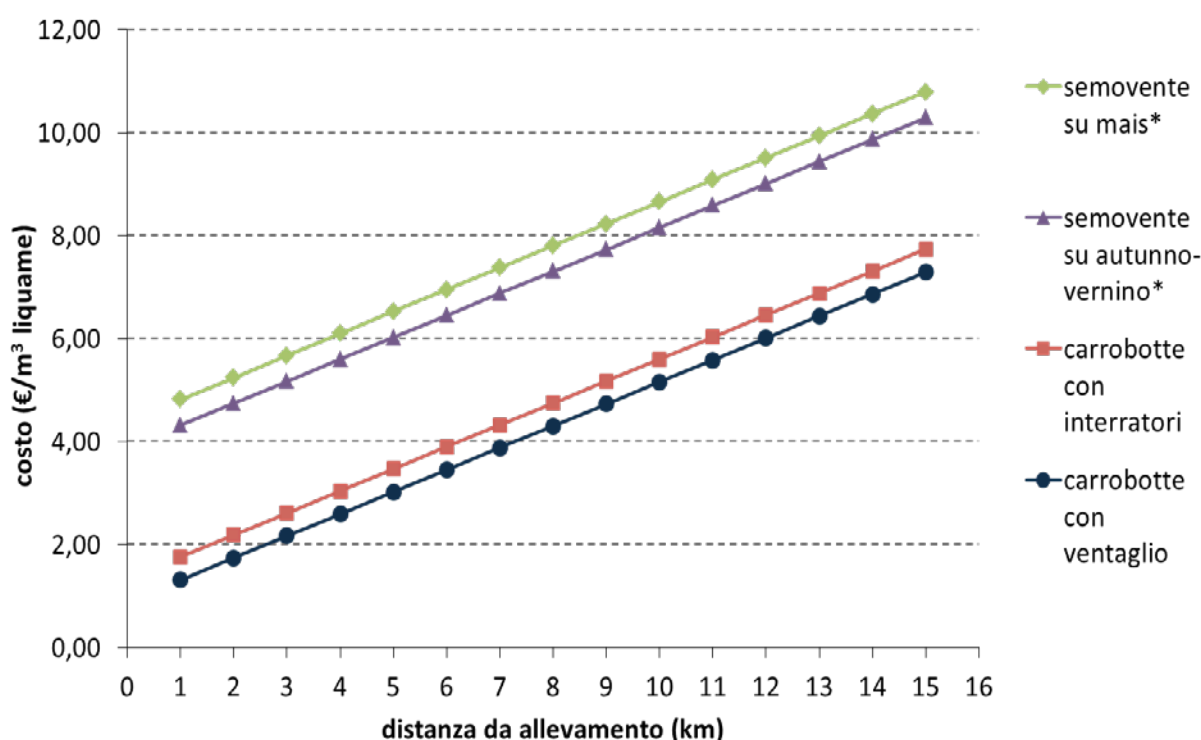


Figura 34 - Costi di trasporto e distribuzione dei liquami (tariffario APIMA, elaboraz. CRPA)

Nelle elaborazioni che seguono si è scelto il mezzo semovente di spandimento come tecnica innovativa per ottimizzare l'efficienza dell'azoto applicato. A questo fine, si è voluto vedere a quale distanza dal centro aziendale il ricorso al mezzo semovente diventa competitivo con la fertilizzazione basata sui soli concimi di sintesi. Sono state fatte due simulazioni, una per una sostituzione parziale di questi ultimi e una per una sostituzione completa.

Nel primo caso, quello della sostituzione parziale dei concimi di sintesi, si è ipotizzato di operare su mais con distribuzione del liquame solo in presemina e con distribuzione di urea a integrazione del fabbisogno alla sarchiatura. La concimazione fosfatica è del tutto soddisfatta con il liquame zootecnico. Nella *Tabella 25* che segue sono riportati i dati di base utili al calcolo; l'esempio è riferito ad un appezzamento a distanza di 5 km dall'allevamento.

Tabella 25 – Costi di concimazione del mais con fertilizzanti chimici e liquami, alla distanza di 5 km dall'allevamento (fonte Borsa Merci Modena per concimi chimici, tariffario APIMA Cremona per distribuzioni, marzo 2013)

MAIS, apporto di unità fertilizzanti → 280 kg N/ha (MAS), 100 kg P₂O₅

Analisi dei costi:

- volume liquame corrispondente a 170 kg N/ha (3,5 kg N/t).....48 m³
- costo trasporto e distribuzione liquame in presemina (48 m³ x 3,47 €/m³).....167 €/ha
- N efficiente applicato (170 kg N/ha x 0,65).....110 kg/ha
- Urea da applicare ad integrazione [280 kg N/ha (MAS) – 110 kg/ha da liq.].....170 kg/ha
- Costo urea: 170 kg N/ha x 1,03 €/kg N.....175 €/ha
- Costo distribuzione urea in sarchiatura.....79 €/ha
- Costo totale fertilizzazione con liquami e con urea.....**421 €/ha**

In *Figura 35* sono riportati i costi di fertilizzazione in funzione della distanza sia per la concimazione con solo urea, sia per quella mista di cui alla *Tabella 25*.

Come si può vedere il costo di concimazione complessivo è inferiore a quello con i soli concimi minerali fino ad una distanza di circa 9 km dagli allevamenti, distanza alla quale i due costi comparati si equivalgono.

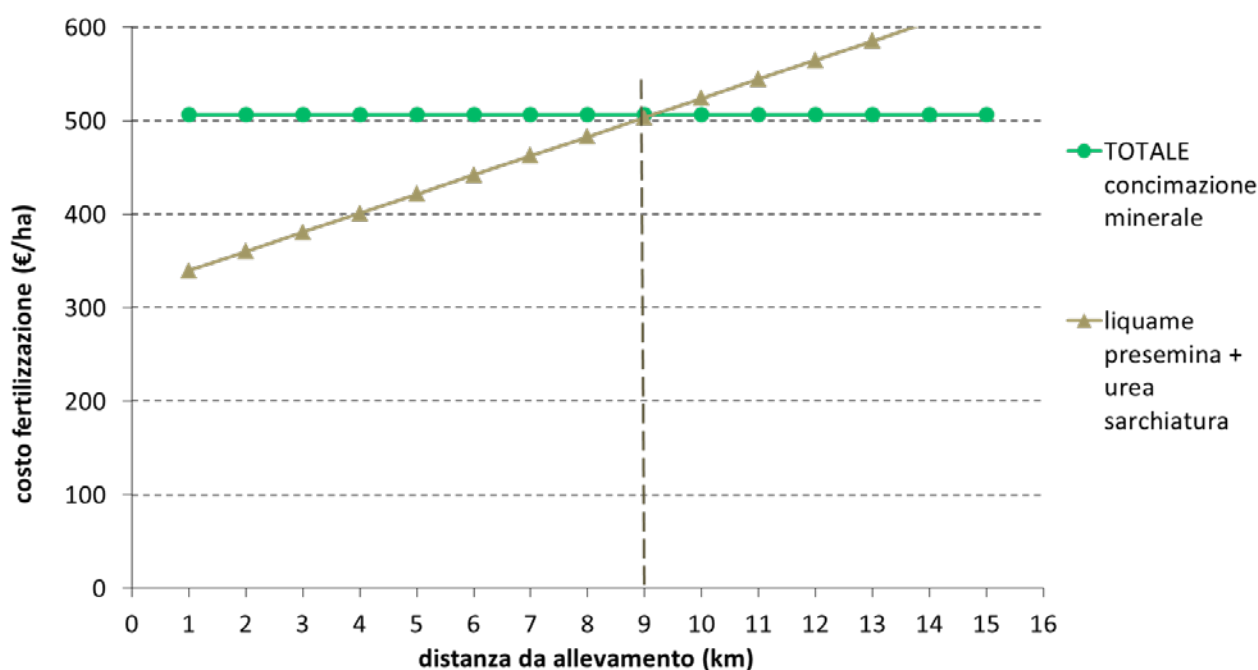


Figura 35 - Confronto tra il costo di fertilizzazione del mais con soli concimi minerali oppure con liquame in presemina e urea in copertura. I costi di fertilizzazione includono il costo di trasporto e di distribuzione

Nel secondo caso, quello della sostituzione totale dei concimi di sintesi, si è ipotizzato di operare su mais con distribuzione del solo liquame, utilizzandolo sia in presemina, sia alla sarchiatura. La concimazione fosfatica è del tutto soddisfatta con il liquame. Nella *Tabella 26* che segue sono riportati i dati di base utili al calcolo; l'esempio è riferito ad un appezzamento a distanza di 5 km dall'allevamento.

Tabella 26 – Costi di concimazione del mais con soli liquami (fonti CRPA e tariffario APIMA Cremona per costi di distribuzione, marzo 2013), alla distanza di 5 km da allevamento

MAIS, apporto di unità fertilizzanti → 280 kg N/ha (MAS), 100 kg P₂O₅

Analisi dei costi:

- volume liquame corrispondente a 170 kg N/ha (3,5 kg N/t).....48 m³
- costo trasporto e distribuzione liquame in presemina (48 m³ x 3,47 €/m³).....167 €/ha
- N efficiente applicato in presemina (170 kg N/ha x 0,65).....110 kg/ha
- N efficiente da applicare ad integrazione [280 kg N/ha (MAS) – 110 kg/ha]....170 kg/ha
- costo trasp. e distrib. liq. in sarchiatura ad integraz. (48 m³ x 6,52 €/m³).....313 €/ha
- Costo totale fertilizzazione con solo liquami.....**480 €/ha**

In *Figura 36* sono riportati i costi di fertilizzazione in funzione della distanza sia per la concimazione con solo urea, sia per quella con solo liquame di cui alla *Tabella 26*.

Come si può vedere il costo di concimazione complessivo è inferiore a quello con i soli concimi minerali fino ad una distanza di circa 5 km dagli allevamenti, distanza alla quale i due costi comparati si equivalgono.

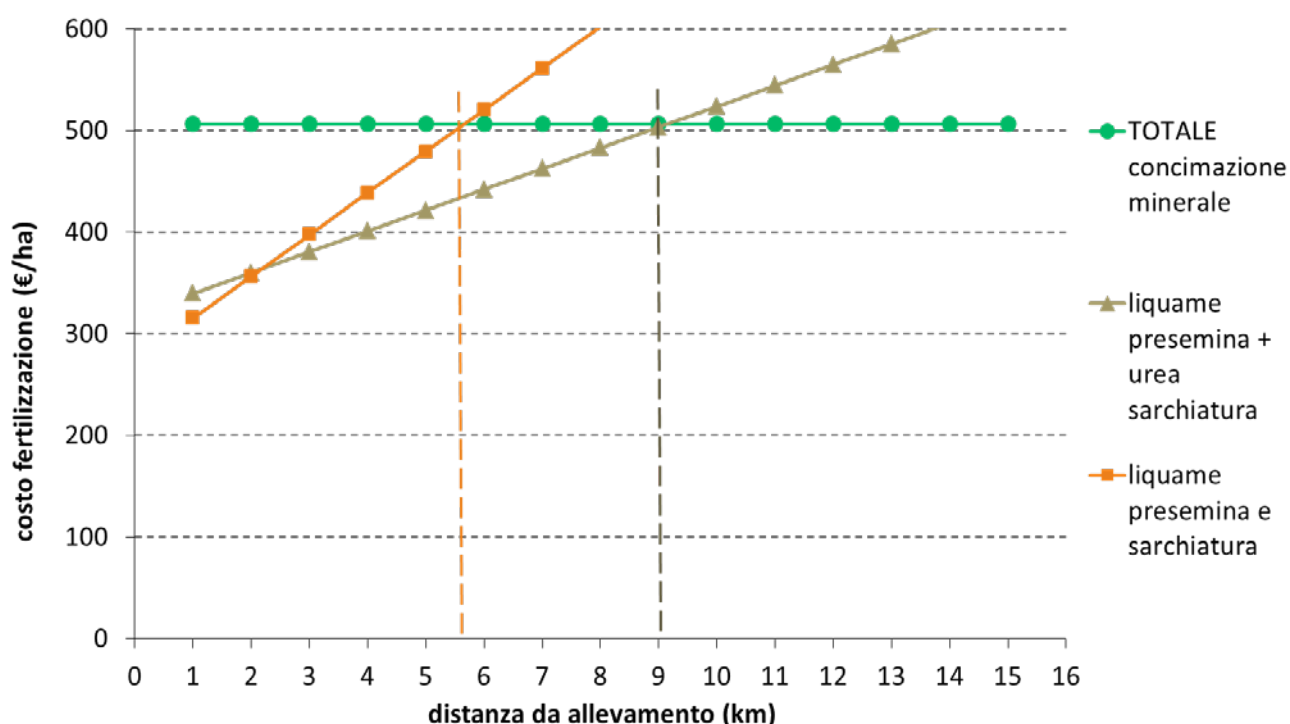


Figura 36 - Confronto tra il costo di fertilizzazione del mais con solo concime minerale, con liquame in presemina e urea in copertura, oppure con solo liquame zootecnico. I costi di fertilizzazione includono il costo di trasporto e di distribuzione

I grafici sopra riportati, derivanti dall'elaborazione dei dati raccolti con l'attività EQUIZOO, testimoniano ancora una volta come, entro certi limiti e nel rispetto delle regole della scienza agronomica, sia possibile utilizzare gli effluenti zootecnici in sostituzione anche completa dei concimi di sintesi.

5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Smith, K.A., D.R. Jackson, T.H. Misselbrook, B.F. Pain, and R.A. Johnson, 2000 - Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77: 277-287.
2. Sogaard, H.T., S.G. Sommer, N.J. Hutchings, H.J.F. M., D.W. Bussink, and F. Nicholson, 2002 - Ammonia volatilization from field-applied animal slurry - the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, 36: 3309-3319.
3. Burton C.H., Turner C., 2003 - Manure Management Treatment strategies for sustainable agriculture- Silsoe research institute.
4. Huijsmans J.F.M., 2003 - Manure application and ammonia volatilisation PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen.
5. Misselbrook, T.H., K.A. Smith, D.R. Jackson, and S.L. Gilhespy, 2004 - Ammonia emissions from irrigation of dilute pig slurries. *Biosystems Engineering* 89: 473-484.
6. Provolo G., 2005- Manure management practices in Lombardy (Italy) - *Bioresources Technologies*, 96/2: 145-152.
7. Brenna, S., Pastori M., Acutis M., 2005 - Nitrate leaching monitoring from cropping systems in Lombardy (North Italy). In: N management in agrosystems in relation to the water framework directive : proceedings of the 14th N Workshop, (Eds: Schröder, J.J.; Neeteson, J.J.) October 2005, Maastricht, the Netherlands: 20-23.
8. Bonazzi G., Piccinini S., 2006 - Manure processing: experience from Italy- Presentation at the EC Workshop on Manure processing held in Brussels on 6-7 Novembre 2006 and organized by EC DG- Environment.
9. Balsari P. et al., 2006 - Relazione su monitoraggio degli impianti di separazione solido liquido dei liquami di suini e bovini. DEIAFA Sez. Meccanica, Facoltà di agraria della Università di Torino per Regione Piemonte.
10. Provolo G. et al., 2008 - Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica, soluzioni tecnologiche ed impiantistiche- Quaderni della Ricerca n. 93- Regione Lombardia- Milano.
11. Mantovi, P., Bonazzi G. 2008 - Migliori tecniche disponibili nella fertirrigazione- *L'Informatore Agrario*, 148.
12. Sommariva F., 2008 - Stoccaggi e superfici per rispettare la Direttiva Nitrati- *Supplemento a L'Informatore Agrario*, 3.
13. Fabbri C. et al., 2008 - soluzioni possibili per ridurre le eccedenze di azoto- *L'Informatore Agrario*, 18
14. Moscatelli, G., Fabbri, C., 2008 - Strippaggio, tecnica efficiente per l'abbattimento dell'azoto- *L'Informatore Agrario*, 18
15. Balsari P., Dinuccio E., Gioelli F., Santoro E. 2008 - Ammonia losses from the land application of raw pig slurry and solid and liquid fractions generated from its mechanical separation. *Proceedings of the 13th Ramiran International Conference (Albena, Bulgaria, 11-14 June 2008)* edited by Vesselin Koutev,: 137-140.

16. Perego A., Fumagalli M., Carozzi M., Bernardoni E., Brenna S., Pastori M., Acutis M. 2009 - Regional application of ARMOSA model to estimate nitrate leaching. In: C. Grignani, M. Acutis, L. Zavattaro, L. Bechini, C. Bertora, P. Marino Gallina, D. Sacco (Eds). Proceedings of the 16th Nitrogen Workshop: Connecting different scales of nitrogen use in agriculture. June, 28th – July, 1st 2009, Turin, Italy: 553-554.
17. Sommariva F., 2009 - Interventi di Assistenza Tecnica per la fertilizzazione organica e chimica- 8° Reunion RUENA- Girona- Spain.
18. Regione Lombardia, 2009 - Modelli gestionali per l'uso sostenibile degli effluenti di allevamento GEA- Quaderni della Ricerca n.104 Regione Lombardia- Milano.
19. Regione Lombardia, 2009 - Gestione e riduzione dell'azoto di origine zootecnica- Soluzioni tecnologiche e impiantistiche- Schede descrittive a cura di Istituto di Ingegneria Agraria- MI.
20. Mantovi P., Fabbri C., Soldano M., Piccinini S., 2009 - La separazione del digestato aumenta il potere fertilizzante. L'Informatore Agrario, 43.
21. Bioteau T., Burton C., Guiziou F., Martinez J., 2010 - Assessment of manure management practices across the EU 27 - Cemagref, 17 av de Cucillé, CS 64427, 35044 RENNES cedex. Université européenne.
22. Hjorth et Al., 2010 - Solid-liquid separation of animal slurry in theory and practice. A review. Agron:Sustain. Dev. 30 published by EDP Science.
23. Regione Lombardia, 2010 - Il progetto METAMORFOSI - Brochure DG Industria.
24. ERSAF, 2010 – ARMOSA - Modellizzazione della dinamica dell'acqua e dell'azoto nei suoli agricoli Lombardi- Quaderno della Ricerca n. 65, Regione Lombardia, Milano.
25. ERSAF, 2011 - L'azoto nei suoli agrari: interazione con acqua e atmosfera- Quaderno della Ricerca n.130, Regione Lombardia, Milano.
26. Mantovi P. et Al., 2012 - Effluenti di Stalle e Digestati: separati rendono di più- Conoscere per competere- Progetto PSR finanziato da Regione Emilia Romagna.
27. Fabbri C. et Al., 2012 - Separazione solido-liquido per gestire l'azoto e produrre energia- L'Informatore Agrario, 41.



Regione Lombardia
Agricoltura

Ricerca e Sperimentazione in Agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it