



IV Sezione



Facoltà di Agraria

# ATTUALITÀ DELLA RICERCA NEL SETTORE DELLE ENERGIE RINNOVABILI DA BIOMASSA

ATTI DEL CONVEGNO

Ancona - Facoltà di Agraria

16 - 17 dicembre 2010

ISBN 978-88-906186-1-1

© 2011 CTI, Milano

finito di stampare nel mese di febbraio duemiladodici

presso Tipolitografia Trabella,  
Peschiera Borromeo (MI)

## Comitato scientifico ed editoriale

Gualtiero Baraldi  
Remigio Berruto  
Luigi Bodria  
Stefano Bona  
Enrico Cini  
Andrea Del Gatto  
Mario Di Candilo  
Ester Foppa Pedretti  
Andrea Galli  
Ilaria Mannazzu  
Antonio Pazzona  
Pietro Piccarolo  
Pier Riccardo Porceddu  
Giorgio Provolo  
Paolo Ranalli  
Giovanni Riva  
Oriana Silvestroni  
Franco Sotte  
Paolo Tarolli  
Marco Toderi  
Gianpietro Venturi

Atti a cura di:  
Ester Foppa Pedretti  
Chiara Mengarelli

*I contributi contenuti negli Atti sono stati oggetto di peer-review da parte del comitato scientifico sulla base dell'intero testo e rappresentano una selezione delle relazioni presentate al convegno.*

## Indice

Prefazione .....	1
Premesse .....	3
<i>Produzione di biomassa dedicata</i> .....	5
Valutazione di ibridi di girasole ( <i>Helianthus annuus</i> L.) alto oleico per uso energetico in Italia centro-orientale .....	7
Riduzione della lavorazione su girasole ( <i>Helianthus annuus</i> L.) alto oleico per uso energetico.....	17
Il sorgo coltivato a fini energetici e l'efficienza di utilizzazione dell'acqua in ambiente mediterraneo .....	25
Tecniche di propagazione della canna comune ( <i>Arundo donax</i> L.) a confronto .....	32
Potenzialità produttiva di sorgo e girasole a destinazione energetica in un ambiente a sussidio idrico limitato.....	40
Un biennio di prove di valutazione agronomica di varietà commerciali di <i>B. napus</i> e <i>B. carinata</i> .....	50
Valutazione delle caratteristiche produttive di varietà di sorgo da biomassa in Centro Italia.....	59
Concimazione azotata e densità di semina in colza ( <i>B. Napus</i> L.) .....	68
Individuazione di varietà di vite ibride ( <i>Vitis</i> Sp.) idonee alla produzione di bioetanolo e cellulosa da impiegare come fonti di bioenergie .....	75
<i>Utilizzo di biomassa residuale</i> .....	81
Caratterizzazione energetica del materiale ritratto da diradamenti in impianti di <i>Pinus</i> spp. in Italia centrale .....	83
Prove di combustione di pollina in un impianto termico sperimentale.....	91
Caratteristiche energetiche di sottoprodotti ottenuti dalla coltivazione di lino da fibra .....	99
Valorizzazione dei cascami della filiera vinicola.....	108
<i>Gestione e controllo dei residui delle filiere</i> .....	119
L'impiego della frazione separata solida del liquame digerito e non per l'alimentazione dei digestori anaerobici .....	121
Livelli di IPA nelle emissioni prodotte da stufe domestiche alimentate a pellet di legno.....	129
Prove di strippaggio dell'azoto da reflui ottenuti da impianti di D.A.....	138

---

Produzione di pannello e di olio a partire da girasole decorticato con una spremitrice a pressione graduale .....	146
Impiego di farine di disoleazione provenienti dalla filiera biodiesel e di compost da f.o.r.s.u. nell'ammendamento di melanzana e scarola .....	154
<i>Caratterizzazione e qualità delle biomasse</i> .....	161
Produzione di bio-etanolo da biomasse di patata dolce .....	163
Produzione e caratterizzazione energetica di biomasse erbacee irrigate con acque reflue .....	171
La barbabietola da zucchero come coltura dedicata per il biogas.....	181
Il controllo della qualità della biomassa nelle centrali di trasformazione energetica: caso applicativo .....	191
Tracciabilità del cippato in una logica di filiera corta.....	197
Valutazione della capacità di idrolisi e saccarificazione di biomasse lignocellulosiche da parte di isolati di <i>Trichoderma</i> spp. per la filiera del bioetanolo.....	205
La determinazione del contenuto di carbonio biogenico in combustibili ibridi.....	210
Il campionamento delle biomasse solide.....	216
Impiego di additivi inorganici per il miglioramento del comportamento termico delle ceneri nella combustione delle biomasse .....	224
<i>Meccanizzazione della raccolta della biomassa</i> .....	231
Valutazione di un prototipo per la raccolta di colture da biomassa a destinazione energetica .....	233
Sviluppo ed analisi operativa di un'attrezzatura per la raccolta di impianti di pioppo da biomassa lignocellulosica a breve turno di ceduazione.....	241
Raccolta dei sarmenti di vite in cippato: disponibilità potenziale e tecnica in provincia di Treviso .....	249
<i>Valutazioni tecniche, economiche e territoriali</i> .....	259
Diritti di proprietà ed organizzazione dell'afferta di biomassa: inquadramento teorico ed indagine empirica .....	261
Produzione di biomassa a fini energetici da un primo diradamento in impianto di pino nero ( <i>Pinus nigra</i> Arnold), tempi di lavoro, produttività e costi.....	271
Analisi del processo decisionale della filiera energetica dell'olio vegetale.....	279
Filieri agro-energetiche: modello per il calcolo dei costi economici, energetici e ambientali a bocca impianto.....	286
Opportunità e riflessi economico-fiscali della produzione di energie rinnovabili nell'impresa agricola.....	296
Utilizzazione di un ceduo di eucalipto per produzione di biomassa con impiego di meccanizzazione spinta: aspetti tecnici ed economici .....	304

---

Esperienze in atto sulla conversione agricola verso le colture energetiche .....	311
Localizzazione e dimensionamento di un impianto di digestione anaerobica per la produzione di biogas nella Sicilia sud-orientale .....	318
Metodologia e applicazione territoriale per la valutazione di filiere bio- energetiche .....	326
Modelli previsionali della biomassa a fini energetici ritraibile da eucalitteti della .....	336
<i>Sostenibilità</i> .....	347
Applicazione di liquami bovini alle colture dedicate da energia: implicazioni energetiche e sul bilancio del carbonio .....	349
Coltivazione di sorgo per bioenergia e ciclo del C del suolo .....	355
Effetto della conversione da colture agricole a colture legnose per energia sull'emissione di gas climalteranti: primi due anni di sperimentazione .....	361
Sostenibilità delle filiere bioenergetiche in Italia .....	371
Un modello di impiego sostenibile delle biomasse forestali in provincia di Nuoro .....	381
Un software per la valutazione di sostenibilità delle filiere agro-energetiche .....	391

---

## **Prefazione**

*La necessità di trovare alternative alle risorse energetiche fossili per fare fronte a problemi di approvvigionamento e ai dissestati equilibri ambientali, ha portato anche allo studio ed allo sfruttamento delle fonti rinnovabili, con l'intento di valorizzare nei differenti ambiti ed ambienti le risorse di maggiore interesse.*

*Analisi delle potenzialità e affinamento delle tecniche per il loro sfruttamento sono attività che coinvolgono direttamente la ricerca, di base e applicata: da un approfondimento condotto nel 2008 (Kajikawa et Al., 2008), che ha analizzato la bibliografia citata dall'Institute for Scientific Information (ISI) dal 1970 al 2005, si rileva che i lavori pubblicati in ambito scientifico e relativi ad argomenti energetici sono stati oltre 150 mila, distribuiti in 68 riviste. Da questa selezione si evidenzia che la grande maggioranza di lavori relativi alla produzione energetica riguarda ancora i combustibili di natura fossile, petrolio e carbone, e le tecniche di combustione.*

*Un inizio di interesse per le energie rinnovabili, interesse crescente negli anni seguenti, è segnalato solo a partire dall'ultimo decennio del secolo scorso. Ad oggi, l'attenzione anche a livello scientifico internazionale è ancora "tiepida", essendo la numerosità delle pubblicazioni sulle energie rinnovabili circa il 3% delle complessive e, comunque, rivolta soprattutto allo sfruttamento diretto dell'energia solare (2/3 delle pubblicazioni sulle rinnovabili sono riconducibili a questo soggetto).*

*Nell'ambito descritto, le risorse rinnovabili da biomasse rappresentano un'ulteriore nicchia, trattata in circa il 10% degli scritti. Da queste riflessioni emerge che, pur essendoci una certa vivacità nella comunità scientifica internazionale, ci sia la necessità di potenziare le ricerche nel settore, sperimentando vie nuove per trarre energia, diretta o indiretta, dalle risorse energetiche rinnovabili e, nello specifico, dalla biomassa.*

*In questo spaccato internazionale si inserisce, un po' ambiziosamente, il contenuto di questo volume di Atti, in cui si raccolgono i lavori di ricercatori di istituzioni ed enti italiani, operanti soprattutto in ambito agricolo, e centrati sulla produzione di biomassa, coltivata o residuale, ad utilizzo energetico e sulla sua trasformazione. Le 46 memorie raccolte, sottoposte a peer review, rappresentano le principali attività di ricerca nel settore attualmente in atto nel Paese. L'augurio, per il futuro, è che questo contributo possa essere da stimolo per intraprendere altri studi e ricerche di approfondimento.*

*Prof. Gualtiero Baraldi  
Presidente IV Sezione AIIA*

*Ancona, dicembre 2011*

## Prove di strippaggio dell'azoto da reflui ottenuti da impianti di D.A.

Riva Giovanni <sup>(1)</sup>, Foppa Pedretti Ester <sup>(1)</sup>, Romagnoli Emilio <sup>(2)</sup>, Bordoni Andrea <sup>(3)</sup>,  
Toscano Giuseppe <sup>(1)</sup>, Fratesi Valeria <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Dip. SAIFET (Scienze Alimentari, Agro-Ingegneristiche, Fisiche, Economico-Agrarie del Territorio),  
Università Politecnica delle Marche

<sup>(2)</sup> ASSAM (Agenzia per i Servizi del Settore Agroalimentare delle Marche)

<sup>(3)</sup> Regione Marche

*Parole chiave: Strippaggio, Direttiva nitrati, Digestato*

### Abstract

The agronomic use of the digestate may have limitations in terms of nitrogen content in accordance to the European Directive EC 91/676. Generally, 50% of the nitrogen content of the effluent is ammonia. For this, the most suitable system for its reduction is the stripping, that is the removal of ammonia by means of an air flow. The paper contains the results of an experimental work which aim was to check the efficiency of the process without pH adjustment by chemical reagents and performed at different temperatures and air flows. The results demonstrate the feasibility of the use of physical treatment and highlight the possibility to obtain interesting values of the removal efficiency (over 50% of the ammonia) operating at temperatures above 60° C and specific volumes of air (volume of air / volume of digestate) above 250

### 1. Introduzione

La produzione di energia elettrica e termica da biogas, ottenuto con la digestione anaerobica (D.A.) di biomassa di origine agro-zootecnica, è una attività agro-energetica di grande interesse e determina vantaggi di natura gestionale, ambientale, energetica ed economica [1] [2]. Tuttavia, presenta anche aspetti critici, legati prevalentemente alla gestione del digestato, ovvero l'effluente del processo, e connessi soprattutto con il corretto utilizzo degli elementi nutrizionali contenuti, in particolare dell'azoto. Infatti, tra le possibili e più praticate destinazioni del digestato, assimilato a effluente zootecnico, vi è l'utilizzo agronomico sul suolo agrario. La prassi, in particolare se si colloca in un quadro di produzione agricola intensiva, può portare ad accumuli in acque e suolo di composti azotati, potenzialmente nocivi per gli equilibri dell'ecosistema; perciò, come nel caso degli effluenti riconducibili all'attività zootecnica, la quantità di digestato distribuita, in virtù del suo contenuto in azoto, è sottoposta alle limitazioni stabilite dalla "Direttiva Nitrati" (Dir. n. 91/676/CE) [3]. Le limitazioni normative rendono quindi necessaria la ricerca di soluzioni per ridurre l'azoto contenuto nell'effluente e rendere praticabile dal punto di vista tecnico-economico lo smaltimento agronomico. Tra le diverse tecniche esistenti per ottenere tale risultato - quando la quantità di ammoniacale presente nell'effluente è pari ad almeno il 50% dell'azoto totale - lo strippaggio può considerarsi implementabile ed opportuno per il settore oggetto di studio, soprattutto per la maggiore semplicità di gestione del processo rispetto ad altri [4] [5]. La tecnica consiste nel convogliare un flusso d'aria in un reattore dove entra in contatto con l'effluente da trattare. L'inquinante (ammoniaca) si trasferisce dalla fase acquosa alla corrente d'aria per poi essere successivamente convogliato in un sistema di cattura, evitandone la dispersione nell'ambiente. A livello impiantistico, i principali parametri che regolano il processo sono il pH dell'effluente, la temperatura di processo, la portata di aria insufflata e la superficie di scambio [6] [7]. Nel presente lavoro sono stati studiati in termini analitici gli effetti di temperatura e portata di aria sull'efficienza di rimozione di azoto ammoniacale dal digestato, in assenza di correzioni del pH a mezzo di reagenti chimici e senza considerare l'influenza della superficie di scambio del liquido contenente ammoniacale.



## 2. Materiali e metodi

L'attività sperimentale ha previsto l'utilizzo di campioni di digestato prelevati direttamente da aziende agricole dove sono già in funzione impianti per la produzione di energia a partire da biogas ottenuto dalla digestione di biomassa di provenienza agro-zootecnica. I digestati utilizzati sono stati ottenuti a partire dalle matrici in elenco:

- reflui bovini miscelati con residui dell'agro-industria (acque di vegetazione e residui della lavorazione di ortaggi e frutta) (Dig.1);
- reflui bovini (60%) miscelati a insilato di mais (40%) (Dig.2);
- insilato di mais miscelato a contenuto ruminale (5% del carico organico) (Dig.3);

I test di strippaggio sono stati condotti con le seguenti regolazioni dei parametri:

- temperatura di esercizio: 40, 60, 80° C;
- portate d'aria: 20, 30, 50 l/h;
- tempi di processo: da 0,25 a 8 h;
- aggiunta di basi chimiche per modificare il pH del digestato: nessuna.

L'apparato sperimentale, utilizzato in tutte le attività della ricerca, è un dispositivo da banco (fig.1), che permette di: variare portate di aria e quantità di digestato da trattare; controllare la temperatura di esercizio. Ciò ha consentito di seguire il processo di strippaggio impostando rapporti noti tra le quantità di aria e di refluo, al fine di verificarne il comportamento con rapporti aria/refluo variabili e in condizioni di temperature differenti.

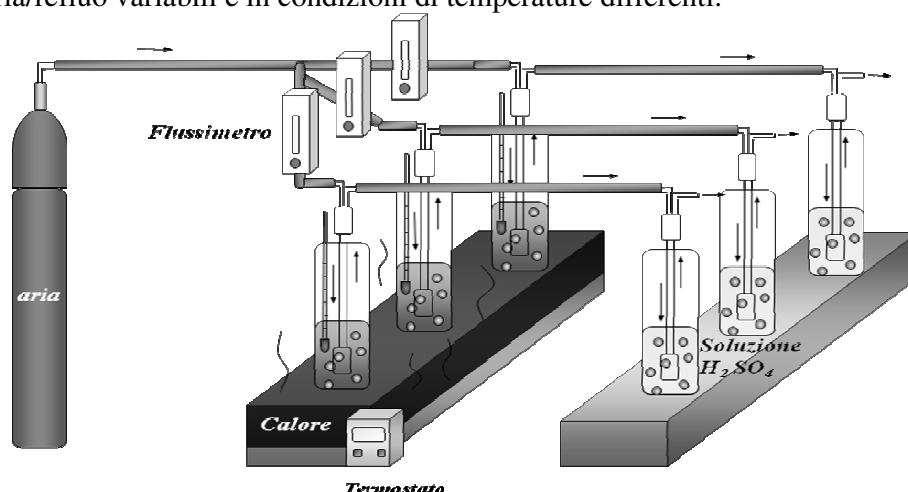


Figura.1: Schema di flusso del dispositivo utilizzato

L'esecuzione delle prove sperimentali - ripetute ognuna tre volte, grazie allo svolgimento in parallelo del processo condotto in tre matracci ad identiche condizioni di temperatura e di portata di aria - è stata preceduta dalla caratterizzazione chimica dei digestati.

Il lavoro ha previsto 4 fasi:

1. definizione dei parametri di processo e di coefficienti rappresentativi. Portata d'aria e volumi di digestato sono stati definiti avendo come limite fisico la struttura del banco; di conseguenza, le volumetrie di digestato trattate sono state comprese tra 250 e 1000 ml mentre le portate d'aria comprese tra 20 e 50 l/h. Mettendo in rapporto i due valori - portata d'aria/volume di digestato - è stato definito il coefficiente  $R_p$ , che, considerando i valori utilizzati dei parametri citati, è compreso tra 50 e 1000 ( $h^{-1}$ ). Per singola condizione operativa definita, il processo è stato condotto a temperature (a 40, 60 e 80° C) e per tempi differenti (da 8 ore a 15 minuti). La temperatura è stata limitata a valori che,

- operativamente, potrebbero caratterizzare il sistema, considerato a valle di un sistema digestore - generatore di energia. Per quanto riguarda il tempo di processo, gli esperimenti sono stati spinti anche sino alla rimozione completa di ammoniaca; in questa memoria si riportano i risultati dei test in cui il limite superiore di durata è determinato dall'eliminazione quasi completa di ammoniaca in un processo condotto a 80° C, mentre la durata minima è stata individuata considerando un tempo di processo accettabile dal punto di vista operativo. Infine, per avere un coefficiente sintetico di comparazione delle efficienze di strippaggio, che tenesse conto sia di portate d'aria sia di tempi di applicazione differenti, è stato definito  $R_v$  (adimensionale) con cui esprimere il rapporto tra il volume di aria effettivamente fornita e quello del digestato. L'efficacia del trattamento è stata valutata determinando la concentrazione di ammonio residuo nel digestato, misurata con cromatografo ionico Metrohm 761 IC dotato di auto campionatore.
- test di strippaggio utilizzando: Dig1 a condizioni differenti, per verificare l'efficienza di processo; Dig2 e Dig3 per verificare se e come le caratteristiche dei materiali di partenza potessero influenzare le prestazioni del processo. In questo secondo gruppo, le prove sono state condotte solamente alle condizioni di processo ritenute più efficaci dopo le iniziali analisi dei risultati ottenuti dalla prima fase ( $T=80^\circ\text{C}$ ,  $R_p=500\text{ (h}^{-1}\text{)}$ , tempo di trattamento=1 h,  $R_v=500$ );
  - valutazione della variazione di contenuto di azoto totale, determinato sul campione liquido, prima ed al termine dello strippaggio alle diverse temperature impostate. Successivamente si è provveduto a misurare il contenuto della frazione organica sui campioni trattati e portati ad essiccazione a 105° C. Tutte le misurazioni sono state effettuate utilizzando l'analizzatore di azoto elementare LECO FP-528;
  - allestimento di prove in sistemi chiusi per valutare l'efficacia dei sistemi trappola nel recupero dell'ammoniaca strippata dal digestato come sale di ammonio. L'operazione è stata condotta su due prove con identiche condizioni di temperatura (80°C), portata di aria (50 l/h) e tempo di esecuzione (30 minuti circa). L'ammoniaca liberata dal digestato è stata recuperata attraverso una linea e fatta gorgogliare all'interno di una soluzione di acido solforico concentrato formando solfato di ammonio.

### 3. Risultati ottenuti

#### Caratterizzazione del digestato

Le caratteristiche chimiche delle differenti tipologie di digestato utilizzate sono riportate in tabella 1

Tabella. 1 - Caratteristiche chimiche del digestato

Parametri	Unità di misura	Dig.1	Dig.2	Dig.3
pH		7,9	7,7	7,9
Solidi Totali (TS)	%	3,5	4,4	4,6
Solidi Volatili (VS/TS)	%	46	65	68
N tot sul t.q.	%	0,29	0,38	0,42
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/kg	1600	1900	2100
N-NO <sub>3</sub>	mg/kg	56	65	73

#### Rendimento di strippaggio eseguito con Dig1

Dall'insieme dei test eseguiti, si è scelto di riportare i risultati relativi agli effetti di temperatura e portata d'aria sull'efficienza del processo.

Il grafico di fig. 2 evidenzia l'effetto della temperatura nel favorire la rimozione dell'ammoniaca dalla soluzione di partenza, a parità di portata d'aria utilizzata ( $R_p\ 50\text{ h}^{-1}$ ). Le curve riportate rappresentano l'andamento del processo di asportazione dell'ammoniaca dalla

soluzione di partenza in funzione del tempo: dopo circa 3 ore, viene quasi totalmente eliminata ad 80°C, mentre a 40°C residua per la maggior parte ancora in soluzione come ione ammonio. Nel grafico di fig. 3 sono invece riportati i dati relativi all'efficienza di rimozione ( $\eta$ ) di tutte le prove eseguite, tenendo conto delle temperature di esercizio e del coefficiente  $R_v$ . Dalla dispersione dei valori ottenuti in tutti i test, eseguiti e riorganizzati secondo le temperature di esercizio e in funzione del volume di aria fornito durante l'intera fase del processo (coefficiente  $R_v$ ), si evidenzia come, a parità di aria somministrata, i migliori risultati di rimozione si siano ottenuti per temperature alte (80 °C), mentre molto più contenute sono state le rese di trattamento a temperature basse (40°C). Nonostante si sia operato senza aggiunta di agenti chimici alcalinizzanti, si è notato un aumento del pH del digestato, in particolare nelle prove effettuate ad 80°C dove si passa dal valore iniziale di 7,9 a quello finale di 9,8 (dati non mostrati).

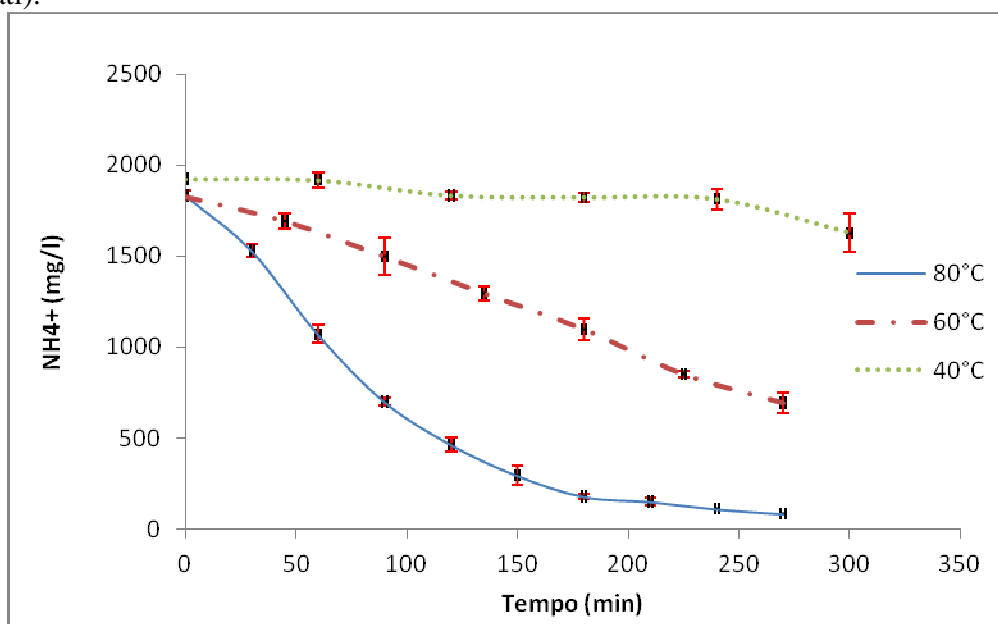


Figura 2 - Concentrazione di ammonio residuante nel digestato sottoposto a strippaggio a 40 – 60 – 80 ° Per i tre test il coefficiente  $R_p$  (Portata  $_{aria}$ /Volume  $_{liquame}$ ) è stato pari a  $50 \text{ h}^{-1}$ . I marcatori evidenziano la deviazione standard dalla media dei risultati ottenuti.

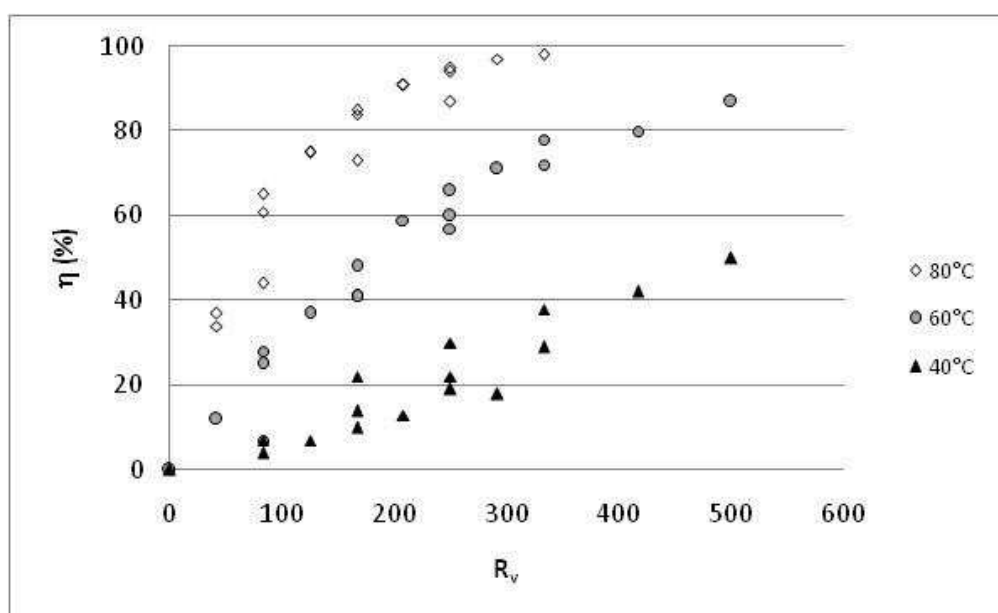


Figura 3 - Andamenti delle efficienze di trattamento ( $\eta$ ) in relazione al rapporto ( $R_v$ ) Volume  $_{aria}$ /Volume  $_{liquame}$  e alle temperature di processo testate

In tabella 2 sono riportati i dati relativi alle efficienze di strippaggio delle prove eseguite con valori di  $R_p$  di 167 e 1000 ( $h^{-1}$ ).

E' evidente come l'incremento del coefficiente  $R_p$  (aumento della portata d'aria per unità di volume di prodotto trattato) determini la velocizzazione del processo che, come riportato, è stato completato in tempi sempre più rapidi per valori crescenti del coefficiente. Considerando la diversa quantità di aria effettivamente fornita durante la prova, si nota che, a parità di temperatura di esercizio e di  $R_v$ , si hanno gli stessi valori di  $\eta$  di strippaggio. Ad esempio ipotizzando una temperatura di esercizio di  $60^\circ C$  e un  $R_v$  di 250, i rendimenti  $\eta$  sono pari al 60%.

Risulta evidente che la resa di strippaggio è condizionata dai valori di  $R_v$  e dalla temperatura del prodotto trattato. Per raggiungere valori minimi di resa superiori al 50% sono previste temperature di processo superiori ai  $60^\circ C$  e  $R_v$  maggiori di 150.

#### Variatione della concentrazione di azoto

La figura 4 mostra la suddivisione del contenuto di azoto nelle principali frazioni, nel digestato preso in esame (Dig.1). La componente prevalente è data dall'ammonio, che rappresenta circa il 60 % dell'azoto totale, mentre la frazione organica-minerale è pari al 38 %. Il rimanente 2 % è invece rappresentata dalla quantità di nitrati. In figura 5 è invece mostrato come varia la concentrazione di azoto totale nel digestato tal quale, prima e dopo le prove di strippaggio alle temperature sperimentate.

L'azoto totale inizialmente è pari allo 0,29 % dell'intero campione, ovvero poco meno di 3  $kg/m^3$  dei quali 1,1 kg sono costituita da azoto organico mentre circa 1,8 kg sono in forma ammoniacale. Trascurabile è invece la quantità relativa ai nitrati.

Risulta evidente una riduzione del quantitativo di azoto totale del 24% circa quando trattato a  $40^\circ C$ , del 39% a  $60^\circ C$  e del 59% nella prova ad  $80^\circ C$ . I valori riscontrati, riferiti al campione liquido e riportati graficamente in fig. 5, hanno dimostrato come la frazione organica-minerale non subisca alcuna variazione rispetto al valore determinato nel campione iniziale, mentre risulta evidente una diminuzione della frazione ammoniacale, quasi completamente rimossa dopo il trattamento ad  $80^\circ C$ .

Tabella 2 - Efficienze di rimozione ottenute con valori noti di  $R_p$  in funzione di tempo di applicazione e temperature

$R_p = 167 h^{-1}$					$R_p = 1000 h^{-1}$				
Tempo	$R_v$	$\eta$			Tempo	$R_v$	$\eta$		
(min)		%			(min)		%		
		$80^\circ C$	$60^\circ C$	$40^\circ C$			$80^\circ C$	$60^\circ C$	$40^\circ C$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	42	34	12	0	5	83	44	25	4
30	83	61	28	0	10	167	73	41	14
45	125	75	37	7	15	250	87	60	22
60	167	84	48	10					
75	208	91	59	13					
90	250	95	66	19					
105	292	97	71	18					
120	333	98	78	29					

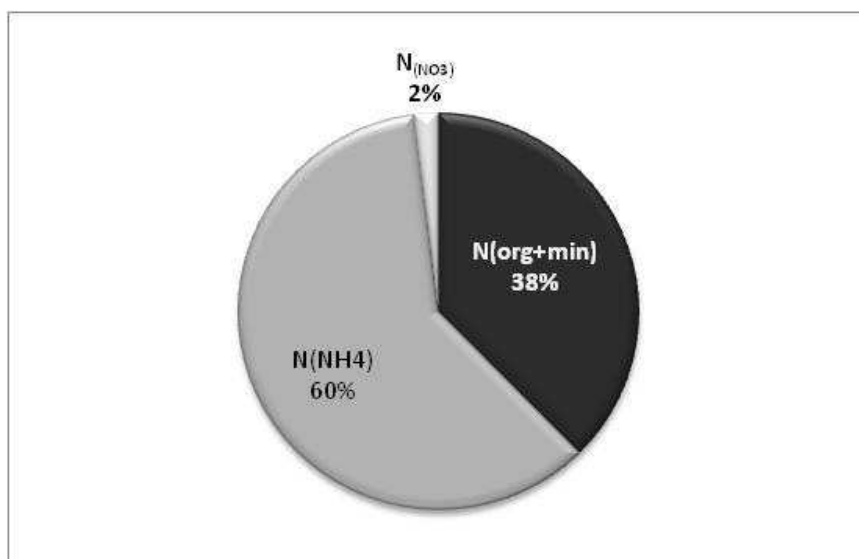


Figura 4 - Ripartizione dell'azoto nelle differenti frazioni nel digestato (Dig.1) tal quale prima delle prove

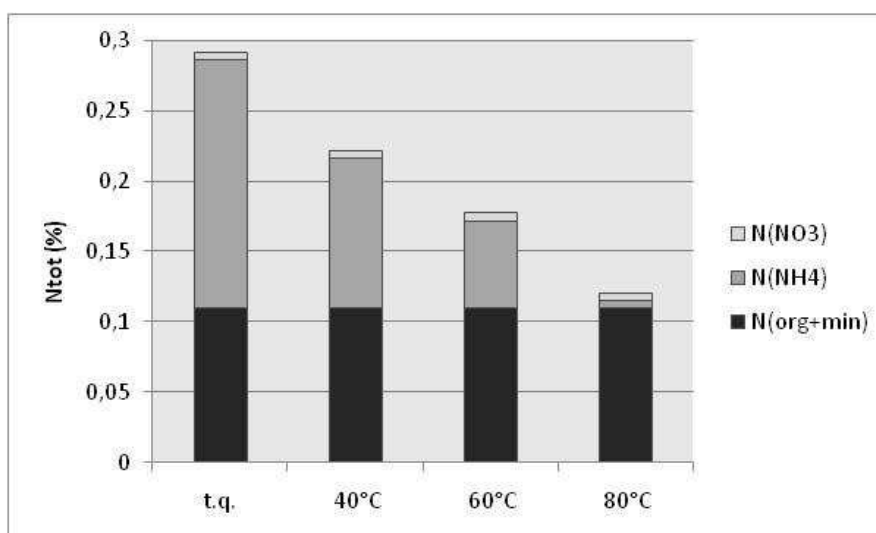


Figura 5 - Variazione dell'azoto totale nel digestato prima (t.q.) e dopo le prove alle temperature impostate, suddiviso nelle diverse frazioni (organica, ammoniacale e nitrosa)

### Recupero dell'ammoniaca

Le prove per il recupero dell'ammoniaca sono state effettuate in sequenza a due test di strippaggio, condotti a temperatura di 80°C e Rv di 250. Come riportato in tabella 3, i test condotti hanno avuto rese di strippaggio pari all'81% e al 91% e, sulla base del calcolo stechiometrico, l'ammoniaca recuperata dal flusso d'aria in uscita dal processo è stata, nel primo e nel secondo caso, rispettivamente pari all'88% e all'85%. La differenza rispetto ad un recupero completo è presumibilmente da imputare al rendimento del dispositivo sperimentale non dimensionato per ottimizzare il recupero del prodotto.

Tabella 3 - risultati delle prove di strippaggio/recupero

	$\eta$	Resa di recupero	Perdita
	(%)	(%)	(%)
1° prova	81	88	29
2° prova	91	85	13



Figura 6 - cristalli di solfato di ammonio

In figura 6 viene mostrato come si presenta il solfato di ammonio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ), cristallino e totalmente esente da impurezze dopo evaporazione in stufa a temperatura controllata.

Strippaggio su altri digestati (Dig2 e Dig3)

Trattando digestati ottenuti con differenti matrici (Dig2 e Dig3), si denotano andamenti simili del processo (fig.7). I dati di tab. 4 mostrano però che i rendimenti ( $\eta$ ) ottenuti con i nuovi digestati sono minori rispetto a quelli caratterizzanti la sperimentazione condotta con il Dig.1, soprattutto nelle fasi iniziali del processo e fino a valori di  $R_v$  di 250. E' inoltre da far notare il diverso contenuto in solidi riscontrato nelle matrici utilizzate, molto basso per il primo digestato ma piuttosto alto negli altri due (dati specifici non mostrati).

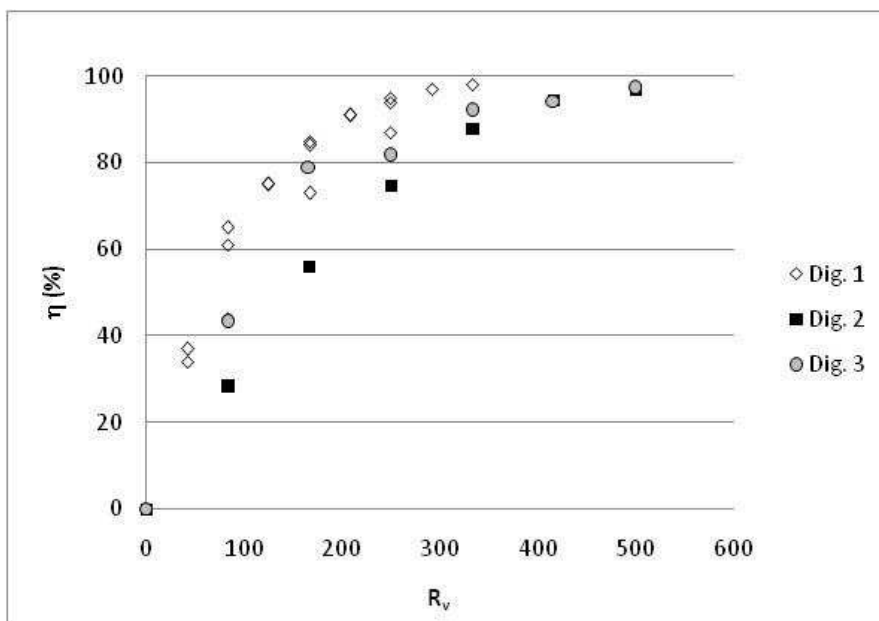


Figura 7 - andamenti delle efficienze di trattamento ( $\eta$ ) in relazione al rapporto ( $R_v$ )  $V_{aria}/V_{liquame}$  alle temperature di 80°C per le tre matrici analizzate

Tabella 5 - confronto delle efficienze di rimozione dei diversi digestati nella prova ad 80°C

Tempo (min)	R <sub>v</sub>	η (%)		
		Dig. 1	Dig. 2	Dig. 3
0	0	0	0	0
10	83	58	29	43
20	167	81	56	79
30	250	92	75	82
40	333	98	88	92
50	417		95	94
60	500		97	97
Contenuto in solidi		basso	alto	alto

#### 4. Conclusioni

I risultati emersi in questo lavoro mettono in evidenza interessanti potenzialità del processo di rimozione dell'azoto da prodotti digestati mediante la tecnica dello strippaggio. Infatti, è possibile rimuovere importanti quantità di azoto ammoniacale in funzione dei parametri di processo. Tra i vari elementi emersi si ritiene utile evidenziare:

- il raggiungimento di rese di strippaggio anche del 90% (anche se con temperature piuttosto alte  $T = 80^{\circ}\text{C}$  e  $R_v = 200-250$ );
- la rimozione di azoto è a carico della sola forma ammoniacale. Pertanto, l'efficacia del metodo è condizionata anche dalla percentuale di azoto ammoniacale presente nel prodotto da trattare;
- la possibilità di recuperare l'ammoniaca strippata come solfato di ammonio  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  cristallino, prodotto stabile ed esente da impurezze.
- la velocità di rimozione dell'ammoniaca sembra essere influenzata dalla presenza nelle matrici, di una frazione più o meno alta di solidi, i quali probabilmente, impediscono all'aria di distribuirsi uniformemente e ne rallentano l'azione.

Tali risultati sono stati ottenuti senza alcuna aggiunta di composti chimici per modificare il pH del digestato. Ipotizzando di estendere le prestazioni ottenute con il dispositivo sperimentale, su un dispositivo in scala reale, si stima di favorire la riduzione delle superfici di spandimento del prodotto fino al 60-70% rispetto a quelle necessarie per un prodotto non trattato (valutazione indicativa riferita ad un prodotto di caratteristiche medie).

E' evidente che il sistema studiato richiede grande disponibilità di energia termica. Sarà quindi necessario verificare la possibilità di disporre di energia termica a basso costo, come quella generata da impianti di produzione di biogas.

#### Bibliografia

- [1] Piccinini S, Fabbri C, Bonazzi G, "Supplemento suinicoltura" **2007**, 11, 2-11
- [2] Bonmatí, A., Flotats, X., Mateu, L, and Campos, E. Wat. Sci. Tech., **2001**,44 (4), 109-116
- [3] Nuvoli S., Calistri L., Masoni A., "L'applicazione della direttiva nitrati in Toscana", ARSIA- Regione Toscana, **2007**.
- [4] Malpei F, Canziani R, Ficara E, DIIAR Sezione ambientale-Politecnico di Milano. "Rimozione dell'azoto dal digestato. Tecnologie convenzionali ed avanzate". Gennaio 2008. Consultato il 20/11/2009
- [5] Riva G., Panvini A., Foppa Pedretti E., Toscano G., Corinaldesi F., Regione Lombardia "Quaderni della ricerca", **2009**, 102
- [6] Piccinini S, Fabbri C, Sassi D., Supplemento suinicoltura **2007**, 11, 24-32
- [7] Moscatelli G., Fabbri C., L'informatore agrario **2008**, 18, 45-50.