

MISURE DELLA PRODUTTIVITA' DI BIOGAS DA DIVERSI SUBSTRATI MEDIANTE UN DIGESTORE ANAEROBICO DA LABORATORIO

Francesco Fantozzi¹, Luca Crisostomi¹, Cinzia Buratti¹

¹CRB – Centro di Ricerca sulle Biomasse – Università Degli Studi di Perugia
Via M. Iorio, 8 – 06128 Perugia – Tel.:+39.075.5004209; Fax: +39.075.5153321

SOMMARIO

L'impiego energetico delle biomasse costituisce una delle azioni da intraprendere per il raggiungimento degli obiettivi del Protocollo di Kyoto. Presso il Laboratorio del Centro di Ricerca sulle Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia, per valutare la produttività in biogas di diversi substrati, è stato costruito, messo a punto e tarato un impianto sperimentale di digestione anaerobica [1, 2], dotato di un sistema di gestione dei parametri di stabilità del processo.

Nel presente lavoro sono illustrati i risultati di prove di digestione anaerobica realizzate mediante l'impianto pilota su differenti substrati: reflui suinicoli, bovini e avicoli. La durata delle prove è stata gestita in base ai tempi di produttività dei substrati. Ogni prova è stata preceduta e seguita da analisi di caratterizzazione della biomassa mediante strumentazioni del Laboratorio del CRB per analisi prossima ed ultima [3, 4]; inoltre, per ogni prova, è stata valutata la produzione quantitativa e qualitativa giornaliera di biogas e la relativa curva cumulata a fine prova. Periodici campionamenti ed analisi del gas hanno consentito di stimare la percentuale di metano presente e il relativo contenuto energetico del biogas.

Le quantità di biogas prodotte sono state normalizzate, consentendo il confronto dei dati sperimentali tra loro.

INTRODUZIONE

Il processo più comune di conversione energetica della biomassa costituita da deiezioni animali è rappresentato dalla digestione anaerobica della sostanza organica, dalla quale si ha produzione di biogas che può essere impiegato come combustibile per alimentare generatori di calore, motori a combustione interna per produrre energia elettrica, o cogeneratori per la produzione combinata di energia elettrica e calore.

La possibilità di ridurre il contenuto di nitrati nella biomassa (direttiva 91/676/CEE), unita alla necessità di mutare l'attuale panorama energetico in cui i combustibili fossili sono ancora oggi la principale fonte energetica dell'umanità, rendono il processo biotecnologico estremamente interessante, sia per il disinquinamento ambientale sia dal punto di vista energetico, facendo sì che i liquami animali entrino a far parte del patrimonio energetico come fonti energetiche alternative.

Il presente lavoro si inserisce in questo contesto e riguarda la realizzazione di prove sperimentali effettuate mediante un digestore anaerobico da laboratorio, realizzato dal Centro Ricerca Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia, e la caratterizzazione chimico-fisica delle biomasse utilizzate e dei reflui digestati prodotti.

In particolare si sono effettuate prove di produttività di biogas sui seguenti substrati:

- a) deiezioni avicole (pollina diluita in acqua);
- b) liquame bovino diluito in acqua;
- c) miscela di pollina e reflui suinicoli derivante da un impianto di digestione situato sul territorio.

Le prove hanno avuto durata diversa, in relazione ai tempi di produzione del biogas dei diversi substrati; si sono valutate la produzione giornaliera di biogas e la relativa curva

cumulata. Inoltre il biogas prodotto è stato periodicamente campionato ed analizzato per valutare la percentuale di metano in esso contenuta, al fine di determinare il contenuto energetico del biogas stesso.

I dati sopra menzionati, insieme alle produttività monitorate, hanno permesso di normalizzare le quantità di biogas prodotte rispetto al contenuto di umidità e di sostanze volatili, in modo da poter confrontare i dati sperimentali relativi ai diversi substrati.

IL DIGESTORE ANAEROBICO PILOTA E LE STRUMENTAZIONI DI ANALISI

Al fine di caratterizzare l'attitudine di diversi substrati nei confronti della produzione di biogas, presso il Laboratorio del Centro di Ricerca sulle Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia è stato progettato, realizzato, messo a punto e tarato un impianto pilota di digestione anaerobica, descritto in precedenti lavori [1, 2].

L'impianto è composto da un reattore anaerobico, da un gasometro per lo stoccaggio e la misura del biogas prodotto e da un sistema di gestione, realizzato mediante strumenti hardware e software (Fig. 1).

Nel digestore anaerobico, di tipo batch completamente miscelato e della capacità di 17 l, attraverso un sistema di tenuta e di termoregolazione si garantiscono le condizioni di anaerobiosi e termiche desiderate per tutta la durata del processo. Sono monitorati in continuo i parametri di processo, ovvero temperatura e pH, e la produzione di biogas istantanea e cumulata, grazie all'apposito gasometro strumentato. Le sonde, nonché l'asta di agitazione, sono affogate nel reattore, garantendo comunque la tenuta.

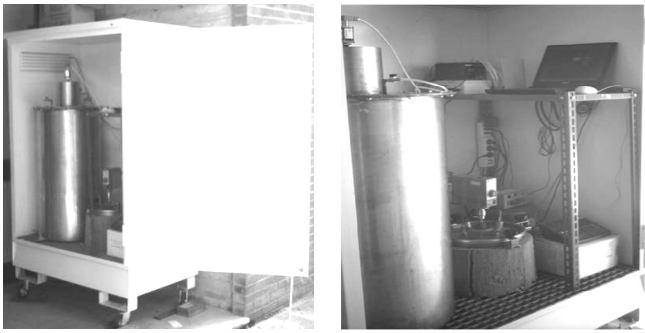


Figura 1: Digestore anaerobico pilota del CRB

Il gasometro, realizzato in bassa pressione, sfrutta un principio di funzionamento di tipo idraulico: lo spostamento di un volume noto di fluido di controllo (acqua addizionata con glicole etilenico) indica la variazione della quantità di biogas prodotto nel digestore, grazie all'inserimento nel corpo del recipiente di un trasduttore di livello magnetostrittivo a risoluzione infinita. I parametri di gestione e controllo del sistema sono acquisiti in forma digitale, mediante un software appositamente realizzato (Figura 2).

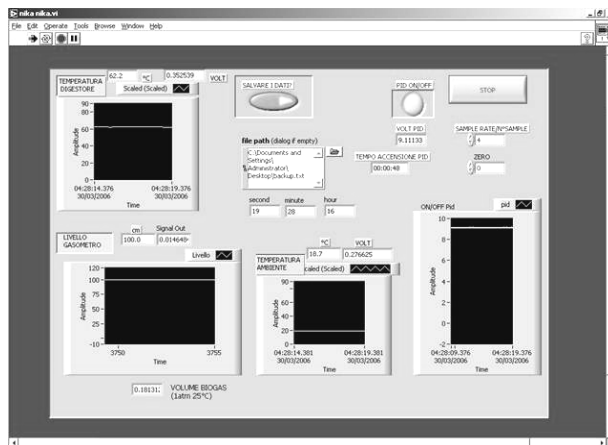


Figura 2: Pannello di controllo e gestione dell'impianto

Il sistema è totalmente alloggiato in un box trasportabile e impermeabile (dimensioni max cm 160x90x210), conforme alla normativa vigente. E' munito di bocchette per favorire il ricircolo d'aria al suo interno, quindi la sicurezza del sistema.

Il biogas prodotto durante la fase di sperimentazione nell'impianto è caratterizzato mediante un analizzatore per biogas in grado di fornire le percentuali in volume di CO₂, CH₄, O₂, H₂S, CO presenti nella miscela.

Prima di dar inizio al processo fermentativo, si procede generalmente alla caratterizzazione del substrato mediante un analizzatore elementare TruSpec-CHN LECO, per la determinazione delle concentrazioni di Carbonio, Idrogeno e Azoto, e mediante un analizzatore termogravimetrico TGA 701 LECO per l'umidità, i solidi volatili, le ceneri ed il carbonio fisso [3, 4].

RISULTATI SPERIMENTALI

Nel presente lavoro sono illustrati i risultati delle prove di digestione anaerobica, con caratterizzazione ed analisi delle produttività di biogas nel tempo, dai seguenti substrati:

- a – deiezioni avicole;
- b – liquame bovino;
- c – reflui suinicoli.

Per ciascuna prova sono state analizzate le caratteristiche chimico-fisiche del substrato mediante le strumentazioni del Laboratorio di Analisi del CRB [3, 4]. E' stata verificata l'attitudine dei suddetti reflui alla produzione di biogas attraverso un'analisi quantitativa e qualitativa, quindi energetica. Si è inoltre valutata l'efficacia del processo biotecnologico anaerobico nella riduzione del carico d'azoto presente nei vari tipi di biomassa, per utilizzare tale processo come mezzo per adempiere alla direttiva nitrati 91/676/CEE.

Prova a: Deiezioni avicole

La prova sulle deiezioni avicole, effettuata in condizioni mesofile (T= 36°C), ha avuto una durata di 30 giorni. In Tabella 1 sono riportati i risultati dell'analisi prossima e ultima sul substrato immesso nel reattore.

Il digestore è stato caricato con 0.8 kg di pollina, 1 kg di digestato e 3.4 kg di acqua e sono state monitorate la produzione di biogas, il pH e la temperatura del reattore. La pollina diluita con acqua presenta un'umidità del 92.73 %.

Dai dati di produzione del biogas sono stati costruiti i grafici di produzione giornaliera (Figura 3) e cumulata (Figura 4), dai quali si evince che la massima produzione di biogas si è avuta tra il 13° e il 25° giorno, e la quantità di biogas totale prodotto è stata pari a $6.28 \times 10^{-2} \text{ Nm}^3$.

Tabella 1: Analisi prossima e ultima: deiezioni avicole

Umidità sul tal quale	52.75 %
Volatili	74.30 % db
Ceneri	24.82 % db
Carbonio fisso	0.88 % db
C	15.39 % wb
H	9.14 % wb
N	2.80 % wb

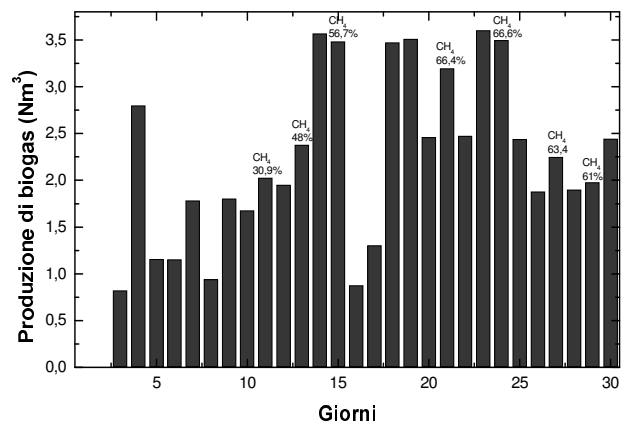


Figura 3: Produzione giornaliera di biogas da deiezioni avicole

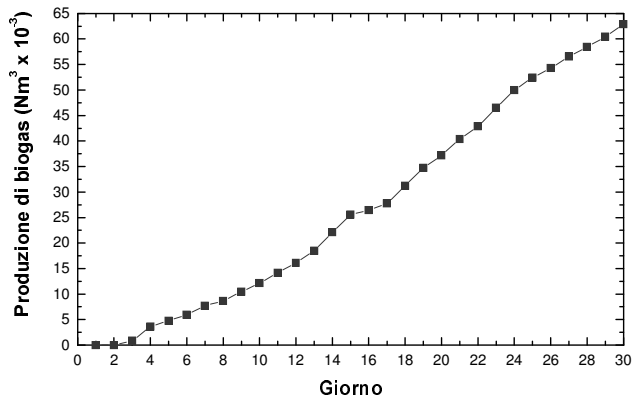


Figura 4: Produzione cumulata di biogas da deiezioni avicole

In Tabella 2 sono riportati i risultati delle analisi dei principali componenti del biogas prodotto. Il metano prodotto ha raggiunto un massimo di oltre il 66 % in volume e le condizioni di anaerobiosi si sono mantenute per tutta la prova (concentrazione di O₂ presente nulla).

L'abbattimento del carico di azoto è stato riscontrato effettuando l'analisi ultima sul digestato al termine della prova (Tabella 3) ed è risultato superiore all'86%.

Tabella 2: Analisi del biogas da deiezioni avicole

specie	giorno							Val.
	11	13	15	21	24	27	29	
CH ₄	30.9	48.0	56.7	66.4	66.6	63.4	61.0	%vol
CO ₂	66.4	48.3	38.8	28.5	27.3	26.5	24.8	%vol
O ₂	0	0	0	0	0	0	0	%vol
BAL	2.7	3.6	4.5	5.1	6.1	10.1	12.2	%vol
H ₂ S	f.r.	f.r.	f.r.	f.r.	f.r.	f.r.	f.r.	ppm
CO	f.r.	f.r.	f.r.	408	383	256	276	ppm

Tabella 3: Analisi ultima del digestato da deiezioni avicole

C	0.68 % wb
H	11.60 % wb
N	0.39 % wb

Prova b: Liquame bovino

Nei 33 giorni della durata della prova sul liquame bovino si sono mantenute le condizioni di anaerobicità a 36°C. In Tabella 4 sono riportati i risultati dell'analisi prossima e ultima del liquame.

Essendo la percentuale di umidità del residuo bovino pari all'84.31%, è stata aggiunta acqua per portare il miscuglio da digerire in condizioni più idonee ad un corretto sviluppo del processo di digestione (umidità totale della miscela oltre il 92%); sono stati perciò inseriti 7.2 kg di acqua, di cui 1 kg costituito da acque reflue di digestato, al fine di innescare più velocemente le reazioni di fermentazione, e 2 kg di biomassa tal quale.

Tabella 4: Analisi prossima e ultima da liquame bovino

Umidità sul tal quale	84.31 %
Volatili	77.05 % db
Ceneri	11.96 % db
Carbonio fisso	10.99 % db
C	6.86 % wb
H	6.78 % wb
N	0.44 % wb

Riportando l'andamento della produzione giornaliera di biogas (Figura 5) si evidenzia che nei primi giorni la produzione è stata nulla, per effetto della bassa concentrazione cellulare di batteri nel mezzo; successivamente, man mano che la popolazione batterica cresce ed insieme ad essa il suo metabolismo, si ha un aumento della quantità di biogas prodotto. Il grafico cumulato (Figura 6), ottenuto dalla somma delle produzioni giornaliere, indica che la produzione di biogas è stata pari a $4.17 \times 10^{-2} \text{ Nm}^3$.

In Tabella 5 sono riportati i risultati delle analisi dei principali componenti del biogas prodotto. Si ha un progressivo aumento della percentuale in volume del metano, fino ad arrivare ad un massimo del 46.5 %.

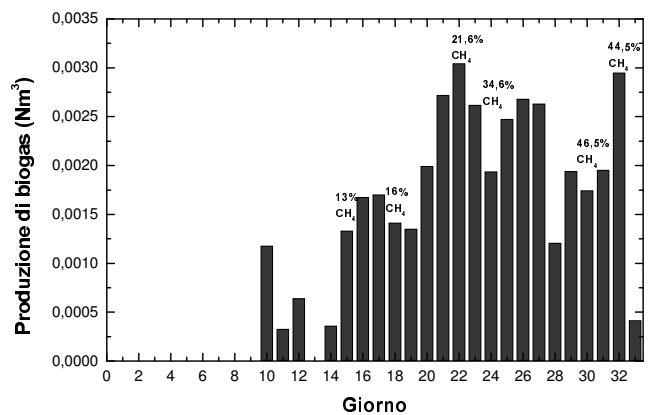


Figura 5: Produzione giornaliera di biogas da liquame bovino

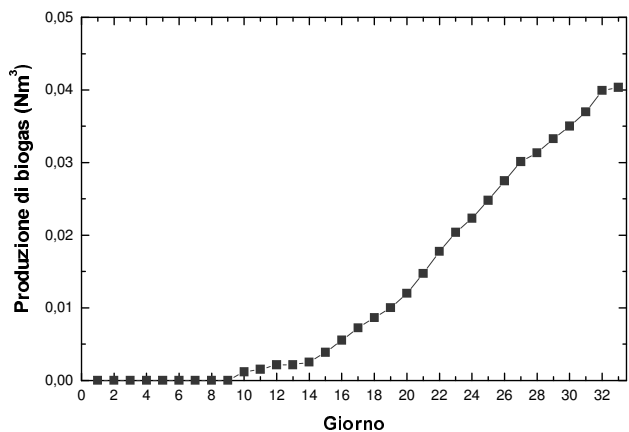


Figura 6: Produzione cumulata di biogas da liquame bovino

Tabella 5: Analisi del biogas da liquame bovino

specie	giorno						Val.
	15	18	22	24	30	32	
CH ₄	15.4	16	21.6	34.6	46.5	44.5	%vol
CO ₂	41.6	39.1	40.6	39.1	24.1	27.8	%vol
O ₂	0	0	0	0	0	0	%vol
BAL	0	45	37.9	26.5	29.4	28.4	%vol
H ₂ S	550	f.r.	f.r.	f.r.	f.r.	20	ppm
CO	f.r.	520	520	512	4	27	ppm

Al termine della digestione si è proceduto all'analisi del digestato, al fine di valutarne le percentuali di azoto e determinare la resa di abbattimento del processo di digestione (Tabella 6). Confrontando i dati con quelli ottenuti dall'analisi della biomassa tal quale (Tabella 4), si nota una riduzione del contenuto di carbonio per la formazione di metano e anidride carbonica, un aumento del contenuto di idrogeno dovuto all'aggiunta di acqua ed un decremento della percentuale di azoto, con un tasso d'abbattimento pari a oltre il 50%.

Tabella 6: Analisi ultima del digestato da liquame bovino

C	2.85 % wb
H	10.33 % wb
N	0.19 % wb

Prova c: Reflui suinicoli

Il miscuglio è costituito circa dall'80% di liquame suinicolo, dal 15% di pollina e dal 5% di sangue di refluo sono riportate in Tabella 7.

Data l'elevata umidità della sostanza non è stata aggiunta acqua, ma solo una piccola quantità di digestato residuo per consentire uno sviluppo più rapido della flora batterica e avviare il processo in tempi più brevi. La prova ha avuto una durata complessiva di 13 giorni, dato il rapido innesco e la repentina produzione.

Nelle Figure 7 e 8 sono riportate le produzioni giornaliere e cumulate di biogas; da notare la scarsa produzione al 13° giorno, sintomo dell'esaurimento del processo.

In Tabella 8 è riportata la composizione del biogas prodotto nella prova. Anche in questo caso la percentuale di metano è aumentata durante la prova, fino a raggiungere un massimo del 45.5%.

Alla fine della prova sono state effettuate l'analisi ultima del digestato, ottenendo i risultati riportati in Tabella 9.

Tabella 7: Analisi prossima e ultima da refluo suino

Umidità sul tal quale	98.53 %
Volatili	61.20 % db
Ceneri	13.63 % db
Carbonio fisso	25.17 % db
C	0.78 % wb
H	11.87 % wb
N	0.75 % wb

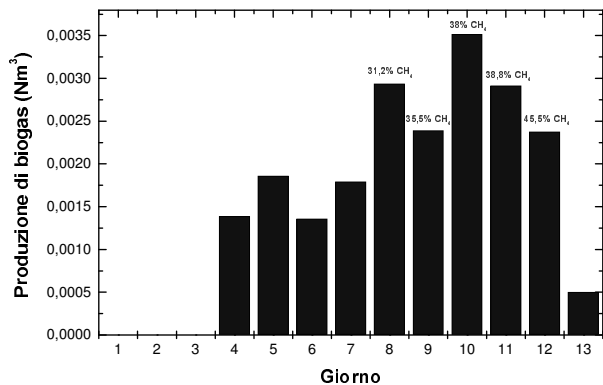


Figura 7: Produzione giornaliera di biogas da reflui suinicoli

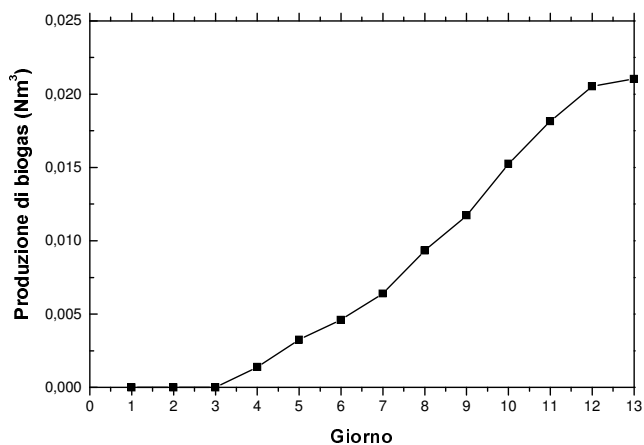


Figura 8: Produzione cumulata di biogas da reflui suinicoli

Tabella 8: Analisi del biogas da reflui suinicoli

specie	giorno					Val.
	8	9	10	11	12	
CH ₄	31.2	35.5	38	38.8	45.5	%vol
CO ₂	22.6	21.8	21.8	20.9	19.7	%vol
O ₂	0	0	0	0	0	%vol
BAL	46.2	42.7	40.4	40.3	19.7	%vol
H ₂ S	f.r.	f.r.	410	f.r.	f.r.	ppm
CO	440	300	f.r.	590	400	ppm

Tabella 9: Analisi ultima digestato: refluo suinicolo

C	0.31 % wb
H	9.73 % wb
N	0.40 % wb

Come nel caso precedente, la riduzione del contenuto di carbonio è legata alla formazione delle specie volatili come anidride carbonica e metano mentre, per quanto riguarda l'azoto, il tasso di riduzione è del 47 % rispetto alla biomassa di partenza.

CONFRONTO TRA I SUBSTRATI

Per confrontare i dati ottenuti con quanto disponibile in Letteratura, è conveniente esprimere la resa di biogas in m^3/t di sostanza organica (Tab. 10).

Per far ciò sono stati rapportati i Nm^3 prodotti al quantitativo di sostanza organica, ovvero la cosiddetta sostanza secca privata delle ceneri (dafm).

Tabella 10: Riepilogo delle rese di biogas dei singoli substrati

Substrato	Resa (Nm^3/t)
a – deiezioni avicole	220
b – liquame bovino	151
c – reflui suinicoli	351

Una volta calcolate le quantità di biogas prodotte durante le prove sperimentali, è stato valutato il contenuto energetico in funzione della percentuale di metano prodotto, come indicato in eq. 1.

$$Nm^3_{CH_4} \times \varphi_{CH_4} \times LHV_{CH_4} = Q \quad (eq. 1)$$

In Tabella 11 sono riportati i contenuti energetici ottenuti dalle tre prove, noti il potere calorifico del metano ($LHV_{CH_4}=50\,000$ kJ/kg), la sua densità ($\varphi_{CH_4} = 0.715$ kg/ m^3) ed il contenuto medio di CH_4 per ognuna delle tre prove.

Tabella 11: Riepilogo del contenuto energetico dei singoli substrati

Substrato	Contenuto energetico (kWh/kg sv)
a – deiezioni avicole	1.21
b – liquame bovino	0.41
c – reflui suinicoli	1.35

Dai dati nelle Tabelle 10 e 11 si evince che la produzione maggiore di biogas si ottiene con i reflui suinicoli, ai quali è anche associato il maggiore contenuto energetico, sebbene le percentuali in volume di metano siano più basse.

CONCLUSIONI

L'impiego delle fonti energetiche rinnovabili, insieme allo sviluppo delle tecnologie di tutela e disinquinamento ambientale, costituiscono temi importanti nella politica energetica europea ed italiana. L'uso di metodologie biotecnologiche per il recupero energetico ed il disinquinamento ambientale in particolare rappresentano una valida soluzione alle problematiche accennate; nello specifico il processo di digestione anaerobica delle biomasse umide assume un ruolo significativo.

In questo contesto si inserisce il presente lavoro, che descrive una sperimentazione effettuata mediante un impianto di digestione anaerobica da laboratorio realizzato presso il Centro di Ricerca sulle Biomasse (CRB) dell'Università di Perugia. Particolare attenzione è stata posta nella possibilità di

produrre energia da materie prime come liquame e letame, essendo presenti nella regione Umbria numerose aziende agricole, singole o riunite in consorzio, in cui sarebbe possibile realizzare impianti di digestione anaerobica. A tal fine, nell'ambito della ricerca di base, sono state effettuate alcune prove sperimentali su diversi substrati di reflui zootecnici, che hanno condotto ad una valutazione quantitativa e qualitativa del biogas prodotto e delle potenzialità del processo nella riduzione del carico di azoto presente nel liquame.

Nel presente lavoro sono illustrati i risultati delle prove di digestione anaerobica di substrati costituiti da deiezioni avicole, liquame bovino, reflui suinicoli.

Dai risultati si evince la particolare produttività del refluo suinicolo, che denota una resa in metano superiore di oltre il 37% rispetto alla resa delle deiezioni avicole e del 57% rispetto a quella del liquame bovino.

L'altro dato interessante emergente dalle prove è quello relativo al notevole tasso di riduzione del carico di azoto nei substrati oggetto di sperimentazione. In particolare, il tasso di abbattimento dell'azoto risulta essere del 47% nella miscela a predominanza suinicola, di oltre il 50% nel liquame bovino ed addirittura dell'86% nelle deiezioni avicole. Considerando quanto riportato nella direttiva nitrati 91/676/CEE a tutela delle falde freatiche, risulta evidente come il processo biochimico di digestione anaerobica possa essere considerato una tecnica adeguata per l'abbattimento del carico di azoto nei reflui zootecnici.

SIMBOLOGIA

CRB	Centro di Ricerca sulle Biomasse;
db	dry bases;
wb	wet Bases;
Val.	valore;
BAL	sommatoria dei gas non riconosciuti;
f.r.	valore fuori range di lettura strumento;
dafm	dry and ash free matter;
Q	contenuto energetico del biogas;
φ	densità;
LHV	Low Heat Value (Potere Calorifico Inferiore);
SV	Solidi Volatili.

RINGRAZIAMENTI

Per il contributo nell'attività sperimentale si ringraziano l'ing. Domenica Di Matteo, il Dott. Ciro Morlino, la Dott.ssa Valentina Pistolesi e il Dott. Leonardo Piccioni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. C. Buratti, I. Costarelli, F. Fantozzi: *Laboratory scale anaerobic digestion at the Italian Biomass Research Centre*, 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Parigi, 17-21 ottobre 2005.
2. G. Bidini, F. Cotana, C. Buratti, F. Fantozzi, I. Costarelli: *Digestore anaerobico da laboratorio del Centro di Ricerca sulle Biomasse*, 61° Congresso Nazionale ATI. Perugia, 12-15 settembre 2006.
3. C. Buratti - I. Costarelli - F. Cotana - L. Crisostomi - F. Fantozzi: *The Biomass Research Centre Laboratory for*

- Biomass Characterization*, 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Parigi, 17-21 ottobre 2005.
4. F. Cotana, G. Bidini, F. Fantozzi, C. Buratti, I. Costarelli, L. Crisostomi: *Il laboratorio per la caratterizzazione energetica delle biomasse del Centro di Ricerca sulle Biomasse*, 61° Congresso Nazionale ATI. Perugia, 12-15 settembre 2006.
 5. D. P. Chynoweth, John M. Owens, Robert Legrand, *Renewable methane from anaerobic digestion of biomass*, Renewable Energy 22.
 6. A. Keshtkar, B. Meyssami, G. Abolhamd, H. Ghaforian, M. Khalagi Asadi, *Mathematical modeling of non-ideal mixing continuous flow reactors for anaerobic digestion of cattle manure*, Bioresource Technology 87.
 7. A. Husain, *Mathematical models of the kinetics of anaerobic digestion - A select review*, Biomass and Bioenergy 14.
 8. V.Nallathambi Gunaseelan, *Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review*, Biomass and Bioenergy 13.
 9. G. Bujoczek, J. Oleskiewicz, R. Sparling, S. Cenkowski, *High Solid Anaerobic Digestion of Chicken Manure*, 2000 Elsevir Science.
 10. V.A. Vavilin, L. Ya. Lokshina, J.P.Y. Jokela, J.A. Rintala, *Modeling solid waste decomposition*, Bioresource Technology, 94 (2004) 69-81.
 11. F.J.Callaghan, D.A.J. Wase, K.Thayanithy, C.F.Forster, *Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure*, 2002 Elsevir Science.
 12. ANPA Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente, *Il trattamento anaerobico dei rifiuti aspetti progettuali e gestionali*, ONR osservatorio nazionale sui rifiuti.
 13. B. Lagrange, *Il biogas*, Longanesi Editore, 1981.
 14. *Digestione anaerobica*, CITECF.
 15. V. G. Bonaffi, M.Pacini, *Biogas energia alternativa, cosa è e come si può produrre a piccola scala*, Fazzi Editore, 1983.

SUMMARY

The energetic utilisation of biomass is one of the actions for the purposes established by Kyoto Protocol. In the Laboratory of the Biomass Research Centre (CRB, University of Perugia), in order to measure the biogas production from various substrates, it was realized an anaerobic digestion pilot plant [1, 2], equipped with a data acquisition system, that is used to measure the stability parameters of the biochemical process. In the present paper the experimental results on the following slurries are described: chicken, swine, and bovine manures. Each test was preceded and followed by analyses for biomass characterization, carried out in the CRB's Laboratory [3, 4]. Through trials of different duration, in relation to the productivity of various substrates, it was estimated daily biogas production and the relative cumulative curve; periodic samplings and analyses of the biogas allowed to estimate the percentage of methane and, therefore, the energetic content. The produced quantities of biogas were standardized both to relative humidity content and to relative volatile substance, allowing the comparison of experimental results of the different substrates.