

L'INFORMATORE AGRARIO

www.informatoreagrario.it



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.p.A. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.

• ATTIVITA DI RICERCA DELL'ERSAF

Biogas, gestione operativa delle prime fasi di digestione

Il lavoro svolto ha permesso di evidenziare che l'informazione che le variabili impiantistiche possono dare non sono sufficienti a monitorare nel migliore dei modi il processo di digestione anaerobica. Il FOS/TAC è il parametro che meglio può permettere di «discriminare» le fasi di instaurazione e stabilizzazione del processo fermentativo

DAL LABORATORIO
ALLA PRATICA

Cos'è il FOS/TAC

Il FOS/TAC è il rapporto tra la concentrazione acida del campione, determinata dagli acidi organici volatili (FOS) ed espressa in mg/L di acido acetico (CH_3COOH), e la capacità di tamponamento alcalina (TAC), espressa in mg/L di carbonato di calcio (CaCO_3). •

di P. Navarotto, F. Araldi,
M. Marchesi, B. Bertazzoni,
M. Zagni, M. Brambilla

A livello europeo (Eurobserv'ER, 2007), sotto la spinta della cogenerazione di calore ed energia elettrica fatta in impianti di produzione delocalizzati, la produzione di energia elettrica rinnovabile, già fra il 2005 e il 2006, ha registrato un incremento del 28,9% per un totale di 17,3 TWh e un'ulteriore crescita del 20,5% fra il 2006 e il 2007 a seguito del ricorso all'impiego di colture «energetiche» (Eurobserv'ER, 2008). Fra i Paesi membri il ruolo di leader è giocato da Regno Unito e Germania.

L'interesse della filiera agroenergetica, che prevede la produzione di biogas tramite la fermentazione anaerobica di biomasse agrozootecniche, deriva sia dall'opportunità di fornire un'integrazione di reddito all'azienda agricola (e svolgere un ruolo economico e sociale significativo, con produzione di risorse energetiche a favore della collettività), sia dal fatto di contribuire ad attenuare, sino a risolvere, le pesanti problematiche di impatto ambientale connesse alla concentrazione degli allevamenti zootecnici: la cofermentazione degli effluenti di allevamento con le biomasse vegetali assicura, infatti, l'ottimizzazione dell'efficienza del processo.

Il biogas prodotto dagli impianti agricoli integrati può assumere un ruolo importante tra le varie fonti di bioenergia: il calore derivante dalla sua combustione è infatti utilizzabile per il riscaldamento e l'essiccazione (serre, silos per cereali, riscaldamento di ricoveri suinicoli), mentre l'energia elettrica può essere reimpiegata in azienda oppure ceduta al gestore della rete elettrica.

Inoltre la digestione anaerobica delle biomasse incide positivamente sulla riduzione dell'impatto ambientale dell'attività zootecnica grazie:

- alla stabilizzazione degli effluenti zootecnici con drastica riduzione della potenziale emissività di gas serra e odori sia durante lo stoccaggio sia in fase di utilizzazione agronomica (Clemens *et al.*, 2006; Monteny *et al.*, 2006; Loughrin *et al.*, 2006; Schiffman e Williams, 2005);
- all'abbattimento della carica microbica dei liquami (Albinh *et al.*, 2007; Heino-Tanski, 2006; Sahlstrom, 2003; Coté *et al.*, 2006; Juteau, 2006);
- alla riduzione dei solidi presenti negli effluenti zootecnici con conseguente fluidificazione e più facile omogeneizzazione degli stessi, rendendone possibile un'efficace utilizzazione agronomica. Le caratteristiche fertilizzanti e ammendanti sono altresì valorizzate dalla riduzione del rapporto C/N e dalla presenza dell'azoto in forma immediatamente disponibile per le colture (Loria *et al.*, 2007; Massé *et al.*, 2007);
- alla produzione di energia da fonti rin-



Foto 1 - Due digestori da 5 m³ a campana gasometrica da 1 m³ per l'accumulo del biogas

NUOVE POSSIBILITÀ

Il progetto Probitec

TABELLA 1 - Quantità di liquame caricato e carico di solidi totali (s.t.) e volatili (s.v.) nelle 6 settimane

Settimana	Parametro	Diges.t.ore 1		Diges.t.ore 2	
		media	dev. s.t.	media	dev. s.t.
1	L caricati/giorno	365,68	18,20	217,39	64,13
	s.t. (kg/giorno)	19,74	0,98	12,48	4,14
	s.v. (kg/giorno)	14,26	0,71	9,28	3,34
	Temp. (°C)	41,29	0,13	45,90	0,14
2	L caricati/giorno	302,60	15,14	257,28	37,90
	s.t. (kg/giorno)	18,95	0,83	16,16	2,81
	s.v. (kg/giorno)	14,17	0,85	12,10	2,22
	Temp. (°C)	39,24	0,92	42,16	1,14
3	L caricati/giorno	258,70	126,92	308,83	8,04
	s.t. (kg/giorno)	17,45	1,61	17,24	1,39
	s.v. (kg/giorno)	12,98	1,31	12,81	1,13
	Temp. (°C)	42,62	0,48	44,90	0,24
4	L caricati/giorno	302,40	3,70	281,99	38,57
	s.t. (kg/giorno)	15,53	0,73	14,43	1,75
	s.v. (kg/giorno)	11,29	0,70	10,49	1,23
	Temp. (°C)	43,29	1,24	45,46	1,42
5	L caricati/giorno	297,91	13,03	297,18	6,48
	s.t. (kg/giorno)	14,90	0,65	14,86	0,32
	s.v. (kg/giorno)	10,73	0,47	10,70	0,23
	Temp. (°C)	43,16	1,39	44,97	1,67
6	L caricati/giorno	300,41	14,56	293,34	25,37
	s.t. (kg/giorno)	15,02	0,73	14,67	1,27
	s.v. (kg/giorno)	10,81	0,52	10,56	0,91
	Temp. (°C)	40,78	1,59	41,94	1,86

Il progetto (Produzione di biogas da biomasse vegetali e reflui zootecnici: ottimizzazione del processo e innovazione tecnologica), finanziato dalla Regione Lombardia (D.G. Agricoltura) nell'ambito del programma annuale 2007 (dgr 28/02/2007 n. 4198), cui partecipano i due dipartimenti Vsa e Distam dell'Università di Milano coordinati dall'Ersaf, è stato ideato per contribuire ad affrontare il problema della crisi energetica e le difficoltà in cui versa l'agricoltura nella Comunità europea.

Nel concreto il progetto intende identificare, valorizzare e divulgare nuove possibilità (con particolare riferimento alla situazione dell'agricoltura della Pianura Padana) che consentano di migliorare l'applicazione dei «pacchetti tecnologici» che l'industria tedesca propone ai nostri operatori poiché tali soluzioni, sebbene di grande interesse, debbono essere necessariamente adeguate alla nostra realtà produttiva.

Numerose sono in effetti le difficoltà

operative che man mano si evidenziano negli impianti già in funzione, che appaiono riconducibili alla nostra specificità (tipologia delle biomasse, stadi di maturazione, temperature, ecc.). Per superare tale situazione di incertezza è indispensabile poter valutare correttamente le implicazioni produttive delle varie biomasse agricole disponibili sul territorio per individuarne le combinazioni più convenienti alla produzione di bioenergia e approfondire in maniera mirata le conoscenze del processo di digestione anaerobica delle biomasse sia dal punto di vista impiantistico sia microbiologico per fornire agli imprenditori agricoli strumenti di gestione dell'impianto che siano specifici e affidabili.

Per questo sono stati realizzati un impianto pilota e una specifica attrezzatura dotata di minidigestori con cui confrontare, operando secondo procedimenti standardizzati, i vari prodotti da confermare per valutarne rese, sinergie ed eventuali controindicazioni.

novabili che, grazie agli incentivi, consente di eseguire i trattamenti per la riduzione del carico azotato dell'allevamento a costi sostenibili (Marti *et al.*, 2007; Uludag-Demirer *et al.*, 2008; Waki *et al.*, 2007).

Se a tutti questi aspetti positivi si aggiungono gli attesi profitti assicurati dalle incentivazioni previste per l'energia prodotta, si capisce il notevole interesse che sta riscuotendo tale alternativa produttiva. Nella sola regione Lombardia sono già funzionanti circa una trentina di impianti, ne sono in costruzione un'altra cinquantina con potenze elettriche comprese tra 300 e 1.000 kW e per alcune decine sono in itinere le richieste di autorizzazione.

Impianto pilota

L'impianto pilota per la produzione di biogas, installato presso l'Azienda agroforestale «Carpaneta» (Bigarello, Mantova), di proprietà della Regione Lombardia e concessa in uso all'Ersaf, è costituito da due digestori del volume di 5 m³, dotati ciascuno di un sistema di miscelazione in grado di funzionare sia in parallelo che in serie, in modo da garantire la massima flessibilità di utilizzo, e da una campana gasometrica del volume di 1 m³ per l'accumulo del biogas (foto 1).

Per l'alimentazione dei digestori sono disponibili due serbatoi di 0,7 m³ di capacità collegabili alternativamente alla pompa di alimentazione, all'interno dei quali avviene la preparazione dell'ingestato (foto 2), mentre la raccolta di quest'ultimo è fatta in due vasche distinte, una per ciascun digestore (foto 3). Il ri-

scaldamento dei due digestori è garantito da una caldaia a gpl della potenza di 20.000 kcal/ora.

L'impianto, totalmente automatizzato e in grado di funzionare in continuo, è dotato di una strumentazione che permette di monitorare ciascuna fase del processo fermentativo (portata di alimentazione, livello del digestato all'interno del fermentatore, temperatura di fermentazione, quantità di biogas prodotto) e di avere indicazioni sui parametri quali-quantitativi del biogas prodotto.

Per il controllo della qualità del biogas, intesa come contenuto di anidride carbonica, metano e ossigeno, si è utilizzato uno strumento portatile (l'analizzatore «Lfg20» prodotto dalla ditta «Adc»), che si avvale di una cella elettrochimica a lunga durata per la misura dell'ossigeno e di una cella a dispersione all'infrarosso per l'anidride carbonica e il metano.

Il monitoraggio del processo fermentativo è stato condotto avvalendosi sia di test in cuvetta per la determinazione del Cod (domanda chimica di ossigeno), dei nitrati e dell'azoto totale, sia di sonde per il monitoraggio in continuo delle caratteristiche chimico-fisiche dei substrati (pH, potenziale redox, solidi sospesi), e anche utilizzando un titolatore automatico (Hac ÷

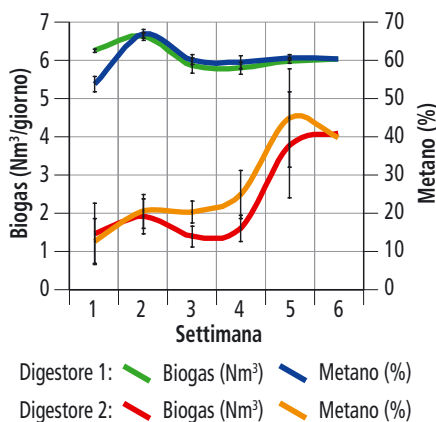
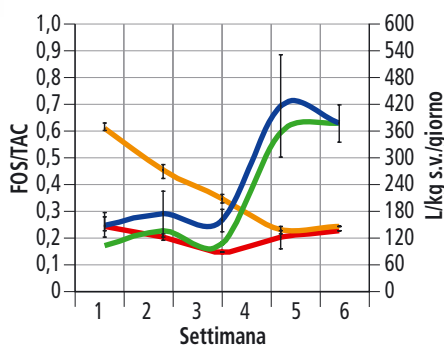


GRAFICO 1 - Produzione media di biogas e media di CH₄ (%) nel biogas prodotto

In entrambi i digestori si assiste a un importante e statisticamente significativo incremento della produzione giornaliera di biogas.



Digestore 1: — FOS/TAC — L/kg s.v./giorno
 Digestore 2: — FOS/TAC — L/kg s.v./giorno

s.v. = solidi volatili.

GRAFICO 2 - Andamento della produzione specifica di biogas e FOS/TAC durante la simulazione di start up

Il significativo incremento della produzione di biogas è legato a FOS/TAC, che si assesta su valori fra 0,2 e 0,3.

Lange Tim 840) per la definizione dell'indice FOS/TAC derivante dalla determinazione volumetrica degli acidi organici e della capacità tampone (mg/L di CaCO_3) del substrato in fermentazione.

Incremento significativo di biogas

Mettere meglio a fuoco quanto avviene durante la fase di *start up* dei digestori è stato il primo step di lavoro. L'impianto pilota è stato dunque alimentato con il solo liquame bovino (solidi totali $5,5 \pm 0,6\%$, solidi volatili pari a $74 \pm 2\%$ dei solidi totali), ponendo il tempo di ritenzione idraulica di ciascun digestore pari a

20 giorni e impostando la temperatura di esercizio dell'impianto in condizioni di mesofilia ($38-40^\circ\text{C}$). Una volta completato il riempimento dei digestori con il refluo bovino è iniziato il monitoraggio della fase di *start up*, che ha avuto la durata di 6 settimane per un totale di 42 giorni di osservazione. In *tabella 1* si riportano le quantità di liquame «caricate» (media giornaliera della settimana) unitamente alle quantità di solidi totali e volatili e alla temperatura di fermentazione.

Nel *grafico 1* sono riportate le produzioni medie di biogas ottenute da ciascun digestore espresse in normal metri cubi al giorno ($\text{Nm}^3/\text{giorno}$) insieme alla percentuale di metano contenuta nel biogas nel periodo di monitoraggio. In entrambi i digestori si assiste a un'importante e statisticamente significativo incremento della produzione giornaliera di biogas che da un livello iniziale di $1-2 \text{ Nm}^3/\text{giorno}$ passa a $4-4,5 \text{ Nm}^3/\text{giorno}$ a partire dalla quinta settimana di funzionamento. A quest'incremento sostanziale della quantità di biogas prodotto corrisponde un proporzionale incremento della quantità di metano che, pur non mostrando significative oscillazioni, proprio a partire dalla quinta settimana di produzione si assesta intorno al 60% del volume di biogas in entrambi i digestori.

Nel *grafico 2* si riportano le produzioni specifiche insieme all'andamento del FOS/TAC: risulta bene evidente come il significativo incremento della produzione specifica di biogas sia legato all'indice FOS/TAC che, in corrispondenza della massima

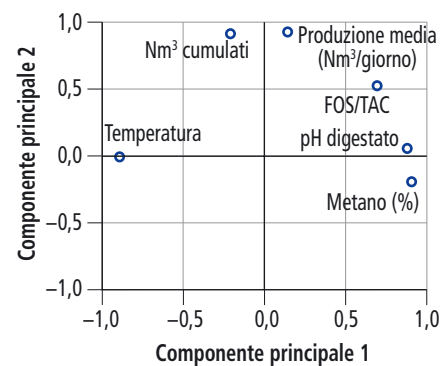


GRAFICO 3 - Proiezione delle variabili considerate per il digestore 1

Sulla prima componente (il 50% della variabilità totale) si proiettano temperatura, pH, metano e FOS/TAC; le variabili di produzione hanno maggiore influenza nella componente 2, cui è associato il 33,6% della variabilità.

produzione registrata ($360-420 \text{ L/kg}$ di solidi volatili al giorno), si assesta su valori compresi fra 0,2 e 0,3.

Per aumentare il livello di conoscenza ottenibile dalle variabili considerate e, sulla base di esse, riuscire a discriminare maggiori differenze nella fase di *start up* dei digestori, i dati ottenuti sono stati elaborati mediante analisi delle componenti principali. Nel *grafico 3* è rappresentata la proiezione delle variabili temperatura, produzione media giornaliera (Nm^3), produzione media cumulata (Nm^3 cumulati), FOS/TAC, pH digestato, % metano (CH_4) misurate nel solo digestore 1 sulle due componenti principali. Sulla

La digestione anaerobica delle biomasse incide positivamente sulla riduzione dell'impatto ambientale dell'attività zootecnica



Foto 2 - Serbatoi da $0,7 \text{ m}^3$ collegabili alternativamente all'interno dei quali avviene la preparazione dell'ingestato

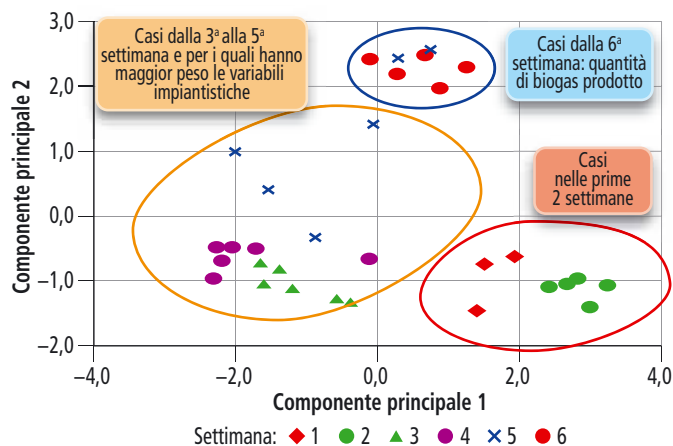


GRAFICO 4 - Proiezione dei campioni utilizzati dalle due componenti principali (componente 1 50%, componente 2 33,6%)



Particolare di una delle due vasche di raccolta dei digestati installati presso l'Azienda agroforestale Carpaneta di Bigarello (Mantova)

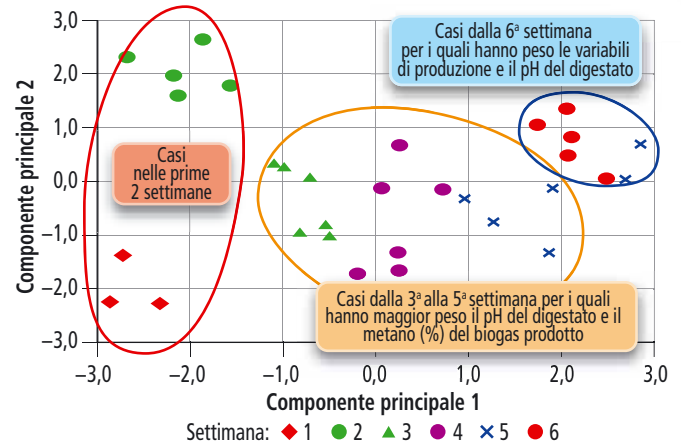


GRAFICO 6 - Proiezione dei campioni utilizzati dalle due componenti principali (componente 1 54%, componente 2 28%)

prima componente (che spiega il 50% della variabilità totale) si proiettano, sebbene in direzioni differenti, le variabili temperatura, pH del digestato, CH_4 (%); diversamente le variabili di produzione (media giornaliera e cumulata) hanno una maggiore influenza sulla seconda componente principale, cui è associato il 33,6% della variabilità rilevata (la posizione della variabile FOS/TAC indica che essa influisce «positivamente» sia sulla prima sia sulla seconda componente principale).

Nello «score plot» rappresentato in *grafico 4* è possibile vedere come, relativamente al digestore 1, sia possibile individuare tre distinte situazioni: la prima, in cui le variabili con peso maggiore sono FOS/TAC, pH del digestato e % di metano (CH_4), che comprende i casi rilevati nelle prime due settimane di attività del digestore (ellisse rossa), la seconda (ellisse gialla) che annovera i casi rilevati dalla terza alla quinta settimana di attività del digestore e per i quali assumono un peso maggiore le variabili più squisitamente impiantistiche (temperatura di esercizio e produzione media giornaliera e cumulata) e infine una terza fase (ellisse blu) in cui è possibile individuare i monitoraggi della sesta settimana di esercizio e che è caratterizzata prevalentemente dalla quantità di biogas prodotto.

Lo stesso tipo di analisi, condotto sul digestore 2 (*grafico 5 e 6*), ha mostrato che anche per esso è possibile individuare tre distinte situazioni: la prima, in cui le variabili con peso maggiore sono FOS/TAC, temperatura e produzione di metano e che comprende i casi rilevati nelle prime due settimane di attività del digestore (ellisse rossa); la seconda (ellisse gialla), che annovera i casi rilevati dalla terza alla quinta settimana di attività del digestore, per i quali assumono un peso maggiore la percentuale di metano nel biogas prodotto e

il pH del digestato e, infine, una terza fase nella quale sono annoverati i casi registrati prevalentemente nella sesta settimana di monitoraggio e per i quali le variabili di produzione (produzione media giornaliera e cumulata) insieme al pH del digestato assumono una maggiore importanza (ellisse blu).

A seguito delle informazioni ottenute si è voluto valutare più a fondo il legame fra le variabili conducendo un'analisi discriminante con il triplice obiettivo di:

- porre le basi per poter successivamente classificare nuovi casi nei gruppi preesistenti utilizzando le informazioni derivabili dall'analisi stessa;
- individuare la combinazione lineare di variabili misurate che possa fornire la migliore discriminazione possibile fra i gruppi considerati;
- incominciare a sviluppare una procedura che possa permettere di verificare l'appartenenza di gruppo per soggetti diversi da quelli sui quali sono state individuate le funzioni discriminanti di classificazione.

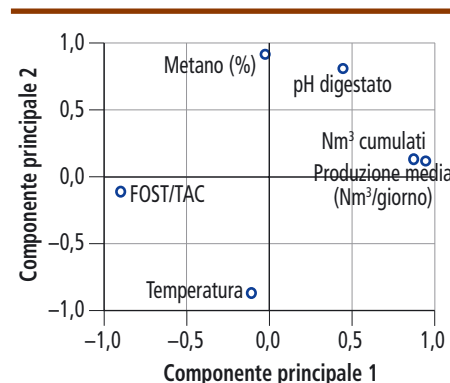


GRAFICO 5 - Proiezione delle variabili considerate per il digestore 2 nel piano identificato dalle prime due componenti principali

Conclusioni

Il lavoro svolto ha permesso di evidenziare che, soprattutto nella fase di *start-up* di un digestore, le informazioni date dalle variabili impiantistiche sono sì molto importanti ma, se considerate da sole, esse non sono tuttavia sufficienti a controllare nel migliore dei modi possibili il processo di digestione anaerobica.

Fra tutte, l'analisi multivariata ha mostrato che è il FOS/TAC il parametro che meglio permette di «discriminare» le fasi di instaurazione e stabilizzazione del processo fermentativo. Pertanto, nella pratica operativa sarà molto importante in fase di *start-up* evitare sovraccarichi (regolando con particolare cura le operazioni di somministrazione della biomassa) ed effettuare un adeguato rimescolamento del digestato per assicurare condizioni realmente omogenee all'interno del fermentatore.

Poiché i modelli statistici creati mostrano ancora delle «non perfezioni», sarà dunque indispensabile implementare i risultati acquisiti con l'analisi dei dati che, al momento, sono ancora in fase di acquisizione.

Pierluigi Navarotto, Massimo Brambilla

Dipartimento Vsa - Università di Milano

Fabio Araldi, Mario Marchesi

Barbara Bertazzoni, Matteo Zagni

Ersaf - Ente regionale per i servizi all'agricoltura e alle foreste della Regione Lombardia, Mantova
massimo.brambilla@unimi.it

Gli autori desiderano ringraziare la ditta Hac-Lange Italia per la collaborazione e l'interesse mostrati nel progetto, che hanno permesso di implementare significativamente la qualità e l'affidabilità dei dati raccolti

Per consultare la bibliografia:
www.informatoreagrario.it/rdLia/09ia17_4231_web

Biogas, gestione operativa delle prime fasi di digestione

BIBLIOGRAFIA

- Albihn A., Vinnerås B. (2007) - *Livestock Science*, doi:10.1016/j.livsci.2007.09.015
- Clemens J., Trimborn M., Weiland P., Amon B. (2006) - *Agriculture ecosystems and environment*, 112: 171-177.
- Coté et al. (2006) - *Livestock Science*, 102, (3): 204-210.
- Euroserv'ER - Biogas barometer, (2007) - http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro179_a.pdf
- Euroserv'ER - Biogas Barometer (2008) - http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/observ/baro186_a.pdf
- Heinonen-Tanski (2006) - *Livestock Science*, 102 (3): 248-255.
- Juteau P. (2006) - *Livestock Science*, 102 (3): 187-196.
- Loria E. R., Sawyer J. E., Barker D. W., Lundwall J. P., Lorimor J. C. (2007) - *Agronomy Journal*, 99: 1119-1129.
- Loughrin J. H., Szogi A. A., Vanotti M. B. (2006) - *Journal of Environmental Quality*, 35: 194-199.
- Marti N., Bouzas A., Seco A., Ferrer J. (2007) - *Chemical Engineering Journal* (2007), doi: 10.1016/j.cej.2007.10.23
- Massé D. I., Croteau F., Masse L. (2007) - *Bioresource Technology*, 98: 2819-2823.
- Mipaaf - Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali (2006) - *Decreto ministeriale 7 aprile 2006: GU n. 109 del 12-5-2006 - Suppl. Ordinario n. 120.*
- Monteny G., Bannink A., Chadwick D. (2006) - *Agriculture Ecosystems and Environment*, 112: 163-170.
- Sahlstrom (2003) - *Bioresource Technology*, 87, (2): 161-166.
- Schiffman S. S., Williams C. M. (2005) - *Journal of Environmental Quality*, 34: 129-138.
- Uludag-Demirer S., Demirer G. N., Frear C., Chen S. (2008) - *Journal of Environmental Management*, 86: 193-200.
- Waki M., Yokoyama H., Ogino A., Suzuki K, Tanaka Y. (2007) - *Bioresource Technology* (2007). doi: 10.1016/j.biotech.2007.11.026.