

## EFFICIENTAMENTO DEI SISTEMI DI DIGESTIONE ANAEROBICA

*S. Ragone<sup>1</sup>, R. Capobianco<sup>2</sup>, P. Picuno<sup>2</sup>*

*Geovis S.r.l. C/O Tecnopolis S.c.a R.l., Parco Scientifico e Tecnologico della Regione Puglia*

*Dipartimento Tecnico-Economico per la Gestione del Territorio Agricolo-Forestale – DITEC – Università degli Studi della Basilicata*

**Riassunto.** Obiettivo generale della ricerca è la realizzazione di un reattore anaerobico sperimentale che, al fine di incrementare il livello termico complessivo, verrà realizzato all'interno di una serra dotata di un impianto di recupero del calore attraverso scambiatori che permettano il controllo delle temperature interne. Il circuito sarà realizzato col fine di conseguire una accelerazione dei processi di idrolisi e acidogenesi, di acetogenesi e di metanogenesi a carico della frazione liquida del rifiuto organico proveniente dalla raccolta differenziata dei rifiuti urbani di piccole e grandi utenze. Il recupero di calore sarà favorito anche dalla combustione del biogas e dalla sezione di compostaggio.

Nella prima fase della ricerca, sono stati simulati gli andamenti dei processi di digestione anaerobica, che vengono qui presentati. Le simulazioni condotte hanno permesso di evidenziare una maggiore efficienza del processo di digestione condotto a 48°C. L'efficienza è stata determinata in ordine agli aspetti quantitativi della produzione del biogas.

Sulla base di tali risultati preliminare si potrà quindi procedere con la realizzazione dell'impianto pilota, provvisto anche di una sezione per il compostaggio della matrice pre-lavorata e digestata, con il quale si potrà monitorare la produzione e la qualità del biogas in presenza di condizionamenti appositamente predisposti in un ambiente termofilo.

**Parole chiave:** digestione anaerobica, biogas, metanogenesi

**Summary.** General aim of the research is the realization of an experimental anaerobic reactor that, in order to increase the global thermal level, will be installed inside a greenhouse provided with an heating system recovering the heat through exchangers that allow the control of the temperature of the reactors. The circuit will be made with a view to achieving an acceleration of the processes of hydrolysis and acidogenesis, methanogenesis and acetogenesis to be borne by the liquid fraction of the organic waste from separate collection of municipal waste from small to large users. The heat recovery will be achieved even from the biogas combustion and from the section of composting.

In the first phase of the research, the trends of the processes of anaerobic digestion, were simulated. The simulations conducted have revealed a greater efficiency in the digestion process conducted at 48 °C. The efficiency was determined in order to the quantitative aspects of the biogas production.

Basing on these results, the research will proceed with the realization of the pilot plant, also fitted with a section for the composting of the matrix after pre-processing and digesting, in order to monitor the production and the quality of the biogas in the presence of conditioning specially crafted in a thermophilic environment.

**Key words:** Anaerobic digestion, biogas, methanogenesis, greenhouse, thermal efficiency

### Introduzione

In Italia, le biomasse disponibili per produrre energia sono principalmente costituite da legna da ardere, residui agricoli, agroindustriali e forestali, nonché dalla frazione biodegradabile dei rifiuti solidi urbani. Il contenuto energetico di queste biorisorse è equivalente a circa 23 milioni di tonnellate di petrolio (Mtep). Non tutta la quantità di biomasse prodotta annualmente è recuperabile, sia perché la materia prima si presenta molto dispersa sul territorio, sia perché sono possibili usi alternativi della biomassa stessa. Si stima che quella recuperabile a fini energetici sia il 45-50% di quella prodotta. In figura 1 viene sinteticamente illustrato il processo produttivo del biogas:

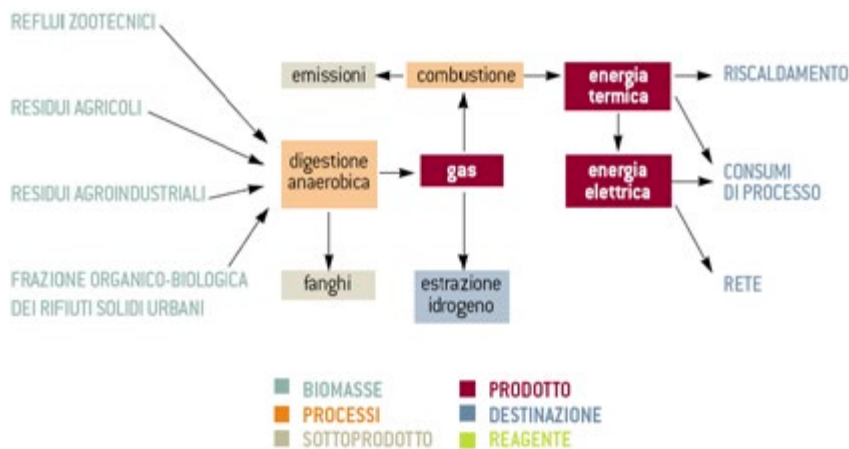


Fig. 1. Layout processo produzione del biogas

Un quadro nazionale di maggior dettaglio deriva da un censimento svolto dal CRPA (Piccinini et al., 2008), Centro Ricerche Produzioni Animali, per conto della Regione Emilia-Romagna sugli impianti di digestione anaerobica operativi nel settore zootecnico ed agro-industriale: “*Gli impianti di biogas in Italia: stato dell’arte*”. All’inizio del 2008 risultavano installati sul territorio nazionale circa 306 impianti di taglia piccola-media di cui:

- 154 alimentati con effluenti zootecnici, scarti organici, colture energetiche;
- 121 alimentati con fanghi di depurazione civile;
- 9 alimentati da FORSU (frazione organica dei rifiuti solidi urbani);
- 22 impianti da reflui agroindustriali.

A questi vanno aggiunti circa 140 impianti operativi per il recupero del biogas dalle discariche di rifiuti urbani che per ora rappresentano la principale fonte di biogas da biomasse. (ITABIA, 2003).

#### *Metodi biologici anaerobici: test di produzione residua di biogas*

La determinazione della produzione residua di gas è uno dei parametri più importanti per caratterizzare i rifiuti residui pretrattati meccanicamente e biologicamente. A seconda delle procedure analitiche adottate, possono essere riprodotte in laboratorio condizioni più o meno naturali utili a misurare la potenziale produzione di biogas di una matrice fermentescibile.

Molti indicatori sono stati proposti per misurare il potenziale peso ecologico dei rifiuti smaltiti in discarica. Particolare attenzione è stata rivolta all'impatto delle matrici organiche ad elevata fermentescibilità contenute nei Rifiuti Urbani (RU) in termini di reattività biologica (Scaglia et al. 2010). I parametri impiegati a tale scopo misurano l'attività respirometrica (APAT Manuali Linee Guida 25/2003), e la capacità potenziale di produzione del biogas (Scaglia e Adani, 2008).

I test respirometrici hanno permesso di misurare l'attività biologica ed il consumo di ossigeno dei microrganismi che degradano la frazione della sostanza organica facilmente putrescibile in condizioni aerobiche (APAT Manuali Linee Guida 25/2003).

La produzione potenziale di biogas si riferisce alla misurazione del biogas prodotto dalle matrici fermentescibili durante un periodo di incubazione in condizioni anaerobiche mediante test di laboratorio in 30-90 giorni (APAT Manuali Linee Guida 25/2003). Quest'ultima procedura è stata utilizzata nel corso della presente sperimentazione.

Come noto, la formazione biologica del metano è il risultato delle attività metaboliche di gruppi batterici altamente specializzati che convertono in metano e anidride carbonica, i prodotti finali delle fermentazioni operate da altri batteri anaerobi. La stima dell'evoluzione temporale del tasso di produzione del biogas in discarica, è un dato basilare per la progettazione dei sistemi di captazione, trasporto e trattamento dello stesso. La successione nel tempo e nello spazio delle varie popolazioni batteriche nella massa dei rifiuti può essere suddivisa in diverse fasi, caratterizzate anche da emissioni qualitativamente e quantitativamente diverse: in anaerobiosi la materia or-

ganica è convertita in 4 fasi successive, che implicano depolimerizzazione, fermentazione, produzione di idrogeno e acetato e metanogenesi.

Nella fase metanigena stabile i gruppi acetogenici e metanogeni sono in equilibrio dinamico e la produzione di metano è pressoché costante, si raggiungono concentrazioni di metano pari al 50–65% in volume (Cossu *et al.*, 1999).

### *Prove sperimentali di produzione di biogas*

#### *Materiali e metodi*

Per simulare la produzione di biogas, sono stati adottati gli standard riferiti nei test di incubazione (Adani *et al.* 2000) che prevedono l'utilizzo di vials in vetro ermeticamente chiusi, mantenuti ad una temperatura costante di 35°C per mezzo di un bagno termostato muniti, all'interno dei quali viene posto il campione da analizzare (fig. 2). Questo test risulta molto semplice e funzionale permettendo di eseguire prove con un alto numero di campioni in contemporanea. Con questo test vengono determinati qualitativamente e quantitativamente i biogas prodotti in un periodo di 28 e anche 90 giorni.

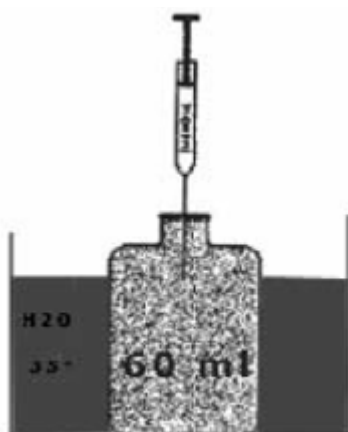


Fig. 2. Test di incubazione (Adani *et al.*, 2000)

Dai rifiuti considerati è stata prelevata una frazione rappresentativa da sottoporsi al test di produzione di biogas. Ciascuna frazione è stata macinata meccanicamente fino al raggiungimento di un diametro pari

a circa 1 mm (pezzatura standard). I campioni di pezzatura 1 mm sono stati introdotti in vials di vetro da 60 ml, sigillati da un tappo a ghiera con setto di silicone perforabile. In tutti i vials sono stati introdotti 4 grammi di materiale secco. Per ottenere questo materiale secco, i differenti campioni sono stati posti in stufa termostata a 105° centigradi per 24 ore, affinché l'umidità residua di ogni matrice risultasse nulla. Ai campioni posti nei vials è stata aggiunta acqua sufficiente a raggiungere un quantitativo di sostanza secca pari al 40%. Al momento della chiusura dei vials si è provveduto ad insufflare azoto in continuo per garantire una perfetta anaerobiosi. Per il campionamento del biogas sono state utilizzate siringhe da 1 ml con stantuffo lubrificato mediante grasso di silicone al fine di permetterne lo scorrimento quando si sviluppa una leggera pressione all'interno dei vials.

I campioni sono stati tenuti in bagno termostato, la temperatura è stata costantemente mantenuta a 35°C sul bianco di prova (una temperatura simile a quella che comunemente si raggiunge all'interno dei digestori) ed a 48°C sul saggio di prova. I vials venivano estratti solamente per le operazioni di misurazione.

Le prove sono state condotte per un periodo di tempo di 90 giorni. I prelievi sono stati effettuati con cadenza settimanale.

La determinazione della produzione di biogas è stata condotta da un punto di vista quantitativo. Le prove sono state eseguite in triplo al fine di ottenere un valore finale dotato di una buona solidità. Si è proceduto all'analisi quantitativa del biogas prodotto mediante l'utilizzo delle siringhe precedentemente descritte. I dati così ottenuti vengono espressi in ml e poi convertiti in l/kg ST (*solidi totali*). Per le prove qualitative sul biogas si è utilizzato un Gascromatografo SHIMADZU GC. Le analisi quantitative hanno evidenziato la produzione di due differenti tipi di biogas: anidride carbonica e metano, mentre altri gas, se presenti, erano rilevabili solamente in tracce.

### *Risultati e discussione*

Dai risultati (Tab. 1) relativi alla produzione di biogas dopo 90 giorni in condizioni anaerobiche, si nota come siano presenti significativi scarti tra la prova a 35°C e la prova a 48°C.

Come numerosi studi hanno più volte evidenziato, la produzione di acidi organici, abbassando il pH, determina un'inibizione della metanogenesi, (*Binner e Zach 1999*). Una bassa produzione di biogas da parte dei rifiuti può essere attribuita ad un effetto di tossicità individuabile con valori anomali del pH. Tra i parametri chimico-fisici che influenzano la produzione di biogas, il più difficilmente controllabile è proprio il pH che, come ampiamente riportato in letteratura, risulta ottimale per la metanogenesi tra 6,4 e 7,2, in un intervallo di tolleranza tra 6 e 9.

Tab. 1. Valori di produzione del biogas espressi in l/kg S.T. in incubatore

	Step 1 30 gg	Media step 1	Step 2 60 gg	Media step 2	Step 3 90 gg	Media step 3
Unità di misura	l/kg s.T.					
Temperatura 35° c	0,77		2,10		3,10	
	0,90	0,83	3,30	2,50	4,70	3,60
	0,82		2,10		3,00	
Temperatura 48° c	1,70		3,50		4,21	
	1,88	1,69	3,20	3,38	3,86	3,99
	1,49		3,44		3,90	

Tipicamente le fasi che caratterizzano il processo di produzione del biogas mostrano una rapida emissione di anidride carbonica e produzione di acidi organici (fase aerobica ed acidogena: fase I e II del modello di produzione di biogas (*Adani et al., 2000*) non accompagnata da produzione di metano, pertanto, le prove a 35°C si caratterizzano per l'acidificazione del mezzo e per la sola presenza di anidride carbonica.

Diversamente, i campioni a 48°C non solo hanno prodotto maggiori volumi di biogas (fig. 3), ma hanno anche fatto registrare l'assenza di una significativa acidificazione del mezzo. Tali condizioni indicano uno stadio del modello di produzione del biogas identificabile con la fase di metanogenesi, che indica uno stadio avanzato di decomposizione chiamata fase metanigena instabile. Durante tale periodo le produzioni di biogas sono significative e tendono ad incrementare come confermato dagli andamenti delle produzioni monitorate.

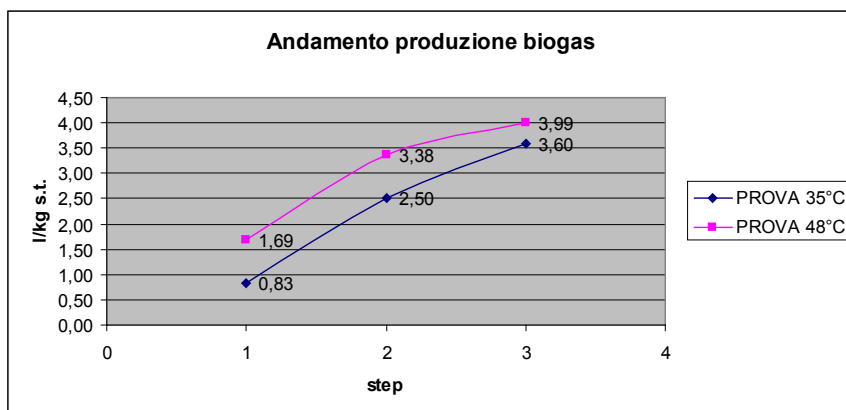


Fig. 3. Andamento grafico della simulazione di produzione del biogas.

Sulla base di tale risultato appare estremamente interessante l'accoppiamento delle fasi di digestione con produzione di biogas con l'ubicazione all'interno di una serra. Tale particolare tipo di fabbricato, infatti, costituisce notoriamente un potente valorizzatore dell'energia solare, che consente un incremento anche notevole del livello termico all'interno del volume confinato da esso definito. Come evidenziato anche da Autori (*Scarascia & Picuno, 2007*), infatti, i livelli termici che vengono raggiunti, a latitudini tipiche dell'Italia Meridionale, possono arrivare a valori talmente elevati da rendere il microclima locale molto interessante per applicazioni quale quella che in tale ricerca sono state ipotizzate.

Le ricerche orientate verso l'interpretazione dei fenomeni fisici in grado di creare in un ambiente confinato condizioni idonee allo sviluppo e alla produzione delle specie vegetali hanno avuto inizio negli anni '50 attraverso modelli empirici fondati su relazioni statistiche ricavate per specifiche tipologie serricole in determinate situazioni climatiche; in seguito (*Businger J. A., 1963*) sono comparsi i primi modelli matematici che hanno introdotto il concetto di modello previsionale dei parametri ambientali interni alle serre costituendo la base per le successive ricerche. A causa dei sopravvenuti problemi collegati alle crisi energetiche degli anni '70 per l'approvvigionamento delle fonti di energia convenzionale, gli studi e le applicazioni si sono orientati anche verso l'ottimizzazione progettuale e gestionale rivolta al conseguimento del risparmio energetico.

Il rinnovato interesse dei ricercatori verso i modelli matematici e le potenzialità offerte dalle considerevoli capacità di calcolo raggiunte con l'introduzione dei nuovi strumenti informatici, hanno al contempo prodotto numerose proposte di interpretazione numerica del funzionamento energetico degli apprestamenti protetti. I modelli di simulazione dei fenomeni fisici inerenti al comportamento globale del sistema serra sono suddivisibili in quattro sotto-modelli (*Takakura T. et al., 1985*) che riguardano:

- la radiazione solare incidente ed entrante nella serra;
- i meccanismi di trasmissione del calore e di trasferimento di massa;
- le funzioni di controllo degli impianti di regolazione dell'ambiente interno;
- i processi di crescita e di sviluppo delle piante.

I modelli numerici descrittivi del microclima in serra comprendono soprattutto i primi due sottosistemi su elencati: radiazione solare incidente e bilancio di energia e di massa, con eventuali riferimenti agli altri due sottosistemi. Nell'ambito della letteratura esistente (*Lacroix R. e Zanghi J. C., 1990*), si possono distinguere i modelli:

- con un componente, generalmente l'aria interna, o con più componenti, quali la copertura, l'aria interna, la vegetazione e il suolo;
- statici, che ipotizzano un regime stazionario, o dinamici, calcolati in regime variabile, in grado quindi di valutare l'accumulo e il ri-

- lascio di energia dei diversi componenti dell'apprestamento aventi inerzia termica non trascurabile quale, soprattutto, il terreno;
- monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali, in funzione delle caratteristiche di propagazione considerate per gli scambi energetici, a secondo che queste siano, rispettivamente, unidirezionali, piane o spaziali.

### *Conclusioni*

Dai risultati relativi alla produzione di biogas dopo 90 giorni della matrice sottoposta a condizioni anaerobiche, si nota come dalle due prove di digestione siano emersi due andamenti sostanzialmente differenti in ordine alle cinetiche dei processi. Entrambi i processi sono stati completati ed è stato raggiunto un alto livello di produzione di metano cumulativo nei 90 giorni di prova.

In dette condizioni appare evidente che i 90 giorni considerati per il test proposto non risultano sufficienti per esprimere la totale potenzialità produttiva, come peraltro già osservato in letteratura. Nessuno dei campioni analizzati mostrava produzioni identificabili con la fase metanigena stabile, caratterizzata da pH subalcalini e produzioni di metano superiori al 50 %. L'impiego di una temperatura di processo pari a 48°C ha permesso, tuttavia, di raggiungere un'esasperazione della velocità di metabolizzazione del substrato senza il determinarsi di condizioni avverse alla fase metanigena (abbassamento del pH). In conclusione, mediante l'impiego di calore si ottiene una maggiore produzione di metano in ragione di una efficiente utilizzazione della sostanza secca al punto da realizzare una produzione metanigena prossima alla fase metanigena stabile, in un tempo minore dei 90 giorni. Il ricavo in termini di tempo è stimabile in una riduzione dei tempi di processo pari al 25 %. Detta percentuale è, al momento, del tutto indicativa poiché ricavata da prove su modelli e simulazioni propedeutiche ad una verifica in campo mediante l'allestimento di un impianto pilota.

La realizzazione di un impianto pilota servirà a chiarire se è possibile trasferire su scala industriale le condizioni di processo mantenute nella prova in laboratorio e se il processo così caratterizzato è economicamente sostenibile. L'impianto pilota sarà realizzato ricorrendo alle tecniche costruttive osservate per la costruzione delle serre al fine di ottenere una considerevole riduzione del calore disperso dai digestori. Alle simulazioni numeriche che sono state avviate verranno accoppiate anche le modellizzazioni già proposte in letteratura, atte a definire l'andamento del regime termico all'interno di un apprestamento protetto quale quello nel quale si prevede di realizzare l'impianto pilota di digestione e produzione di biogas.

### *Bibliografia*

- Adani F., 2000. Esperienze di ricerca sulla caratterizzazione biologica dei rifiuti pretrattati. Atti del seminario internazionale: "La progettazione delle nuove discariche e la bonifica delle vecchie". Padova 25-27 settembre 2000.
- Adani F., Scatigna L., Genevini P.L. 2000. Biostabilization of mechanically separated municipal solid waste fraction. *Waste Management & Research*. APAT Manuali Linee Guida 25/2003, Metodi di misura della stabilità biologica dei rifiuti.
- Binner E., Zach A., Lechner P. 1999. Test methods describing the biological reactivity of pretreated residual wastes. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari.
- Businger J. A., (1963) - The greenhouse climate, *Physics of plant environment* - North Holland Publ., Amsterdam, 277-318.
- Cossu R., Raga R., Vascellari V. 1999. Comparison of different stability criteria for MBP waste in view of landfilling. Sardinia 99, Atti del settimo simposio internazionale sulla gestione dei rifiuti e sullo scarico controllato, 04 - 08 ottobre 1999, S. Margherita di Pula, Cagliari.
- ITABIA (Italian Biomass Association), Rapporto 2003: le biomasse per l'energia e l'ambiente, 2003.
- Lacroix R., Zanghi J.C., (1990) - Etude comparative de la structure des modèles de transfert d'énergie et de masse dans les serres - *Can. Agric. Eng.* 32, (2), 269-284.
- Piccinini S., Soldano M., Fabbri C., (2008) - Gli impianti di biogas in Italia: stato dell'arte - *The bioenergy international Italia*, Paulownia Italia S.r.l.
- Scaglia B., Adani F., (2008) - An index for quantifying the aerobic reactivity of municipal solid wastes and derived waste products - *Sci Total Environm.* , 394, 183-191.
- Scaglia B., Confalonieri R., D'Imporzano G., Adani F., (2010) - Estimating biogas production of biologically treated municipal solid waste - *Bioresource Technology*, 101, 945-952.
- Scarascia-Mugnozza G., Picuno P. (2007). L'e- nella modellizzazione per la ricerca, la progettazione e la gestione. Relazione Ufficiale invitata presentata al Congresso AIIA 2007 su: "L'e- nell'ingegneria agraria, forestale e dell'industria agro-alimentare", Firenze, 25-26 ottobre 2007.
- Takakura T., Kurata K., Honjo T., (1985) - Physical models and the greenhouse climate -, *Acta Horticulturae* (174), 97-104.