

PROGETTO BIOMASSE: ENERGIA RINNOVABILE PER LE AZIENDE AGRICOLE DERIVANTE DA REFLUI ZOOTECNICI (ERAARZ)

Daniele Giraldi¹, Gianluca Cavalaglio¹, Sara Massoli¹, Simona Servili¹

¹Centro Ricerca sulle Biomasse (CRB), via Michelangelo Iorio n°8 06128 Perugia

SOMMARIO

Nello scenario energetico nazionale, una sempre maggior importanza viene data alle fonti energetiche rinnovabili e “pulite”; in questo contesto si inseriscono alcune proposte relative alla microgenerazione distribuita, soprattutto presso le aziende agricole e gli allevamenti distribuiti sul territorio nazionale.

Questo lavoro riguarda una possibile soluzione progettuale particolarmente adatta per le piccole-medie aziende agricole che hanno a disposizione sia reflui zootecnici sia biomasse di origine vegetale (come ad esempio insilato di mais).

Dopo una descrizione del processo di digestione anaerobica e delle possibili soluzioni impiantistiche presenti in letteratura e sul territorio europeo, è descritto l’assetto produttivo dell’azienda selezionata per la sperimentazione e la descrizione dell’impianto sperimentale che è in fase di realizzazione.

Obiettivo della ricerca è quello di assemblare, sperimentare ed ottimizzare una soluzione impiantistica di facile realizzazione e dall’assetto gestionale semplificato, in maniera tale da poter essere diffusa e replicata su scala nazionale.

INTRODUZIONE

Il progetto ERAARZ, presentato con modalità a sportello al Ministero delle Politiche Agricole e Forestali nel Dicembre 2005, in base a quanto previsto dal DM 16 Luglio 2003 è stato ammesso a finanziamento nel febbraio 2006.

Il progetto ERAARZ si inserisce nella filiera del recupero energetico degli scarti di lavorazione di un’azienda agricola umbra impiegando la digestione anaerobica come processo di valorizzazione energetica dei reflui zootecnici.

Il Centro di ricerca sulle Biomasse si è attivato per la realizzazione di un simile progetto a fronte di una attenta analisi dello stato dell’arte degli impianti di digestione anaerobica dei reflui zootecnici che ha evidenziato la mancanza di soluzioni impiantistiche di piccola taglia nonostante il problema dello smaltimento dei reflui sia una vera e propria emergenza specialmente nei piccoli-medi allevamenti.

1. IL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA

La digestione anaerobica è un processo termochimico che, in assenza di ossigeno, permette di ottenere un biogas composto principalmente da metano ed anidride carbonica; tale reazione avviene anche spontaneamente, per esempio in cumuli di sostanza vegetale tal quale. La percentuale di metano presente nel biogas varia tra il 50% e l’80% a seconda delle tipologie di biomasse impiegate e del tipo di processo determinando un diverso potere calorifico variabile tra 4.500 Kcal/m³ e 6.500 Kcal/m³.

La biomassa in ingresso deve avere le seguenti caratteristiche:

- umidità maggiore del 50%;
- rapporto di carbonio ed azoto compreso tra 20 e 30;

- pH compreso tra 6.4 e 7.2;
- basso rapporto tra lignina e cellulosa;
- nel caso si tratti di reflui zootecnici bisogna verificare l’assenza di componenti antibiotiche derivanti da cure mediche dei capi;
- assenza di fenoli [1].

Queste caratteristiche del substrato in ingresso sono fondamentali per la creazione delle famiglie di microrganismi necessari per la realizzazione del processo: l’acqua del substrato permette agli organismi di “spostarsi” all’interno del substrato stesso e costituisce una vera e propria “casa”, un rapporto non ottimale di C/N comporta problemi di inibizione del processo dal momento che solitamente l’azoto presente in soluzione è in fase ammoniacale (urea presente nei reflui), il pH è un indice di stabilità del processo, la lignina non costituisce un nutrimento per i batteri e quindi risulta non digeribile dall’impianto con conseguente bassa efficienza di processo [2].

I microrganismi presenti nel substrato realizzano il processo di digestione anaerobica principalmente in due stadi: durante il primo stadio avviene una trasformazione delle sostanze complesse in composti intermedi, come l’acido acetico e l’idrogeno, che costituiranno nel secondo stadio il substrato idoneo per l’accrescimento delle famiglie di microrganismi metanigeni.[3] Di seguito si riporta uno schema più dettagliato di tutte le fasi del processo di digestione anaerobica con i relativi substrati, i prodotti ed i batteri che ne caratterizzano la reazione (figura 1).

Gli stadi di processo possono essere anche realizzati in un’unica fase all’interno di uno stesso digestore; in questo caso, ovviamente, il reattore assume una configurazione più complicata in quanto vanno garantite le condizioni ottimali di crescita delle diverse famiglie di microrganismi. [4]

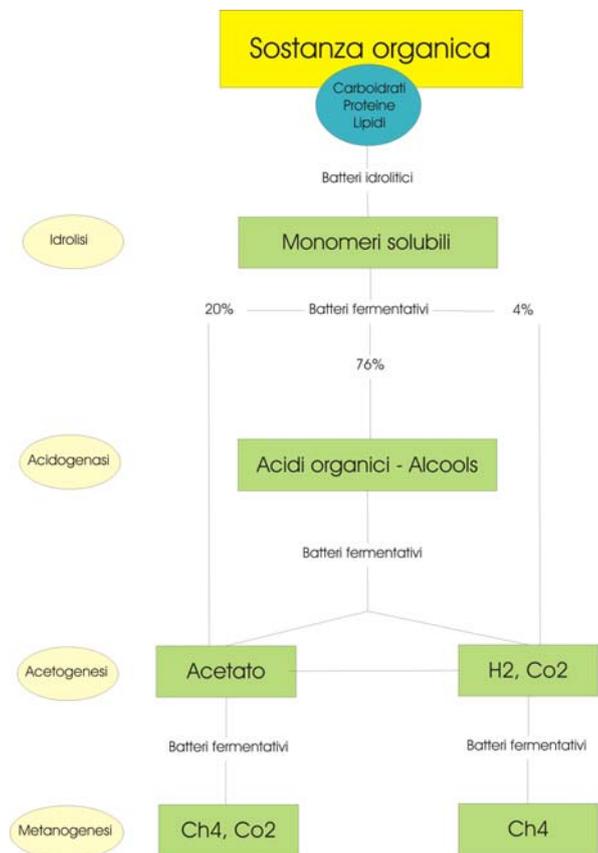


Figura 1: Stadi del processo di digestione anaerobica

1.1 Tipologie di processo

A seconda delle diverse temperature di processo, ovvero della temperatura a cui viene mantenuto il reattore, si ha la formazione di diverse categorie di microrganismi.

Se la temperatura di processo è compresa tra 15°C e 25°C si ha la formazione di batteri psicrofili, tra 25°C e 45°C si ha la formazione di batteri mesofili, tra 45°C e 55°C di batteri termofili.

In base alla temperatura di processo, il processo di digestione anaerobica ha dei tempi di ritenzione diversi all'interno del reattore: per impianti semplificati in psicrofilia dai 30 ai 90 giorni, impianti in mesofilia dai 15 ai 35 giorni, in termofilia dai 15 ai 20 giorni [5]. I differenti processi hanno costi di gestione ed efficienze diversi, come riportato in tabella 1.

Una ulteriore differenziazione di processo si ha per la percentuale di sostanza secca presente nel substrato: si parla di digestione a secco qualora la percentuale di sostanza secca sia superiore al 20%, digestione umida per substrato con il 10% di sostanza secca, digestione a semisecco nei casi intermedi. [6]

1.2 Tecnologie impiantistiche

In base alla quantità ed al tipo di reflui disponibili ed in base alla tipologia di processo scelta, esistono diverse tipologie impiantistiche per la realizzazione di un impianto di digestione anaerobica.

Le soluzioni impiantistiche più semplici sono quelle delle vasche e lagune riscaldate o non riscaldate; la differenza è che la seconda tipologia viene realizzata direttamente nel terreno, previa impermeabilizzazione, ed ha dimensioni molto più ragguardevoli. Le vasche, invece, possono essere realizzate sia fuori terra che parzialmente interrata.

Tabella 1: Caratteristiche dei processi di digestione anaerobica in mesofilia e termofilia

Tipo	Costi di gestione	Efficienza (biogas/substrato)	Carico organico in input
Mesofilia	Medi	Media	Medio
Termofilia	Alti	Alta	Alto

Il recupero del biogas affiorante in superficie è in genere affidato a materassi galleggianti in PVC e telo, oppure a tubazioni di captazione tenute in depressione per mezzo di un compressore esterno, che aspirano quanto viene prodotto sotto la copertura (figura 2).

Questi reattori comportano delle problematiche di processo in quanto sprovvisti di sistema di agitazione, che permette di omogeneizzare il liquame all'interno della vasca, e di sistemi di riscaldamento efficaci, date le grandi dimensioni soprattutto delle lagune; inoltre i solidi presenti nel refluo tendono a solidificare ed a formare una sorta di crosta rigida che nel peggiore dei casi può comportarsi da accumulo di biogas.

La seconda tipologia di reattore è il CSTR (Completely Stirred Reactor - reattore a miscelazione completa, figura 3), costituita da una vasca di forma cilindrica, dimensionata opportunamente in base ai volumi e alle sostanze da trattare, in

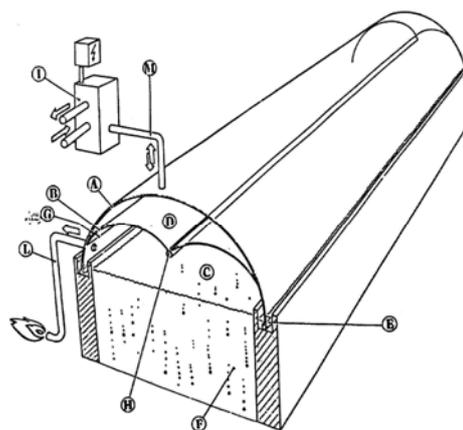


Figura 2: Esempio di reattore a vasca; A copertura impermeabile; B membrana di separazione; C camera del biogas; D Camera aria; E ancoraggio; F vasca liquami; G giunzione tra membrana e copertura; H zavorra membrana; I pompa dell'aria; L uscita gas; M tubo dell'aria (fonte Ecomembrane)

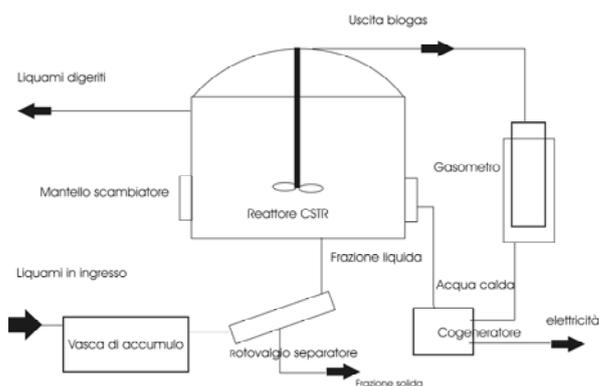


Figura 3: Esempio di reattore CSTR

cui un sistema di agitazione determina un continuo rimescolamento del materiale interno alla vasca, garantendo una uniformità di caratteristiche. La digestione anaerobica avviene in mono-stadio e questo ne determina una maggior economicità a fronte di una minor resa in biogas e di inconvenienti nella purificazione dei reflui.

L'ultima tipologia di reattori mono-stadio è rappresentata dalla classe dei plug-flow reactor (PFR) che consistono in una vasca prismatica in cui la dimensione longitudinale è di gran lunga prevalente sulle altre, come si può apprezzare dalla figura 4. Il PFR è il reattore a più alto rendimento e può trattare liquami a più alto contenuto di solidi, e non richiede, anzi, rifiuta la miscelazione, in modo che il refluo avanzi lentamente lungo la vasca, con concentrazioni di batteri e nutrienti costanti in ogni sezione e variabili gradualmente sezione per sezione, fino a ottenere quelle desiderate, nella sezione terminale.

Esistono anche reattori PFR abbinati ad agitatori meccanici nel caso in cui il contenuto di solidi sia inferiore al 13%.

L'impianto del progetto pilota oggetto di questo lavoro è una evoluzione della tipologia PFR che permette di ridurre le dimensioni e di garantire rendimenti ancora ottimali. [7]

1.3 Tipologie di biomasse in input

Di seguito si riportano le stime delle quantità di biogas producibili con la fermentazione anaerobica a partire da diversi materiali residuali organici.

Come si può notare dalle tabelle 2 e 3 la resa in biogas dei reflui zootecnici non è fra le più elevate e rappresenta meno della metà del biogas producibile con equivalenti quantità di insilato di mais. Il rovescio della medaglia sta nel fatto che una digestione di solo insilato avrebbe tempi di attivazione lunghissimi visto che il substrato non è idoneo per la formazione delle famiglie batteriche.

Da notare la resa particolarmente elevata delle acque di lavaggio dei frantoi (OMW – Olive Mill waste Water), circa 360 m³ di biogas per m³ di OMW; il problema nell'utilizzo di tali sottoprodotti di lavorazione sta nella presenza di fenoli, che inibiscono il processo di digestione, e nella disponibilità

Tabella 2: Caratteristiche di alcune delle possibili biomasse in input in % di s.s.

Materiale	Contenuto s.s. (%)	Sostanza organica (% s.s.)	Resa di biogas (m ³ /t s.organica)
Allevamenti			
Liquame bovino	6 - 11	68 - 85	200 - 260
Letame bovino	11 - 25	65 - 85	200 - 300
Liquame suino	2,5 - 9,7	60 - 85	260 - 450
Letame suino	20 - 25	75 - 90	450
Liquame avicolo	10 - 29	75 - 77	200 - 400
Letame avicolo	32,0 - 32,5	70 - 80	400
Agricoltura			
Insilato di mais	34	86	350 - 390
Insilato d'erba	26 - 82	67 - 98	300 - 500
Paglia	85 - 90	85 - 89	180 - 600
Stocchi di mais	86	72	300 - 700
Agro-industria			
Scarti vegetali	5 - 20	76 - 90	350
Melasse	80	95	300
Siero	4,3 - 6,5	80 - 92	330



Figura 4: Esempio di digestore PFR

Tabella 3: Rese in biogas di alcune delle possibili biomasse in input per unità di volume

Prodotto	Volume (m ³)	Peso (t)	Biogas (m ³)
Liquame bovino	1	1	15
Letame bovino	1	0,3	10,1
Liquame suino	1	1	15,6
Letame suino	1	0,3	23,5
Liquame avicolo	1	1	44,5
Letame avicolo	1	0,3	29,3
Insilato di mais	1	0,625	67,6
Insilato d'erba	1	0,5	89
Paglia	1	0,04	12
Stocchi di mais	1	0,4	123,8
Scarti mele	1	0,3	2,6
Melasse	1	0,3	68,4
Siero	1	1	15,3
Scarti vegetali	1	0,4	14,5
Scarti frantoi	1	0,5	357

esclusivamente stagionale, circa 90 giorni all'anno; inoltre, alla fine del processo di digestione, il digestato ha ancora un forte carico di azoto che va obbligatoriamente abbattuto con metodologie tradizionali. [6]

2. IMPIANTI ESISTENTI SUL TERRITORIO EUROPEO ED ITALIANO

Impianti di digestione anaerobica sono molto diffusi in Europa specialmente nei paesi del nord, come la Germania; in Svezia il 10% del biogas prodotto viene purificato ed utilizzato per autotrazione di quasi 6000 veicoli (dato riferito al 2004) con un risparmio in termini di benzina di circa 360.000 litri all'anno.

Per avere un quadro completo della situazione europea si riporta la stima degli impianti di digestione anaerobica riferiti all'anno 2006:

- circa 1.600 impianti operativi nella stabilizzazione dei fanghi di depurazione;
- circa 400 impianti per il trattamento delle acque reflue industriali ad alto carico organico;
- circa 450 impianti di recupero del biogas in discarica;
- circa 130 impianti da RSU e/o residui organici industriali;
- oltre 2.500 impianti da reflui zootecnici di cui il 80% in Germania (di questi più del 90% opera in codigestione); in Svezia esistono anche 7 impianti che utilizzano sottoprodotti di origine animale; in alcune zone dell'Austria il biogas viene immesso nella rete di distribuzione del gas metano.

In Italia alla fine del 2004 risultavano attivi circa 100 impianti di produzione di biogas. [4]

3. IMPIANTO SPERIMENTALE

L'impianto sperimentale oggetto del progetto è in corso di realizzazione presso l'azienda agricola Poggiovalle; i terreni dell'azienda, di oltre 1.800 ettari, ricadono tra i Comuni di Città della Pieve e Fabro.

3.1 Caratteristiche aziendali

L'attuale assetto produttivo dell'azienda, prevede l'allevamento di circa 140 vacche nutrici di razza chianina per la produzione di vitelli da carne, lasciate libere al pascolo per sei mesi l'anno, di 130 vacche di razza frisona per la produzione di latte e di circa 90 manze e vitelli. La produzione giornaliera di liquami dell'azienda, sulla base dei capi disponibili, è pari a 12 m^3 .

Per quanto riguarda la produzione di biogas, mediamente si possono ottenere $0,750 \text{ m}^3$ di biogas al giorno dal liquame prodotto da una vacca da latte del peso vivo medio di 500 kg; nel caso in esame, considerando 130 capi bovini di 400 kg, 90 da 350 kg e 140 da 600 kg, la produzione di biogas stimata dell'azienda è pari a circa $270 \text{ m}^3/\text{giorno}$ di biogas.

L'azienda dispone inoltre di parecchi ettari coltivati a seminativo e quindi può facilmente avere a disposizione insilato di mais per attuare un processo di codigestione.

3.2 Soluzione impiantistica proposta

Ricerche di letteratura hanno portato all'individuazione di una tipologia di reattore modulare e flessibile, di facile installazione e con manutenzione ridotta: si tratta di un reattore ad asse orizzontale di tipo plug-flow che lavora in condizioni di termofilia. [1] [3]

Il cuore dell'impianto, ovvero il reattore, è realizzato in estrusione rotativa di Polipropilene (PP) in doppia parete; una tale configurazione orizzontale permette di avere minori costi di manutenzione in quanto eventuali solidi vengono trascinati sul fondo del reattore e di conseguenza espulsi con il digestato, evitando così la formazione di croste come descritto in precedenza. La doppia parete permette di mantenere le condizioni ottimali di temperatura mediante l'impiego dei gas di scarico della sezione di valorizzazione energetica del biogas (figura 5).

Il reattore è composto da 2 di questi tubi in Polipropilene per garantire da una parte lo smaltimento di una maggior parte dei reflui prodotti in azienda, dall'altra permettere il trasporto

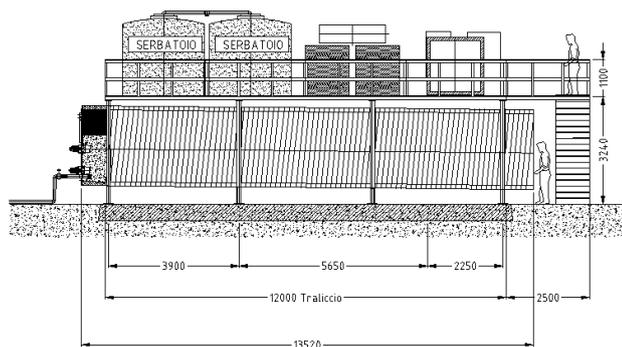


Figura 5: Schema dell'impianto sperimentale di digestione anaerobica

su strada senza particolari autorizzazioni: di fatti i tubi del reattore avranno un diametro di circa 2,30 m ed una lunghezza di 13,52 m così da garantire il rispetto della sagoma d'ingombro del rimorchio per il trasporto. Il volume utile all'interno dei tubi risulta essere $\frac{3}{4}$ del volume totale poiché almeno $\frac{1}{4}$ deve essere lasciato libero per l'espansione e l'accumulo del biogas. Questa prima sezione di digestione riuscirà a smaltire circa la metà dei reflui giornalieri (6 m^3 su un totale di 12 m^3) con tempo di ritenzione di 15 giorni dato dalla pendenza orizzontale dei tubi di circa 1° . I tubi sono appoggiati su delle culle e l'intera struttura è realizzata sopra una platea in rete metallica elettrosaldata.

Come già descritto in precedenza nella sezione di presentazione delle tecnologie, un impianto di tipo plug-flow non necessita di agitatore meccanico in quanto di solito utilizzato con materiali ad elevata percentuale di sostanza solida; per questo impianto pilota, però, si sono studiate soluzioni tecnologiche per la realizzazione di un agitatore elicoidale parallelo all'asse del digestore che ruoti a bassissima velocità sia a favore di corrente che controcorrente in maniera tale da poter inserire biomasse con meno sostanze solide e/o regolare meccanicamente il tempo di ritenzione del digeribile. Questa soluzione tecnologica è compatibile con biomasse in input avente una percentuale di sostanze solide minore del 13%.

Le componenti ausiliare al reattore sono posizionate su di una griglia metallica posta sopra il reattore; in particolare queste sezioni ausiliare sono costituite dalle unità di depurazione del biogas (deumidificatore e desolfatore), dai serbatoi di accumulo dell'acqua calda, da eventuali pannelli solari per soddisfare il carico termico necessario al processo, da un gasometro per l'accumulo del biogas, da una torcia di sicurezza per la termodistruzione del biogas in esubero.

Per quel che concerne la sezione di valorizzazione energetica del biogas sono ancora al vaglio due soluzioni progettuali: la prima è costituita da un motore a biogas che garantisce rendimenti elevati (circa il 40%) a scapito di maggiori costi di manutenzione dovuti principalmente all'usura delle componenti del sistema d'iniezione; la seconda costituita da una turbina a biogas che permette di recuperare una maggior quantità di calore con costi di manutenzione minori, ma maggiori costi d'impianto e minor rendimento elettrico (circa 25%). Nel caso in cui venga preferita la turbina, questa verrà alloggiata sempre con le attrezzature delle sezioni ausiliare, mentre il motore verrà alloggiato a lato del digestore in apposito container cofanato ed insonorizzato.

3.3 La sperimentazione

La sperimentazione riguarda innanzitutto la messa a punto dell'impianto attraverso una precisa analisi dei flussi di massa ed energia nelle sezioni di digestione anaerobica e di valorizzazione energetica del biogas.

Per ottimizzare i periodi di accrescimento delle famiglie batteriche sia nella fase di avvio sia in successivi periodi di fermo del digestore, si procederà all'inoculo di famiglie batteriche selezionate nelle diverse fasi del processo di digestione; in questo modo i tempi per il raggiungimento delle condizioni di regime ottimali saranno molto più brevi.

La soluzione impiantistica proposta è stata concepita per attuare un processo di codigestione con biomasse erbacee: principalmente viene utilizzato l'insilato di mais in quantità iniziale di 100 Kg al giorno. La sperimentazione proseguirà inizialmente con l'aumento della percentuale di insilato in

codigestione per poi svilupparsi nella ricerca di biomasse erbacee alternative, quali trinciato di sorgo non essiccato, e dei loro mix ottimali per l'ottimizzazione della quantità e della qualità di biogas prodotto. A tale proposito, il CRB dispone di un piccolo reattore da laboratorio di tipo Batch con il quale sono già state effettuate delle prove sperimentali per determinare la resa in biogas di diversi mix di biomasse (figura 6). In particolare sono stati analizzati rendimenti della digestione di diverse tipologie di alghe del Lago Trasimeno, frazione organica di rifiuti solidi urbani (FORSU), reflui bovini e reflui avicoli. [8] Questo digestore servirà per valutare le rese dei diversi mix di biomassa che verranno introdotti nel digestore non solo per ricercare quello a maggior efficienza ma anche per verificare che lo spazio di espansione del biogas all'interno del reattore sia sufficiente, evitando così problemi di tenuta o di rottura del reattore stesso.

4. CONCLUSIONI

L' impianto descritto può essere una soluzione impiantistica di facile diffusione e replicabilità.

La modularità dell'impianto fa sì che la taglia possa essere facilmente calibrata sulle reali esigenze dell'allevamento senza precludere sviluppi futuri dell'azienda: infatti, se il numero dei capi dell'azienda aumentasse in maniera considerevole, basterebbe aggiungere ulteriori linee di digestione anaerobica senza dover ricorrere alla realizzazione di imponenti opere civili, come nel caso dei digestori tradizionali.

La possibilità di realizzare la codigestione di biomasse erbacee permette di aumentare sensibilmente la resa di biogas del processo e, di conseguenza, permette di diminuire il tempo di ritorno dell'investimento.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. V. Nallathambi Gunaseelan "Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review" *Biomass and Bioenergy* Vol.13 (1997), pag 83-114
2. K.V. Rajeshwari*, M. Balakrishnan, A. Kansal, Kusum Lata, V.V.N. Kishore "State-of-the-art of anaerobic digestion technology for industrial wastewater treatment" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 4 (2000), pag. 135-156
3. A.N.P.A. Agenzia Nazionale Protezione Ambientale, O.N.R Osservatorio Nazionale Rifiuti "Il trattamento anaerobico dei rifiuti" 2002.
4. S. Piccinini, G. Bonazzi, D. Sassi, M. Soldano, F. Verzellesi, *Energia dal biogas – soluzioni possibili per l'azienda, Il Divulgatore*, Anno XXVIII n°12, 2005.
5. H. Bouallagui, Y. Touhami, R. Ben Cheikh, M. Hamdi "Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes" *Process Biochemistry* 40 (2005) pag. 989–995.
6. A.A.V.V., *Energia dal biogas prodotto da effluenti zootecnici, biomasse dedicate e di scarto*, C.R.P.A. , Reggio Emilia, 2007.
7. A.A.V.V., *Biomasse per l'energia – guida per progettisti, impiantisti ed utilizzatori*, ISES Italia, pp. 67-118, 2004.
8. G. Bidini, F. Cotana, C. Buratti, F. Fantozzi, I. Costarelli, *Il digestore anaerobico da laboratorio del centro di ricerca sulle biomasse*, atti del 61° congresso nazionale ATI, vol. II, pp. 587-591, 2006.