

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Idraulica,
Geotecnica ed Ambientale

TESI DI LAUREA SPECIALISTICA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

**PRODUZIONE DI BIOGAS IN DIGESTORI ANAEROBICI IN SCALA
REALE ALIMENTATI CON SUBSTRATI AGRICOLI E ZOOTECNICI:
VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DI TECNICHE DI
PRETRATTAMENTO**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Candidata

Valentina Porzio

Matr. 324/277

Correlatore

Ing. Luigi Petta

Anno accademico 2011 - 2012

Abstract

L'Europa ha posto da tempo lo sviluppo delle fonti rinnovabili, insieme alla promozione dell'efficienza energetica, tra le priorità della sua politica energetica. Secondo quanto stabilito dalla direttiva 2009/28/CE, nel 2020 l'Italia dovrà coprire il 17% dei consumi finali di energia mediante fonti rinnovabili. A tal fine, l'Italia ha da tempo posto notevole enfasi sullo sfruttamento delle energie rinnovabili.

Tra i possibili processi di produzione di energia da fonti rinnovabili, in particolare da biomasse, ha assunto particolare rilievo il processo di digestione anaerobica finalizzato alla produzione di biogas: si stima che la produzione europea di energia primaria a partire da biogas nel 2010 sia stata pari a 10,94 Mtep, mentre la produzione italiana pari a 478,5 ktep.

Alla luce delle stringenti richieste di fonti energetiche rinnovabili e di contenimento delle emissioni di CO₂ e di gas serra, il biogas prodotto dal processo di digestione anaerobica è sempre di più inteso come l'obiettivo principale da perseguire, piuttosto che un semplice valore aggiunto nell'ambito di un processo di depurazione biologica.

In linea con le suddette tendenze, ad oggi si assiste alla diffusa applicazione del processo di digestione anaerobica a substrati che non necessitano di un trattamento di biodepurazione ma che presentano altresì un'elevata resa in termini di biogas (es. colture energetiche). Negli ultimi anni si è infatti assistito ad una notevole diffusione delle filiere agro-energetiche per la produzione di biogas a seguito della co-digestione di reflui zootecnici, scarti organici industriali e colture energetiche dedicate. Questa tendenza è stata supportata, oltre che dall'ottimizzazione delle tecnologie di digestione anaerobica, in particolare di sistemi moderni "ad alto carico" e di "co-digestione", soprattutto dalle vantaggiose politiche di incentivi ancora vigenti.

Tali politiche sono state recentemente riviste con risvolti che contribuiranno a modificare le direzioni di sviluppo di questo settore. Il piano tariffario in vigore sino a dicembre 2012 è stato sostituito, nel recente D.M sulle rinnovabili elettriche del 6 Luglio 2012, con un piano tariffario di tipo feed in premium, che tende a premiare soprattutto i piccoli impianti che utilizzano sottoprodotti e rifiuti.

Il presente lavoro di tesi si colloca nell'ambito della produzione di biogas in scala reale a partire da matrici di origine agricola e zootecnica. Nello specifico, sono state

Abstract

esaminate alcune tecnologie di pretrattamento fisico (estrusione e triturazione) e biologico (enzimatico), finalizzate ad aumentare il grado di conversione energetica di matrici lignocellulosiche e, al contempo, a renderne più efficiente la gestione operativa negli impianti a scala reale.

Le tecnologie prese in esame risultano installate in due distinti impianti a biogas in scala reale, ubicati rispettivamente nella provincia di Bologna (Comune di Molinella) e nella provincia di Cremona (Comune di Castelvisconti), presso i quali sono state condotte attività di monitoraggio quotidiano dei dati operativi di gestione e di prelievo periodico dei campioni.

Le successive determinazioni analitiche effettuate ed il successivo lavoro di elaborazione dati sono stati condotti presso i laboratori dell'ENEA di Bologna (Unità Tecnica VALAMB-IDR).

La disamina delle suddette tecnologie è stata finalizzata alla valutazione dei reali benefici derivanti dalla loro applicazione su impianti in piena scala, procedendo mediante l'analisi dei rendimenti osservati in campo e provvedendo all'esecuzione di opportune determinazioni analitiche, consistenti nella caratterizzazione fisico-chimica e nella conduzione di specifici test BMP volti alla quantificazione del potenziale biochimico di metanazione delle matrici in ingresso-uscita dalle unità di pretrattamento. Alle valutazioni di natura tecnica e di processo sono state affiancate specifiche valutazioni di natura economica. Considerazioni, queste ultime, di notevole importanza ai fini di un'applicazione reale e diffusa delle tecniche di pretrattamento indagate.



Figura 1: Digestore e Post-digestore Impianto a biogas Azienda Agricola Salera (CR)

Abstract

Per ciò che attiene al pretrattamento enzimatico, le attività sperimentali sono state condotte presso l'impianto a biogas a servizio dell'Azienda Agricola Salera (CR) (con potenza elettrica installata di 635 kW – Figura 1).

Tali attività hanno permesso di quantificare l'effettivo incremento in termini di resa specifica di metano ottenibile dal mix di substrati alimentati all'impianto (silomais e liquame bovino), che ha comportato una riduzione netta della quantità giornaliera di silomais in ingresso al digestore primario, passata dal precedente valore di regime di 25,8 t/d a quello di 23,6 t/d (Figura 2). Operando a parità di energia prodotta, tale riduzione corrisponde ad un incremento della produzione specifica di metano osservata per l'impianto reale, passata da 311,1 a 337,9 Nm³CH₄/tSV (pari all'8,6% della produzione complessiva), associabile all'azione degli enzimi *cellulasi* ed al conseguente aumento della velocità di disgregazione ed idrolisi.

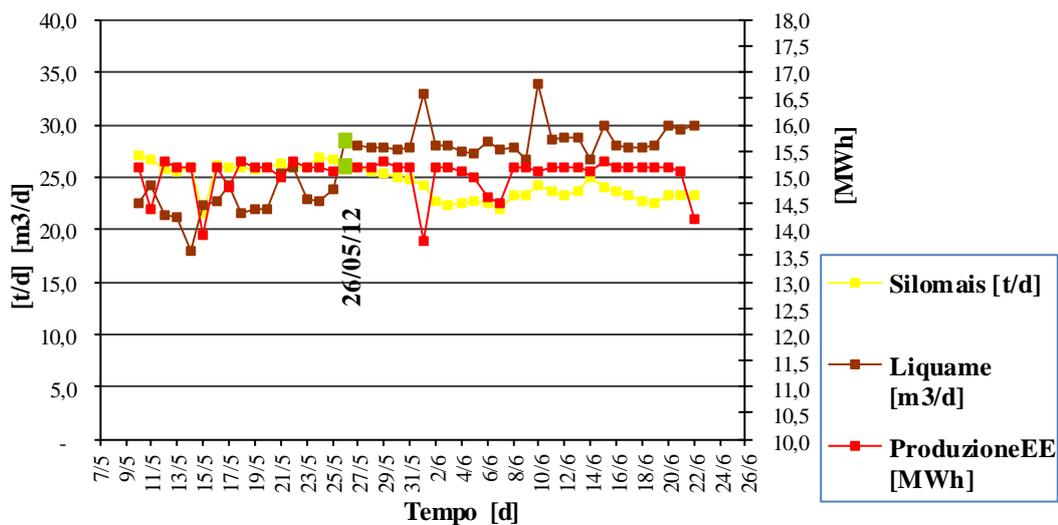


Figura 2: Andamento Alimentazione Producibilità Impianto a biogas Azienda Agricola Salera (CR)

Tale dato trova conferma dalle prove batch di laboratorio volte alla determinazione del potenziale biochimico di metanazione del contenuto del digestore e del postdigestore, eseguite prima e dopo l'applicazione della miscela enzimatica: in particolare, confrontando la potenzialità metanigena specifica residua nel post-digestore, si è osservato che essa passa da un valore di 85,6 Nm³CH₄/tSV prima dell'inizio del dosaggio ad un valore di 54,8 Nm³CH₄/tSV alla fine del periodo di somministrazione dell'enzima, con un corrispondente recupero di 30,8

$\text{Nm}^3\text{CH}_4/\text{tSV}$, che rappresenta, appunto, circa l'8% della produzione specifica di metano rilevata presso l'impianto reale prima dell'avvio del dosaggio enzimatico ($311,1 \text{ Nm}^3\text{CH}_4/\text{t SV}$ – Figura 3)).

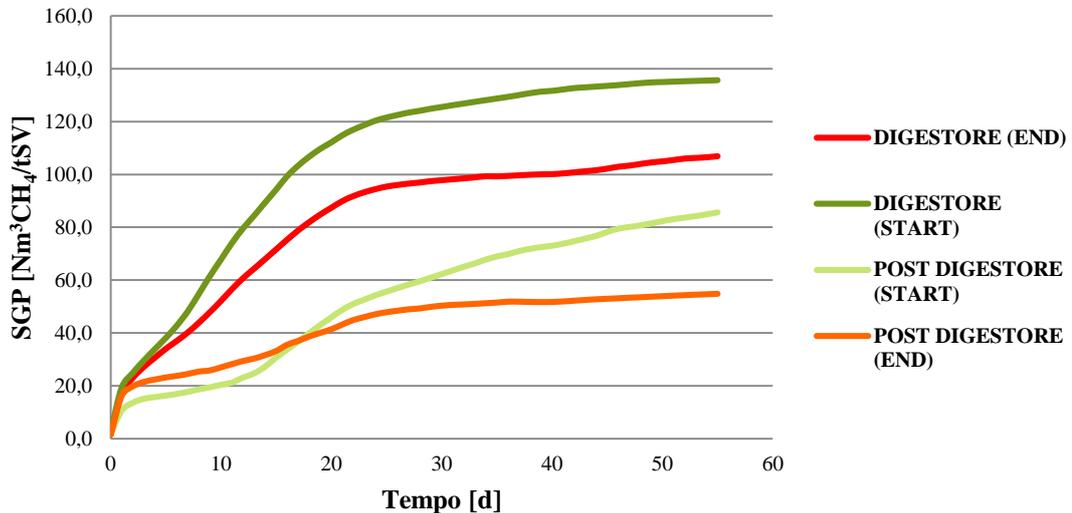


Figura 3: Andamenti SGP a monte e a valle del pretrattamento enzimatico

L'analisi economico-finanziaria, condotta con riferimento ad un periodo di 15 anni e tenendo conto di tutti i costi caratteristici di gestione sostenuti ed evitati in seguito all'attuazione del pretrattamento stesso, ha portato alla determinazione del Valore Attuale Netto (VAN), inteso come sommatoria dei flussi di cassa netti derivanti dall'applicazione del pretrattamento enzimatico attualizzati ad oggi, pari a 280.149 €.

Il valore positivo del VAN, associato agli altri vantaggi gestionali offerti dal pretrattamento enzimatico in termini di semplicità di applicazione, di assenza di onerosi e invasivi adeguamenti della linea impiantistica e di ulteriori oneri gestionali rispetto a quelli richiesti da una gestione ordinaria dell'impianto, confermano la validità e la convenienza economica dell'attuazione di tale tipologia di pretrattamento.

A margine delle considerazioni sopra riportate, occorre osservare che la quantificazione dei benefici ottenibili dal pretrattamento è da intendersi condotta a vantaggio di sicurezza. Occorre, infatti, considerare alcuni aspetti come: la durata della sperimentazione, conclusa in anticipo rispetto al tempo minimo necessario a garantire una stazionarietà della concentrazione dell'enzima anche nel postdigestore;

Abstract

l'energia di miscelazione, che è rimasta inalterata nel corso della sperimentazione sebbene la riduzione della viscosità dovuta all'azione enzimatica avrebbe consentito un risparmio anche da questo punto di vista; la configurazione dell'impianto preso in esame, caratterizzato da un sovradimensionamento delle volumetrie di processo, tale da attenuare i benefici ottenibili dall'introduzione del pretrattamento. I suddetti elementi hanno portato, con ogni probabilità, a sottostimare l'incremento di produttività e di conseguenza i benefici economici derivanti.

Tali aspetti rendono auspicabili ulteriori approfondimenti futuri volti ad una quantificazione di maggior dettaglio degli effetti del pretrattamento enzimatico, prendendo a riferimento altre configurazioni impiantistiche, tempi di indagine più estesi ed anche differenti matrici caratterizzate da un maggior contenuto di fibre (che rappresentano l'oggetto principale dell'azione esplicata dagli enzimi *cellulasi*).

Per quanto attiene ai pretrattamenti meccanici, gli effetti ad essi connessi sono stati valutati sulla base delle prove batch per la determinazione del potenziale biochimico di metanazione sui campioni prelevati presso l'impianto a biogas a servizio di un'azienda agricola situata in provincia di Bologna. Tale impianto fa uso, sulle due distinte linee impiantistiche che lo compongono, di entrambe le tecnologie di pretrattamento meccanico indagate, funzionanti ed in piena scala (Figure 4 e 5).



Figura 4: Estrusore



Figura 5: Trituratore

Abstract

Nello fattispecie, per quanto concerne il pretrattamento di estrusione, da un confronto dei valori degli andamenti di produzione specifica di CH₄ rilevati in presenza e assenza del pretrattamento, ed operando a parità di HRT, è stato rilevato un incremento del valore della costante d'idrolisi del silomais estruso ($k_h = 0,46 \text{ d}^{-1}$) rispetto al silomais tal quale ($k_h = 0,42 \text{ d}^{-1}$), ed un incremento (Figura 6) di producibilità specifica di metano (+3%). Tali effetti sono da associare all'azione meccanica del pretrattamento, che, operando sostanzialmente una riduzione della pezzatura e determinando lo sfibramento del substrato, favorisce una riduzione dei tempi di disgregazione e di idrolisi grazie alla maggiore superficie specifica resa disponibile all'attacco degli enzimi idrolitici.

Analogamente, per quanto riguarda il pretrattamento di triturazione, da un confronto dei valori degli andamenti di produzione specifica di CH₄ rilevati in presenza e assenza del pretrattamento, è stato osservato un incremento del valore della costante d'idrolisi del silomais triturato ($k_h = 0,44 \text{ d}^{-1}$) rispetto al silomais tal quale, ed un incremento (Figura 6) più marcato di producibilità specifica (+8%). In questo caso, i benefici ottenuti sono da associare all'azione del pretrattamento di triturazione che, operando uno sminuzzamento spinto, favorisce anch'esso una riduzione dei tempi di disgregazione e di idrolisi grazie alla maggiore superficie specifica resa disponibile all'attacco degli enzimi idrolitici.

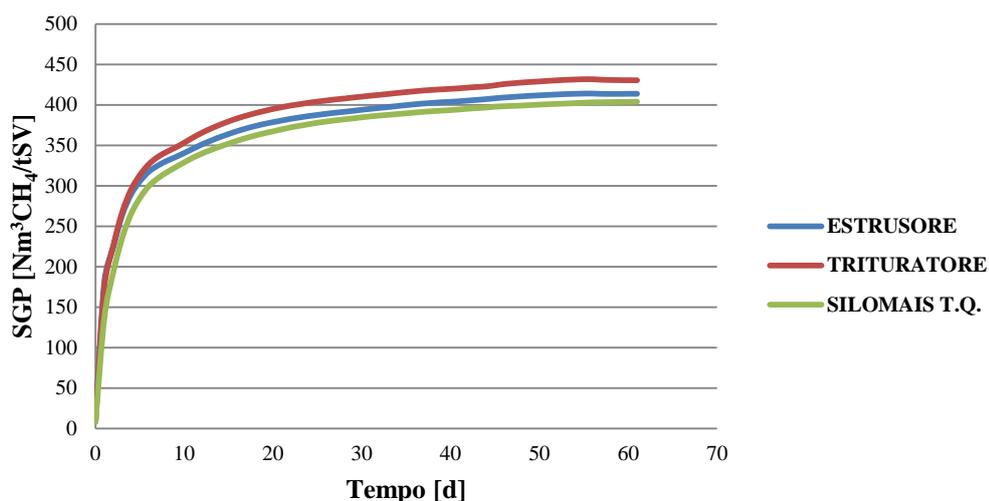


Figura 6: Andamenti SGP, Silomais tal.quale, Silomais Triturato, Silomais Estruso

Abstract

Nel caso dei pretrattamenti meccanici, non essendo stata prevista una campagna di monitoraggio dell'impianto reale, non si è proceduto ad un'analisi economica dettagliata estesa alla vita utile dell'impianto, come invece previsto per il pretrattamento enzimatico. Tuttavia, per il pretrattamento di estrusione è possibile affermare che, a fronte dei benefici riscontrati, sono da considerare alcune voci di costo non previste nel caso del pretrattamento enzimatico, quali: i costi di investimento (piuttosto ingenti) per l'installazione dell'apparecchiatura; i costi di manutenzione ordinaria e straordinaria; i consumi energetici richiesti per la conduzione del pretrattamento.

Si rende auspicabile in futuro effettuare attività di monitoraggio su impianti a scala reale facenti uso di tali tecnologie, al fine di poter quantificare tutti gli elementi atti ad una valutazione tecnico-economica esaustiva. Infine, a valle delle ricerche condotte sia a livello bibliografico che a livello sperimentale sugli impianti in scala reale e di laboratorio, è possibile giungere alla conclusione che, allo stato attuale, l'impiego sempre più diffuso delle biomasse vegetali o animali come fonti rinnovabili di energia termica ed elettrica, pone importanti sfide al mondo della ricerca e dell'industria, relativamente al concepimento e allo sviluppo di tecnologie e processi di trattamento sempre più efficienti e innovativi, volti al raggiungimento di una condizione ottimale di utilizzo delle biomasse stesse, il più possibile coerente ed in linea con il concetto di sviluppo sostenibile.