

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in
Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio
Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale

Abstract

**INDAGINI SPERIMENTALI
SUI MECCANISMI DI DISINTEGRAZIONE DI SUBSTRATI ORGANICI
NEI PROCESSI DI DIGESTIONE ANAEROBICA**

RELATORE

Prof. Ing. Francesco Pirozzi

CANDIDATO

Antonio Recetano 518/259

CORRELATORI

Ing. Giovanni Esposito
Ing. Antonio Panico

ANNO ACCADEMICO 2009-2010

ABSTRACT

La tecnica della **digestione anaerobica** di substrati carboniosi risulta essere tra quelle più promettenti e di maggior rilevanza per il trattamento della frazione organica dei rifiuti solidi urbani, in quanto consente di abbinare il recupero e la valorizzazione delle materie seconde al recupero di biogas.

Il **biogas** è una miscela composta per il 55-75% da metano (Vismara, 2008), derivante dalla fermentazione, in condizioni di anaerobiosi (assenza di ossigeno), di biomasse di diversa natura, che può essere convenientemente utilizzato per produrre energia termica ed elettrica.

In Italia la digestione anaerobica, o per meglio dire la co-digestione anaerobica, copre l'1% dell'energia totale prodotta, la maggior parte della quale è associata al biogas da discarica, che costituisce di fatto un digestore anaerobico a bassa tecnologia e a bassa efficienza.

I substrati alimentabili ad un processo di digestione anaerobica sono molteplici e spaziano da residui in forma semisolida, quali i fanghi di depurazione e reflui industriali ed agroindustriali, a biomasse solide, quali residui vegetali, energy crops e la frazione organica putrescibile dei rifiuti (FORSU). La co-digestione anaerobica della frazione organica putrescibile con altri tipi di substrato apre interessanti prospettive di mercato, sia ai gestori di impianti di trattamento delle acque reflue, in quanto la maggior parte dei digestori anaerobici dei fanghi presenti negli impianti sono sotto-utilizzati, sia alle aziende agricole, le quali possono trattare per via anaerobica rifiuti organici di origine appunto agricola e zootecnica e possono proporre la propria tecnologia alle pubbliche aziende di gestione degli RSU.

Le ricerche e gli studi che portano ad un'evoluzione del processo di digestione anaerobica si muovono, in tal senso, verso una migliore e più specifica *conoscenza* dei meccanismi caratterizzanti tutte le trasformazioni biochimiche, al fine di pervenire ad un'ottimizzazione dell'intero processo e quindi ad una massimizzazione della produzione di metano.

In tale contesto si inserisce il presente lavoro di tesi sperimentale.

L'**obiettivo** del lavoro presentato è quello di valutare il potenziale di biometanazione (BMP) ed identificare la cinetica di tipo superficiale nella fase di disintegrazione per quei substrati composti che si presentano in forma particolata, come ad esempio scarti ortofrutticoli, FORSU ed energy crops.



È stata selezionata, come matrice organica nella fase di sperimentazione, pasta di farina di semola di grano duro, utilizzata in forma di diversa granulometria: nello specifico, le dimensioni utilizzate sono state quelle di 5, 10, 15 e 20 millimetri di diametro. La scelta del substrato è stata effettuata considerando un prodotto che fosse composito, che si presentasse in forma particolata ed avesse una debole aggregazione superficiale delle particelle.

Per la valutazione del potenziale di biometanazione, sono stati riprodotti in scala banco, nel laboratorio di Ingegneria Sanitaria-Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", **reattori** di digestione anaerobica "batch", in grado di stimare i volumi di metano prodotti dalla degradazione della matrice



organica oggetto di studio, in funzione di un particolare parametro qual'è appunto la *pezzatura* del substrato stesso.

Sono state utilizzate, come reattori, bottiglie Schott del volume complessivo di 1000cc, all'interno delle quali sono state introdotte miscele a *matrice organica*, costituite da: pasta di farina di semola di grano duro, lavorata in maniera opportuna per le finalità della sperimentazione; *inoculo*, fango mesofilo prelevato da un impianto di digestione anaerobica della provincia di Salerno, per il trattamento dei reflui caseari; *soluzione tampone*, Na_2CO_3 , carbonato di sodio anidro; *acqua di rete*, in quantità tale da raggiungere un valore di solidi totali pari al 7%.

Prima di avviare il processo di digestione anaerobica, sono state condotte una serie di analisi, sia sulla biomassa che sul substrato (pasta), per la determinazione delle loro qualità, indispensabili per una corretta impostazione della ricerca e per l'elaborazione dei dati ottenuti. In particolare, le analisi sono state le seguenti: umidità e residuo secco, inserendo il campione in una stufa a 105°C ; solidi volatili, inserendo il campione in muffola a 600°C ; pH e COD.

Riguardo all'organizzazione delle prove sperimentali, per ogni tipo di miscela è stata condotta una prova in triplo, ossia sono stati preparati tre reattori con le medesime caratteristiche in ingresso. Ai 12 reattori preparati per le prove in triplo sono stati poi aggiunti altri tre reattori per implementare, sempre in triplo, una prova in bianco, ossia con solo inoculo, al fine di valutare il potenziale di biometanazione dello stesso. I complessivi 15 bioreattori sono stati

inseriti all'interno di tre differenti bagni termostatati contenenti ognuno dei quali un relativo termostato utilizzato per il raggiungimento di una temperatura pari all'incirca a 36°C.

Il metodo utilizzato per la misurazione del biogas è quello volumetrico che permette di ottenere informazioni relative alla quantità di metano prodotto. A tale scopo, bisogna scegliere opportunamente le soluzioni in cui far gorgogliare il biogas. Si è ricorsi ad una soluzione basica (soda al 2%), che, solubilizzando la CO₂ del biogas, consente di rilevare il solo metano generato dalla digestione. Le letture sono state effettuate con cadenza giornaliera nella fase in cui si è avuta una elevata produzione di metano; successivamente, data la bassa produzione di metano, si è ritenuto opportuno effettuare le letture ad intervalli di tempo via via crescenti (2, 3, 5, 10 giorni) in maniera tale da evitare delle dispersioni e per effettuare una misura quanto più possibile accurata.

Tra gli **approcci matematici** relativi alle cinetiche di disintegrazione in un processo di trattamento biologico quale la co-digestione anaerobica, è stato analizzato il *Surface-area based disintegration model*, ossia una cinetica di disintegrazione di tipo superficiale, basata sulla disponibilità di superficie specifica offerta dal substrato presente nel sistema:

$$\frac{dM_s}{dt} = -k_{sbk} \cdot A$$

dove M_s = massa del substrato [M]; k_{sbk} = costante di disintegrazione di tipo superficiale [M L⁻²T⁻¹] e A = area superficiale offerta dal substrato M_s disponibile per la disintegrazione [L²].

È possibile effettuare una suddivisione della cinetica di tipo superficiale in due differenti famiglie:

✓ SPM = Shrinking particle model – modello a riduzione di particella (Sanders et al. (2000), Esposito et al. (2008-2009)): assume che il processo di disintegrazione non comporta la rottura delle particelle, ma riduce continuamente il diametro delle stesse. In questo caso l'equazione viene riscritta come:

$$\frac{dX}{dt} = -k_{sbk} \cdot a^* \cdot X$$

dove k_{sbk} è sempre la costante cinetica di disintegrazione [M L⁻²T⁻¹] ed a^* = coefficiente di superficie specifica massica [L² M⁻¹]. In tale formulazione la dipendenza con la superficie è racchiusa nel coefficiente a^* , che non si determina sperimentalmente ma è dato in quanto funzione della granulometria.

✓ PBM = Particle breakup model - Modello a rottura di particella (Dimock et al. (2005); Morgenroth et al. (2006)): assume che le particelle si rompono in frammenti più piccoli

durante la disintegrazione. La rottura delle particelle porta quindi ad un incremento della superficie disponibile durante l'avanzamento della fase di disintegrazione.

Invece di usare a^* , l'area superficiale è modellata basandosi su una superficie in rapporto al volume che è variabile (f_{av} [L^{-1}]) moltiplicata col valore totale di C:

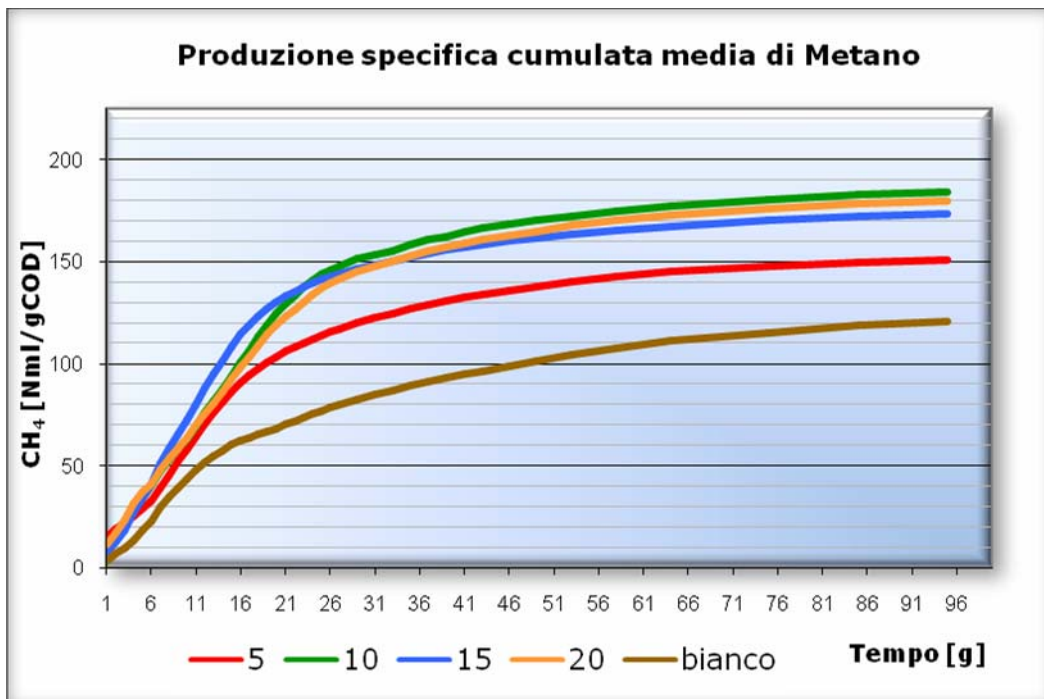
$$\frac{dX_S}{dt} = -k'_H \cdot f_{av} \cdot X_S = \rho_{PBM}$$

dove k'_H è la costante di disintegrazione modificata [$L T^{-1}$]. In questa espressione, f_{av} non è un parametro costante ma una variabile che aumenta con la rottura delle particelle.

Con un periodo di osservazione di 95 giorni, si evince che, per la matrice organica selezionata, la granulometria iniziale non comporta effetti rilevanti ai fini sia della quantità di metano prodotto sia della velocità di produzione del metano stesso.

Escludendo infatti la miscela con granulometria più piccola – 5 mm -, la cui produzione è stata alquanto bassa, tutte le altre miscele (10, 15, 20 mm) hanno mostrato un andamento della produzione cumulata media pressoché uguale: è stato possibile suddividere le relative curve di 10, 15 e 20 mm in tre porzioni, paragonabili tra di loro sia per l'intervallo di tempo sia per la velocità caratteristica (pendenza della curva di biometanazione).

Il substrato organico deve subire varie fasi di pretrattamento prima di essere inserito all'interno del digestore.



In quest'ottica i risultati ottenuti da questa sperimentazione risultano essere di notevole interesse, in quanto potrebbe essere possibile evitare quei costi dovuti ai pretrattamenti volti alla riduzione delle dimensioni del substrato.

Ciò può avvenire ipotizzando di utilizzare esclusivamente quelle matrici organiche caratterizzate da una debole aggregazione superficiale delle particelle.

Per quanto riguarda la miscela con granulometria più piccola, la differenza di produzione mostrata rispetto alle altre miscele può essere attribuita probabilmente ad una fase acidogenica molto intensa: il substrato, essendo di diametro minore, è stato inizialmente degradato più velocemente; di conseguenza è plausibile ipotizzare che ci sia stata una formazione di acidi di molto superiore rispetto alla capacità dei microrganismi metanigeni di metabolizzare gli acidi stessi, inibendo così, in parte, la produzione di metano.

È possibile quindi che non ci sia stata una degradazione totale della sostanza organica: tale ipotesi richiede una eventuale verifica che sarà effettuata nel prosieguo della sperimentazione, tutt'ora in corso.

In relazione agli aspetti prettamente modellistici, dallo studio si evince che la cinetica superficiale che regola la fase di disintegrazione per il tipo di substrato organico utilizzato è sicuramente il *break-up model* (Dimock et al. (2005); Morgenroth et al. (2006)): la degradazione della sostanza organica - ad opera dei microrganismi anaerobi - avviene attraverso una *rottura* delle particelle, con conseguente aumento della superficie specifica disponibile per la fase successiva d'idrolisi; in particolare, tale rottura causa il raggiungimento di uno stesso valore della superficie specifica al variare della dimensione del substrato. Pertanto, l'utilizzo di una diversa granulometria non influisce sul rendimento del processo.

Dalle conclusioni effettuate si evince la necessità di effettuare ulteriori prove di biometanazione per substrati che seguono approcci cinetici superficiali basati sullo *shirinking*, ossia sulla progressiva riduzione delle dimensioni delle particelle, al fine di:

- ✓ Classificare i substrati in base all'approccio cinetico da essi seguito;
- ✓ Calibrare e Validare eventuali modelli di simulazione dei due approcci.