

**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 e Ambientale

*Abstract*

**DISINTEGRAZIONE DI SUBSTRATI ORGANICI NEL  
PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA:  
INDAGINI SPERIMENTALI E  
MODELLAZIONE MATEMATICA**

Relatore:  
**Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi**

Candidata:  
**Marialuisa Gargiulo**

Correlatore:  
**Ing. Luigi Frunzo**

Matricola 049/001125

**Anno Accademico 2009-2010**

## **Abstract**

Nel panorama di disagi e difficoltà creati dallo smaltimento dei rifiuti, come è quello odierno in Italia, emerge la necessità di migliorare le tecnologie di gestione nel rispetto delle sempre più restrittive norme e nel rispetto dell'ambiente.

Un'ottima soluzione è rappresentata dai sistemi di co-digestione anaerobica che già da qualche decennio si vanno diffondendo in Europa. Lo scopo a cui si mira non è univoco, ma presenta una pluralità di obiettivi: si vuole trasformare un problema, come è quello dei rifiuti, in una fonte redditizia di energia, un'energia a buon mercato e con un impatto ambientale decisamente ridotto rispetto a quello delle fonti fossili convenzionali. Ulteriore vantaggio è la produzione, al termine del processo di digestione anaerobica, di un materiale per nulla considerabile come rifiuto, ma a tutti gli effetti come prodotto commerciale di ottima qualità, se opportunamente trattato.

In Italia sono presenti numerosi impianti di digestione anaerobica dei reflui zootecnici e dei fanghi di depurazione, questi ultimi spesso sovradimensionati, ubicati peraltro in aree prossime a quelle ove ha luogo la produzione dei rifiuti. Tali impianti producono considerevoli quantità di energia elettrica utilizzata direttamente dalle aziende proprietarie che risultano essere quasi del tutto autosufficienti da un punto di vista energetico, soprattutto se è prevista la riutilizzazione del calore prodotto dalla combustione del **biogas**.

L'**obiettivo** del lavoro di tesi presentato è lo studio del potenziale di biometanazione di una precisa matrice organica selezionata, al fine di estrapolare curve di produzione di metano utili alla comprensione dei processi cinetici che intervengono nella fase di disintegrazione/idrolisi in un processo di digestione anaerobica.

Tale fase è ritenuta la più lenta dell'intero processo a causa della complessità dei substrati che possono essere inviati a digestione e, pertanto, risulta essere la fase limitante il processo stesso.

Per la sperimentazione in oggetto la scelta è ricaduta su un substrato composito, quale è la pasta di semola di grano duro, per il quale sono stati studiati i meccanismi fisici che avvengono in fase di disintegrazione. A tal fine sono stati prodotti, a partire da un impasto selezionato, "gnocchetti" di diversa granulometria: 10 mm, 15 mm e 20mm (Figura 1).



**Figura 1** - Sfere di pasta di granulometria di 10, 15 e 20 mm.



**Figura 2** - Fango utilizzato come inoculo.

Per le attività sperimentali sono stati realizzati, nel laboratorio del dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica ed Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", reattori di co-digestione anaerobica in modalità batch, con sistema ad umido in regime mesofilo, per i quali si sono effettuate le misurazioni dei volumi di metano prodotti da 4

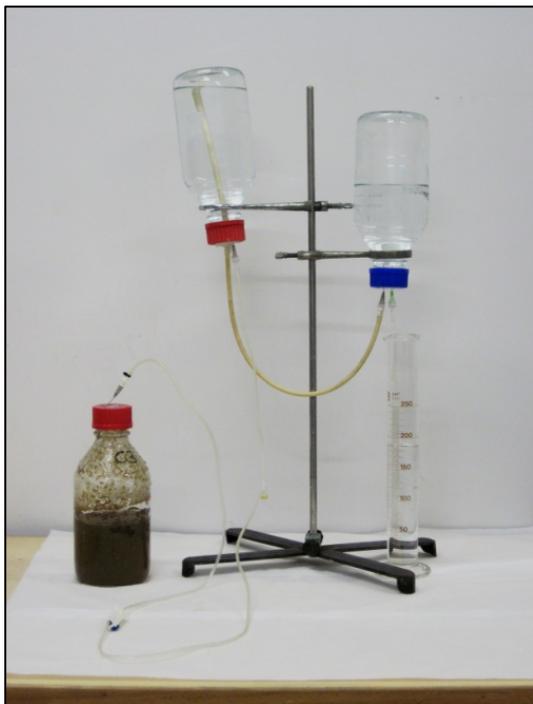
differenti miscele in ingresso. Come reattori sono state utilizzate bottiglie Schott del volume complessivo di 1000cc, all'interno delle quali sono state introdotte miscele costituite da: *sfere di pasta* delle tre granulometrie sopra descritte e da un *digestato* prelevato da un impianto di trattamento di reflui zootecnici (Figura 2); *soluzione tampone* di carbonato di sodio anidro,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , al fine di evitare inibizioni da pH acidi; *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 sull'inoculo (fango) che sul substrato (pasta), per la loro caratterizzazione indispensabile 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, solidi volatili, pH e COD.



**Figura 3** - Bagni termostataati allestiti.

Le prove sperimentali sono state organizzate in triplo, ossia sono stati preparati tre reattori con le medesime caratteristiche in ingresso. I complessivi 9 reattori anaerobici sono stati inseriti all'interno di tre differenti bagni termostataati (Figura 3), mantenuti ad una temperatura pari a circa 36°C. A questi sono stati aggiunti altri tre reattori per implementare una prova, sempre in triplo, con solo inoculo (definita *prova in bianco*) al fine di valutare il potenziale di biometanazione dello stesso.



**Figura 4** - Sistema di misura volumetrico adottato.

Il metodo utilizzato per la misurazione del biogas è di tipo volumetrico (Figura 4) e permette di ottenere informazioni relative alla quantità di metano prodotto. Si è fatto gorgogliare il biogas prodotto all'interno di una opportuna soluzione basica (soda al 2%), che, solubilizzando la CO<sub>2</sub> del biogas, consente di rilevare il solo metano generato dalla digestione. Le misurazioni sono state effettuate con cadenza giornaliera nella fase iniziale (circa 25 giorni) in cui si è avuta la maggiore produzione di metano; successivamente, in seguito alla diminuita produzione, si è ritenuto opportuno ricorrere ad intervalli di tempo via via crescenti (ogni 2, 5, 10 e 15 giorni) per effettuare una misura quanto più possibile

accurata. Si è ritenuto, infatti, che una produzione inferiore ai 70-80 ml inficiasse la bontà della misurazione stessa.

Il secondo passo della sperimentazione è stato quello di tradurre i meccanismi fisici appresi in espressioni cinetiche da inserire in un modello matematico di digestione anaerobica ormai consolidato dall'esperienza. Il modello matematico scelto è l'*Anaerobic Digestion Model n°1 (ADM1)* proposto dall'IWA (International Water Association) nel 2000.

Sono stati ipotizzati due differenti approcci cinetici:

- una cinetica dipendente dalla concentrazione del substrato presente nel sistema;
- una cinetica funzione della superficie del substrato avviato a processo di digestione anaerobica.

L'equazione matematica che regola il primo approccio è la seguente:

$$\frac{dX_S}{dt} = -k \cdot X_S$$

dove  $X_S$  = concentrazione del substrato presente nel sistema in forma particolata [ML<sup>-3</sup>];  
 $k$  = costante di disintegrazione del primo ordine [T<sup>-1</sup>]. Tale equazione già risulta idonea per la modellazione di processi di digestione anaerobica di fanghi di depurazione.

Per quanto riguarda il secondo approccio, grazie all'introduzione di un coefficiente di superficie specifica  $a^*$  dipendente dalla granulometria del substrato in ingresso, si può descrivere la cinetica di disintegrazione/idrolisi mediante una costante  $K_{sbk}$  dipendente solo dalla natura del substrato.

$$\frac{dC}{dt} = -K_{sbk} \cdot C \cdot a^*$$

in cui  $K_{sbk}$  = costante superficiale di idrolisi [ $\text{Kg}/\text{m}^2\text{giorni}$ ],  $C$  = concentrazione [ $\text{KgCOD}/\text{m}^3$ ],  $a^*$  = coefficiente di superficie specifica [ $\text{m}^2/\text{KgCOD}$ ].

E' stato necessario calibrare il modello. Tale fase di calibrazione ha mostrato che l'approccio corretto è quello che prende in considerazione una cinetica dipendente dalla concentrazione del substrato, poiché durante la fase di disintegrazione sono avvenuti fenomeni di tipo **break-up** che hanno portato alla rapida rottura delle particelle e, quindi, all'ininfluenza del diametro iniziale sulle velocità di degradazione.

Dalla studio effettuato si evince che per una matrice organica costituita prevalentemente da carboidrati, la granulometria iniziale non influisce in modo rilevante né sulla velocità di degradazione del substrato né sulla quantità di metano prodotto. Questo è dimostrato dal fatto che le tre miscele hanno prodotto, a parità di condizioni esterne e di tempo di sperimentazione, una quantità di metano (produzione cumulata media) paragonabile (Figura 5).

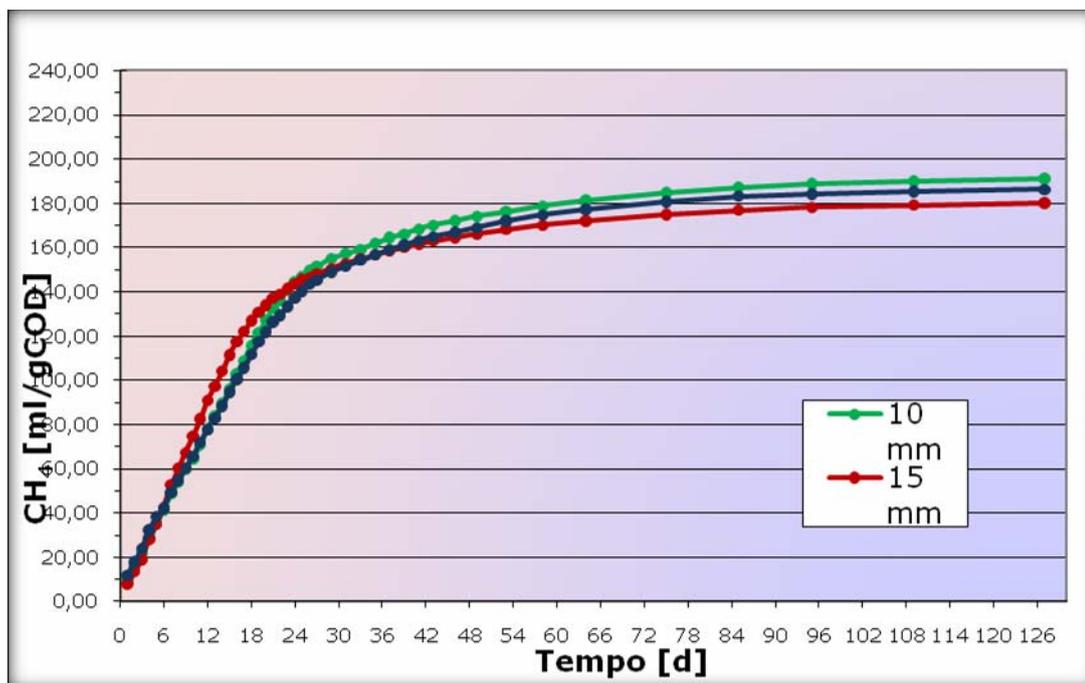
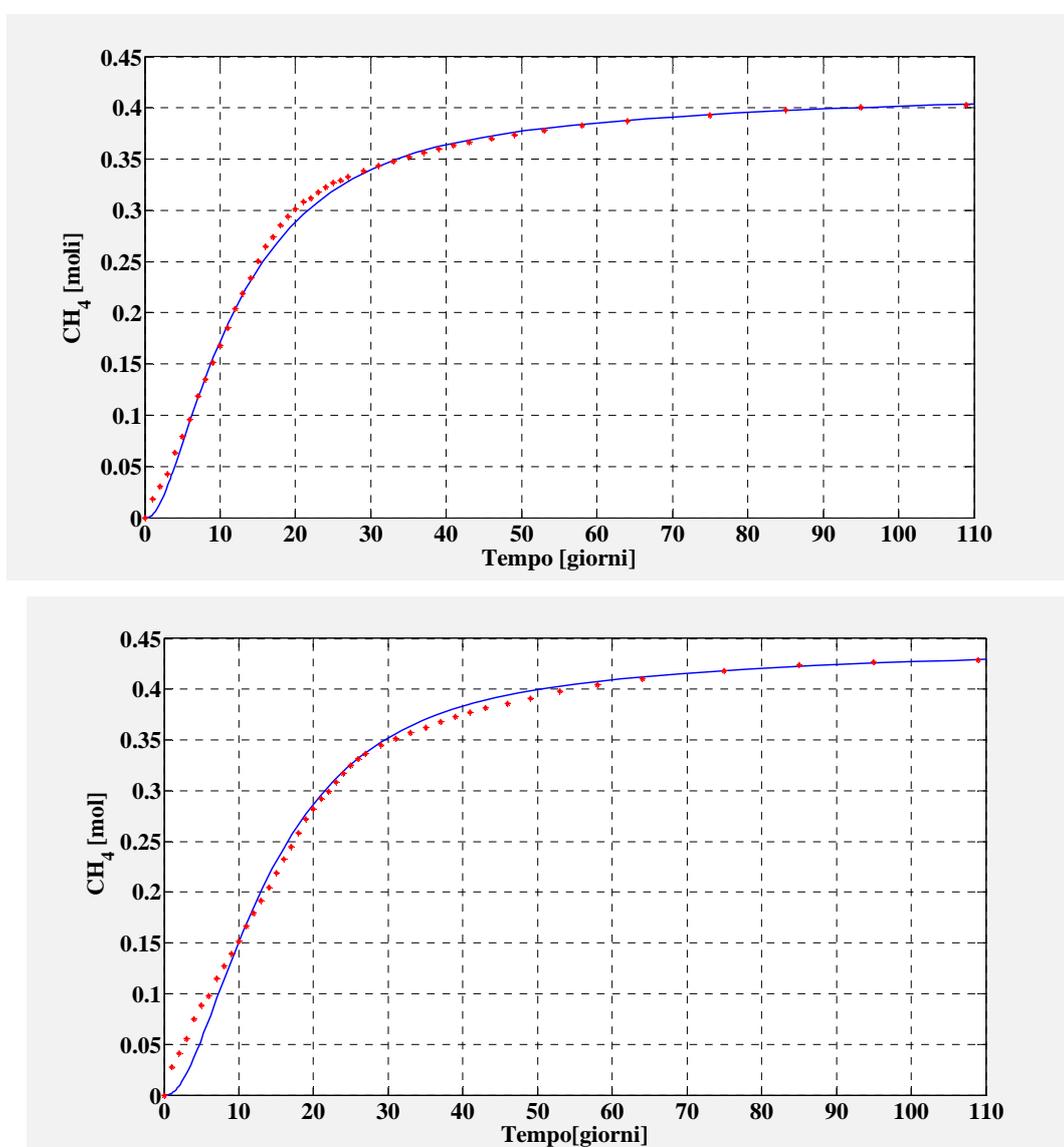


Figura 5 – Produzione cumulata di metano per i vari bagni.

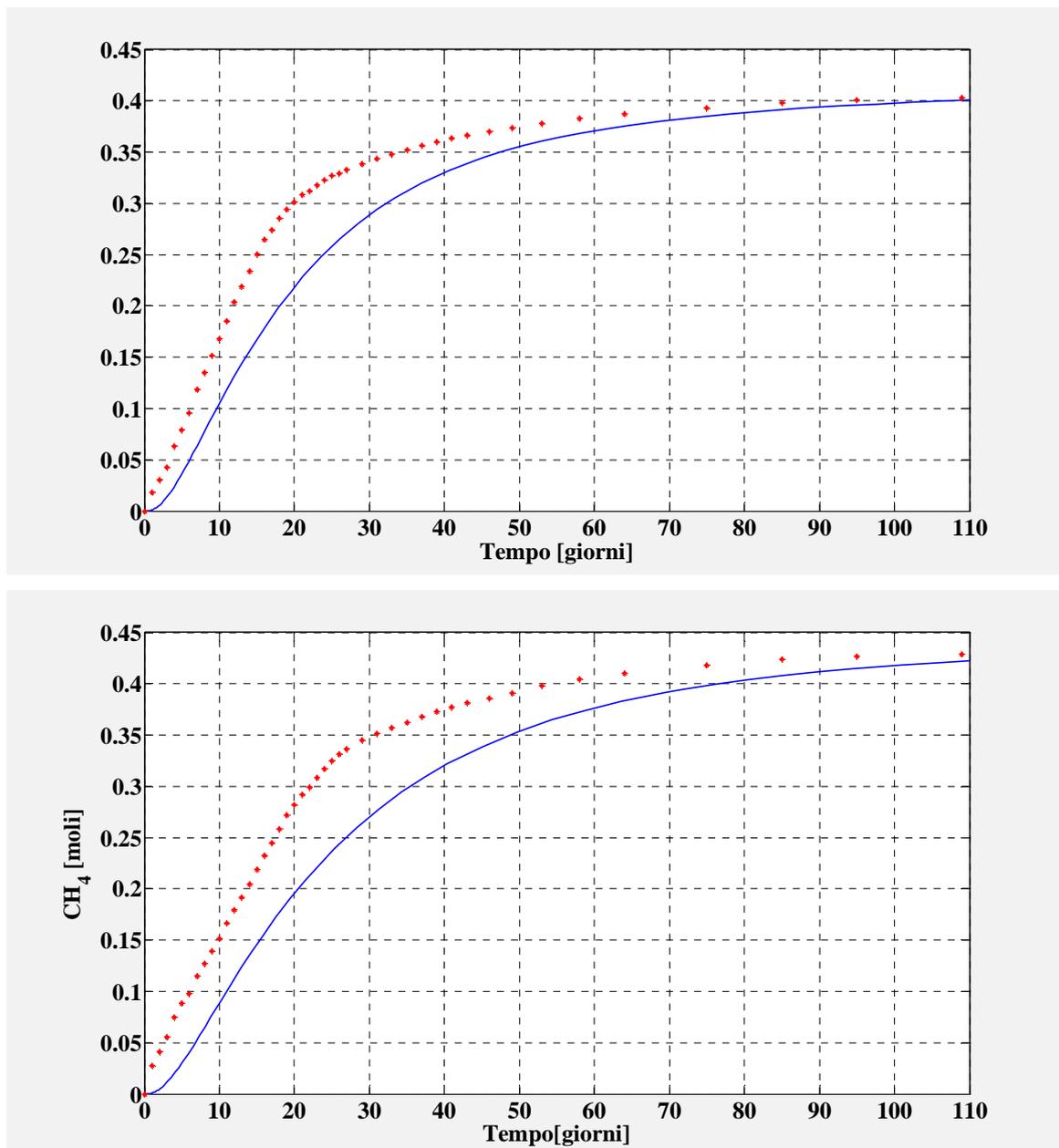
Suddividendo le curve di produzione cumulata delle singole miscele in tre porzioni paragonabili tra loro per intervallo di tempo e velocità caratteristica e determinando la pendenza media di ogni porzione di curva è stato possibile ottenere le velocità di produzione del metano che, come nel caso della quantità, si sono rivelate paragonabili.

Dal punto di vista modellistico si è verificato, validando il modello (Figura 6) che l'approccio cinetico che regola la fase di disintegrazione/idrolisi del substrato organico è proprio di tipo *break-up*: ovvero le particelle di substrato si rompono dapprima in frammenti più piccoli (fase di disintegrazione) che sono poi idrolizzati (fase di idrolisi). In questo modo il processo non è più dipendente dalla granulometria del substrato, che si è modificata, ma dipende unicamente dalla concentrazione di substrato nel sistema.



**Figura 6** – Corrispondenza tra la curva teorica (•••••) e la curva sperimentale (—), rispettivamente nel caso della granulometria 15 e 20 mm.

La conferma si è ottenuta confrontando i risultati ottenuti dall'approccio cinetico suddetto con i dati ottenuti dall'applicazione del modello matematico con cinetica di tipo superficiale (approccio di tipo *shrinking*) (Figura 7).



**Figura 7** - Curve di produzione di metano teoriche e sperimentali (rispettivamente con riferimento alla granulometria di 15 e 20 mm).

Per un'ulteriore conferma dei dati sperimentali ottenuti è auspicabile eseguire test simili su una matrice che possa, teoricamente, presentare un comportamento analogo per arrivare poi alle prove su matrice reale. Come in ogni campo, lo studio dei vari processi e la modellazione degli stessi, sono fasi indispensabili per passare da una fase

teorica e sperimentale alla fase di dimensionamento e gestione di impianti reali di co-digestione anaerobica.