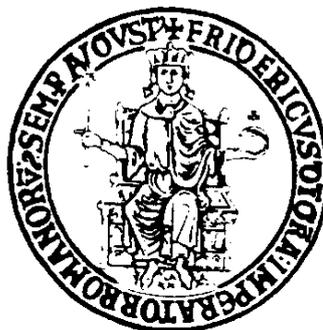


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

**“INDAGINI SPERIMENTALI VOLTE ALL'ANALISI DELLE PRESTAZIONI DI DUE
IMPIANTI DI DIGESTIONE ANAEROBICA IN SCALA DI LABORATORIO,
ALIMENTATI CON LA FRAZIONE ORGANICA BIODEGRADABILE DEL RIFIUTO
SOLIDO URBANO”**

Relatore

Ch.mo Prof. Ing. Francesco Pirozzi

Candidata

***Ester Scotto di Perta
matricola M67/98***

Correlatore

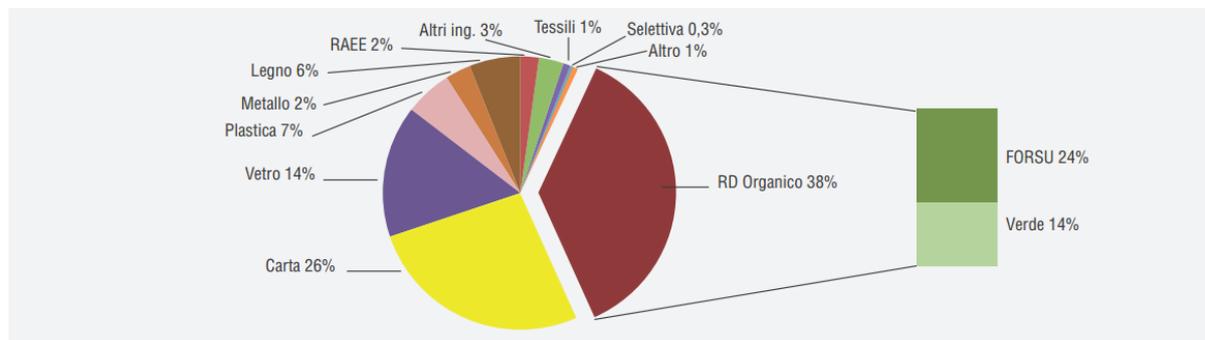
Ing. Luigi Frunzo

Anno Accademico 2012 - 2013

ABSTRACT

La gestione dei rifiuti rappresenta uno dei problemi di maggiore importanza nella società contemporanea.

Il consolidamento dell'attuazione delle normative, volte alla riduzione dei rifiuti destinati alla discarica, in particolare quelli biodegradabili (Direttiva 2006/12 EC), sia all'obbligatorietà del trattamento prima di qualunque loro riuso, recupero o conferimento in discarica (D.lgs 152/2006), ha incentivato la messa a punto di sistemi integrati di trattamento che prevedono quale fase iniziale la raccolta differenziata dei rifiuti. In Italia, la raccolta differenziata (RD) di umido (FORSU-Frazione Organica Rifiuti Solidi Urbani) e scarto verde rappresenta il primo settore di recupero materiale di RU, con 4,5 milioni di tonnellate di FORSU e verde trattate nel 2011, che costituiscono il 38% dei rifiuti urbani raccolti in maniera differenziata (Figura 1).



Fonte: Elaborazione CIC su dati ISPRA 2013

Fig. 1 Quote delle filiere di recupero di rifiuti urbani in Italia (%) - 2011

Gli attuali metodi di smaltimento, principalmente discarica e compostaggio, sono limitati sia dalla disponibilità di siti di smaltimento che dalle regolamentazioni maggiormente rigorose per le emissioni di gas serra.

Oltre al problema dell'efficiamento del ciclo di smaltimento dei RSU, di grande attualità risultano essere altresì i problemi legati all'approvvigionamento energetico. A tal proposito le direttive internazionali hanno dato un forte incentivo allo sviluppo di tecnologie di produzione di energia da fonti rinnovabili sempre più competitive. Tra queste assume particolare interesse la Digestione Anaerobica, che può essere utilizzata come metodo di smaltimento alternativo dei rifiuti organici, poiché permettere il duplice obiettivo dello smaltimento e del recupero energetico, attraverso l'utilizzo del biogas prodotto, il quale possiede un elevato potere calorifico ($4000-5000 \text{ kcal/Nm}^3$) e pertanto può essere convenientemente convertito in quasi tutte le forme di energia utili.

Nello specifico, la digestione anaerobica è un processo spontaneo, operato da particolari specie microbiche, in assenza di ossigeno, che consente di convertire la sostanza organica in biogas, una miscela costituita principalmente da metano e anidride carbonica. Affinché il processo abbia luogo è necessaria l'azione di diverse specie microbiche, che necessitano di differenti condizioni dell'ambiente di reazione. La crescita contemporanea di tutti i microrganismi

coinvolti con l'ottenimento delle condizioni di processo ottimali richiede soluzioni tecnologiche sempre più innovative. Nelle convenzionali applicazioni, le diverse famiglie di batteri si sviluppano insieme in reattori a **singolo stadio**, dove si viene a creare un delicato equilibrio tra di esse, comportando spesso problemi in termini di stabilità e controllo del processo. Negli ultimi anni si sono sviluppati diverse soluzioni tecnologiche al fine di ottimizzare il processo di DA. Particolare interesse è stato rivolto al processo "**a doppio-stadio**" che vede la separazione in due fasi: una prima fase di Acidificazione ed una seconda fase di Metanizzazione. In tale ambito è stato inquadrato il lavoro di tesi, il quale è stato incentrato sul confronto, in termini prestazionali, tra la tecnologia a doppio-stadio con la più consolidata configurazione a monostadio.

A tal fine si sono adoperati due reattori CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) in scala laboratorio, alimentati in modalità semi-continua e adoperando per entrambi i sistemi le stesse condizioni operative. Per garantire il regime mesofilo del processo, è stata mantenuta, per tutta la durata della sperimentazione, una temperatura di 38 °C. Sono state inoltre eseguite una serie di analisi giornaliere, volte alla determinazione dei principali parametri che garantiscono la stabilità del processo: pH, alcalinità, il rapporto FOS/TAC, produzione di biogas, concentrazione degli acidi volatili grassi (VFAs), azoto ammoniacale, e composizione del biogas.

Per quanto concerne la matrice organica di alimentazione, si è scelto di operare con un substrato preparato sinteticamente in laboratorio, che tende a riprodurre la composizione media della FORSU in Europa; in modo da consentire una migliore riproducibilità delle condizioni sperimentali e di disporre sempre di substrato fresco e il più possibile omogeneo. Per ottimizzare le condizioni di biodegradazione del substrato da parte dei microrganismi, nonché garantire un'efficace miscelazione del materiale all'interno del reattore ed una sua migliore manipolazione, la FORSU è stata sottoposta ad un'operazione di macinazione ed omogeneizzazione prima di essere immessa all'interno del reattore. Infine, nella fase di alimentazione si è scelto di diluire il substrato ricircolando la fase liquida del digestato. Questo oltre a garantire la costanza delle volumetrie, favorisce il mantenimento delle condizioni di pH ottimali per lo sviluppo dei batteri metanigeni entro certi limiti; mediante il sistema tampone, dato dagli acidi deboli, dall'acido carbonico (prodotto dalla CO₂ in soluzione acquosa) e dal contenuto in ammoniaca.

I reattori sono stati avviati utilizzando un inoculo costituito da fango mesofilo, proveniente da un digestore anaerobico in scala reale della provincia di Salerno, in cui vengono trattati reflui zootecnici. L'utilizzo dell'inoculo favorisce lo sviluppo del consorzio batterico, fungendo da catalizzatore del processo di digestione anaerobica.

L'avviamento del reattore è avvenuto a partire da un carico organico volumetrico di substrato applicato, pari a:

$$\text{OLR} = 0,3 \frac{\text{g VS}}{\text{l} \cdot \text{giorno}}$$

Esso è stato periodicamente incrementato in maniera tale da poter registrarne le risposte, contemporaneamente in entrambi gli impianti. A tal fine sono stati esplorati le variazioni di pH,

effettuando l'intero processo di digestione a pH naturale, ossia senza l'utilizzo di soluzioni per il controllo del pH.

Di seguito sono riportati i valori di OLR utilizzati:

GIORNI	OLR (g/l·giorno)	g DI SOLIDI VOLATILI	
		monostadio	Bi-stadio
giorno 1	0,3	1,32	0,66
giorno 119	0,4	1,76	0,88
giorno 126	0,5	2,2	1,1
giorno 133	0,6	2,64	1,32
giorno 182	0,9	3,96	1,98

Tab 1 Carico organico volumetrico di substrato applicato

L'elaborazione dei dati relativi all'attività di monitoraggio dei due differenti sistemi sperimentali, ha consentito di individuare, a parità di substrato alimentato e condizioni operative, le differenti efficienze tra le due configurazioni impiantistiche. In particolare, dall'analisi dei risultati ottenuti si è evinto che:

- Il sistema a doppio stadio presenta una concentrazione di solidi totali nell'effluente minore, pari a circa la metà, rispetto al sistema a singolo stadio. All'aumentare del carico le differenze in termini di rimozione dei ST e SV risultano essere più marcate (Figura 2);

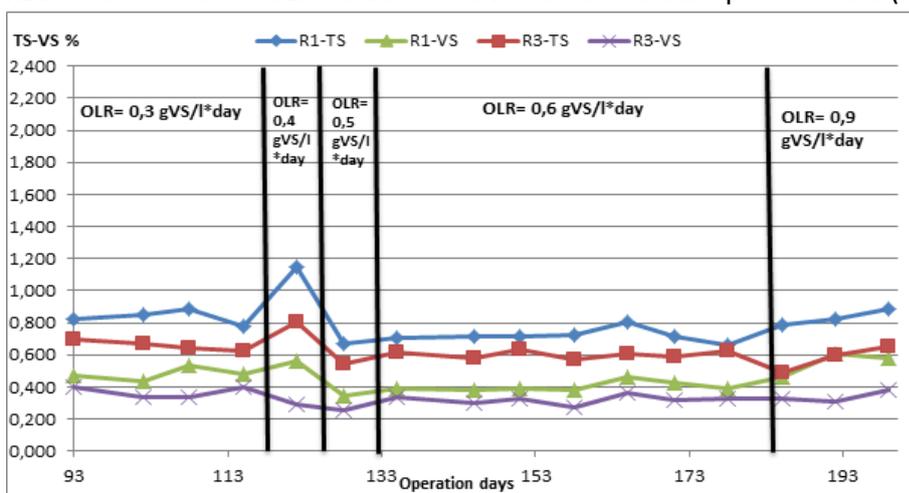


Fig. 2 Andamento delle concentrazioni di ST e SV dal giorno 93° al 200° di sperimentazione

- Il sistema a doppio stadio presenta un biogas con un tenore di metano e quindi con un potere calorifico più elevato. Le percentuali di metano del reattore bi-stadio hanno presentato valori medi all'interno del range 50-60%, a differenza del reattore monostadio, dove invece si sono registrati valori all'interno del range 40-50% (Figura 3);

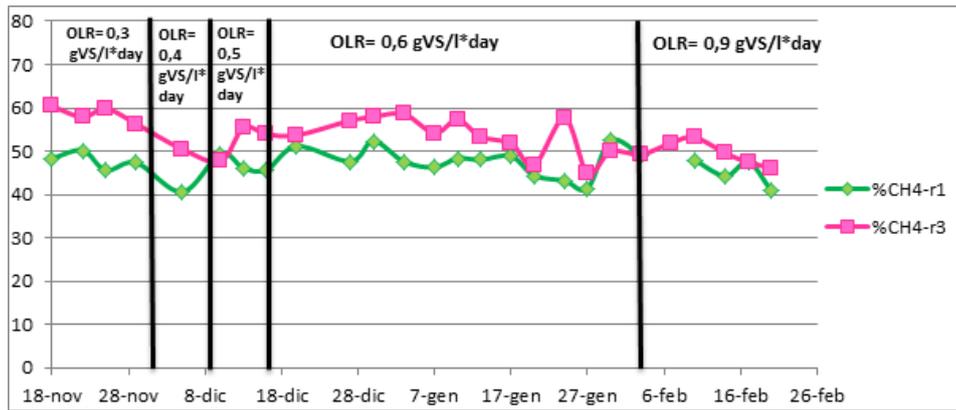


Fig. 3 Andamento delle percentuali di CH₄

- Il sistema a doppio stadio presenta un pH maggiore rispetto a quello misurato nel digestore monostadio e quindi una stabilità del processo maggiore, dovuta al fatto che la fase acida del sistema bi-stadio protegge la fase metanigena dalla rapida acidificazione;
- Il sistema a doppio stadio presenta una produzione di CH₄ maggiore di circa il 10%;
- Il sistema a doppio stadio presenta una resistenza inferiore agli accumuli di ammoniaca. Verso la fine della sperimentazione, si è registrato, infatti, un incremento della concentrazione di azoto ammoniacale, che ha superato il valore limite oltre il quale si è avuta l'inibizione parziale dell'attività metanigena a discapito della produzione di metano (Figura 4).

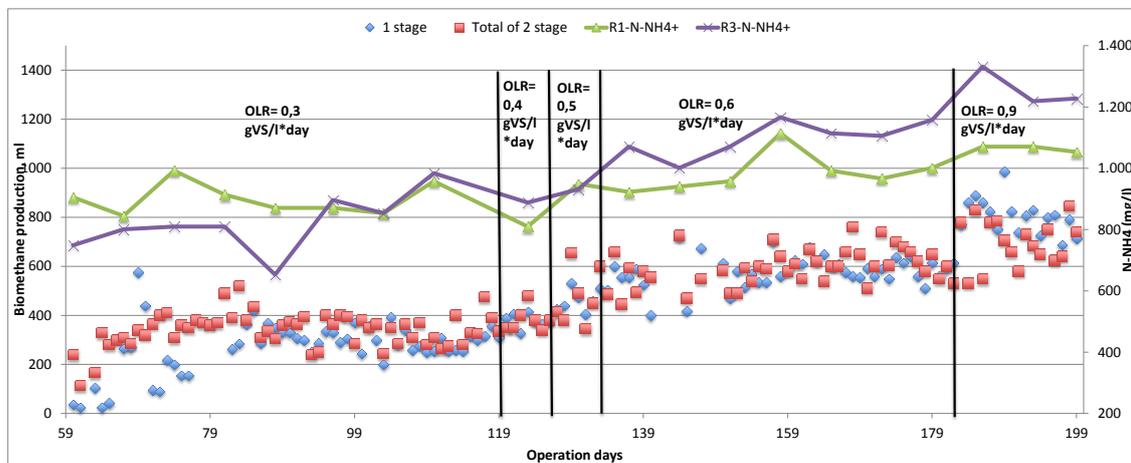


Fig 4. Andamento della produzione di metano e della concentrazione di azoto ammoniacale nella seconda fase di sperimentazione

- L'aumento del carico organico ha comportato variazioni delle condizioni di processo all'interno del reattore che costituisce il primo stadio del reattore bistadio. In particolare la riduzione di pH, che non solo ha causato l'inibizione della biomassa metanigena, con la conseguente riduzione del contributo di metano prodotto da questa fase e quindi l'accumulo di acidi grassi volatili; ma anche l'allontanamento dalle condizioni ottimali di idrolisi, che rappresenta la fase limitante della degradazione dei substrati complessi.

In definitiva, le indagini sperimentali evidenziano migliori prestazioni del Sistema a doppio stadio rispetto al sistema tradizionale monostadio. A prescindere dai maggiori oneri connessi alla realizzazione del doppio stadio, va evidenziato che con tale soluzione è necessario:

- controllare l'aumento di ammoniaca nel sistema, eventualmente eliminandola dalla componente liquida del digestato prima del ricircolo.
- evitare che all'interno del reattore acidogeno il pH si abbassi fino a valori inibenti per le attività batteriche. Tale abbassamento potrà essere evitato andando a modificare l'HRT di tale reattore.