**Caratterizzazione di un processo di co-digestione anaerobica di biomasse residuali**

Giuseppe Cristian Piso1, Pietro Bareschino1, Erasmo Mancusi1, Francesco Pepe1\*

*1 Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi del Sannio  
Piazza Roma, 21 – 82100 Benevento - Italy*

*\*Corresponding author E-Mail: francesco.pepe@unisannio.it*

**1.** **Introduzione**

La necessità di ridurre l’impatto ambientale e la crescente richiesta di energia pongono l’attenzione della comunità scientifica su tecniche di sfruttamento energetico ecosostenibili. La digestione anaerobica (DA) è un processo biochimico di degradazione di matrici organiche in assenza di ossigeno [1], permettendo di ottenere biogas, quest’ultimo è costituito per il 50-70% da metano, 30-50% da anidride carbonica e per la restante parte da acqua e impurezze (principalmente solfuro di idrogeno, ossigeno e silossani). La variabilità nella composizione dipende dalle tipologie di substrato e dalle condizioni in cui avviene il processo di digestione anaerobica [2], inoltre la massimizzazione della resa come mostra questo studio è fortemente influenzata dal pretrattamento della biomassa. Pertanto la caratterizzazione di nuove matrici, che altresì sarebbero destinate a smaltimento perdendo sia il contenuto energetico nonché rappresentando un costo è uno degli aspetti di fondamentale importanza.

In questo lavoro sono stati adoperati due substrati in co-digestione: (i) refluo zootecnico da allevamento bovino; (ii) lettiera da stabulario. Dapprima il substrato è stato caratterizzato dal punto di vista chimico mediante analisi CHN e TGA, in seguito sono state condotte due prove di digestione anaerobica in un impianto da laboratorio batch. La prima delle quali alimentando il digestore con la biomassa tal quale: sono state monitorate le grandezze di interesse e valutata la resa complessiva. Mentre nella seconda prova la biomassa prima di essere alimentata al reattore è stata sottoposta ad un pretrattamento di idrolisi acida, anche in questo caso sono state monitorate le grandezze di interesse e valutata la resa complessiva. Infine è stato messo in evidenza il vantaggio in termini di resa in biogas e selettività in metano che il pretrattamento consente di ottenere.

**2. Materiali e metodi**

**2.1 Biomasse**

Sono state utilizzate due differenti tipologie di biomasse: una lettiera da stabulario e un refluo zootecnico da allevamento bovino. La prima delle due biomasse considerate è costituita da cippato di faggio frammisto ad escrementi di topi prelevato presso lo stabulario del centro di ricerca BIOGEM s.c.a.r.l. di Ariano Irpino (AV) al cui interno è presente una popolazione di oltre 7.000 topi e 200 ratti. Lo smaltimento della lettiera sporca rappresenta una voce di costo molto importante per il centro e per questo motivo si è cercato di trovare una metodologia innovativa per il suo smaltimento. I reflui zootecnici sono stati prelevati presso l’azienda agricola COCCA sita in S. Marco de’ Cavoti (BN). L’azienda dispone di 8 capi, dal peso medio di circa 400 kg, di razza Marchigiana. Questi risiedono in una stalla chiusa a stabulazione libera che prevede l’utilizzo di abbondante paglia come lettiera per garantire il confort del bestiame. La pulizia della stalla viene realizzata conferendo i reflui nel letamaio dove è stoccato per un periodo variabile tra i 4-6 mesi.

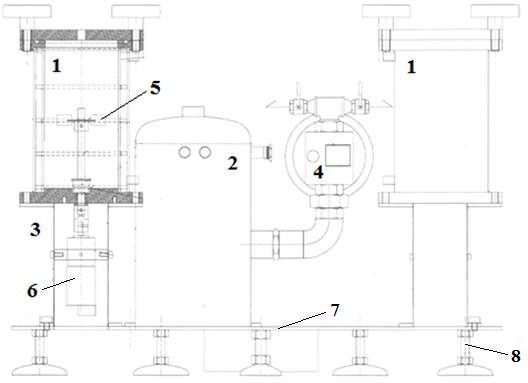
Ciascuna biomassa è stata caratterizzata sia in termini di tenore di umidità, contenuto di volatili, carbonio fisso e ceneri in accordo alla norma ASTM D5142/02 mediante l’impiego di un analizzatore termogravimetrico che mediante analisi CHN in accordo alla norma ASTM D5373 condotta in un analizzatore LECO CHN2000. I risultati delle analisi sono riportati in tabella 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Analisi** | **Componente** | **Lettiera [%w]** | **Stallatico [%w]** |
| **CHN** | Carbonio | 33.2 | 35.85 |
| Idrogeno | 7 | 4.89 |
| Azoto | 2.4 | 2.11 |
| **TGA** | Umidità | 6.59 | 77.16 |
| Volatili  Carbonio fisso  Ceneri | 69.83  19.21  4.37 | 19.37  2.9  0.85 |

**Tabella 1.** Risultati Analisi CHN e TGA.

**2.2 Impianto di digestione anaerobica**

L’impianto di digestione anaerobica è costituito da due digestori verticali di altezza 0.2 m e diametro interno 0.1m, all’esterno dei reattori vi è l’intercapedine per la circolazione del fluido termovettore gestita dall’impianto di termostatazione. Il dispositivo di miscelazione del reattore è costituito da un albero coassiale al digestore al quale sono solidali le pale di movimentazione del fluido. Il coperchio di chiusura superiore dispone di cinque fori filettati per consentire la raccolta del biogas prodotto nelle sacche di Tedral® e l’accesso della strumentazione di misura all’interno del reattore senza che si abbia interscambio di gas tra l’interno e l’esterno. In figura 1 è riportata una rappresentazione schematica del sistema di digestione adoperato.



**Figura 1.** Rappresentazione schematica dell’impianto in scala da laboratorio: 1) digestori; 2) serbatoio fluido termovettore; 3) vano alloggio motore; 4) pompa di circolazione fluido termovettore; 5) pale di agitazione; 6) Motore; 7) base di appoggio; 8) Piedini regolabili.

**2.3 Inoculo**

Come inoculo per il processo di co-digestione anaerobica sono stati utilizzati fanghi secondari di depurazione derivanti da processi di ossidazione biologica (SANAV s.r.l. Ponte Valentino (BN)); la scelta di non utilizzare ceppi batterici selezionati è legata alla volontà di indagare la possibilità di utilizzo di un rifiuto altrimenti destinato allo smaltimento. I fanghi sono stati fatti sedimentare in un recipiente a chiusura ermetica per 45 giorni a temperatura ambiente: in questo modo, oltre a consentire la sedimentazione dei solidi in sospensione, si è favorita l’eliminazione dei ceppi aerobici dal *pool* di microorganismi presenti nei fanghi.

Prima di essere utilizzati come inoculo per le successive prove di digestione anaerobica è stata necessaria un’operazione preliminare di acclimatazione dei ceppi batterici alle condizioni operative di processo. All’interno del fermentatore sono stati versati 0.50 L di fanghi e, per fornire una fonte di carbonio facilmente degradabile, sono stati aggiunti 12.00 g di saccarosio. La miscela ottenuta è stata mantenuta, in condizioni di continua miscelazione, a 36°C per un periodo di 10 giorni, il fango è stato utilizzato come inoculo per tutte le successive prove di digestione anaerobica.

**2.4 Pre-trattamento**

È stato eseguito un pretrattamento di idrolisi acida della biomassa ponendo a contatto 20 g di biomassa con 200 mL di H2O e 5,4 mL di una soluzione acquosa di acido solforico (H2SO4) al 5% in peso, il pH del sistema risultante è stato pari a 1.8 per la lettiera ed 1.6 per lo stallatico. La miscela così ottenuta è stata posta sul piatto agitatore a conduzione Kartell per un tempo di sei giorni. Il sesto giorno si è provveduto alla filtrazione per separare le particelle grossolane dalla fase liquida, utilizzata come substrato, e si è corretto il pH, neutralizzando il liquido con una soluzione 1M di idrossido di sodio (NaOH), fino ad un valore ottimale di 6 per la successiva fase di digestione anaerobica.

**2.3 Test di digestione anaerobica**

Il test di digestione anaerobica ha previsto due prove: la prima delle quali alimentando il digestore con la biomassa tal quale in co-digestione al 70% da stallatico ed al 30% da lettiera, mentre nella seconda prova la biomassa prima di essere alimentata al reattore è stata sottoposta ad un pretrattamento di idrolisi acida (Paragrafo 2.4) effettuando test sia in digestione singola che co-digestione con le stesse percentuali della prima prova. Entrambi i processi di digestione sono stati condotti in condizioni mesofile alla temperatura di 35°C e con un tempo di ritenzione di 30 giorni. Durante la prova si è provveduto alla misura del pH prelevando quotidianamente una quantità di 0.5 ml di fango dal digestore prevedendo una correzione quando il valore è risultato inferiore a 3.5 tramite una soluzione di acqua ed idrogenocarbonato di sodio (NaHCO3).

**3 Risultati e discussione**

La produzione di biogas per il substrato senza pretrattamento è stata molto discontinua, influenzata dal pH dell’ambiente di reazione. Nella prima settimana, caratterizzata da un ambiente fortemente acido, non si è avuta alcuna produzione di biogas, si sono registrati aumenti di produzione in seguito alle correzioni del pH. Il picco nella produzione di biogas si è avuto tra il decimo e l’undicesimo giorno, in cui sono stati prodotti circa 8.6 L di biogas, con una percentuale massima di metano di circa 8%. La composizione del campione prelevato alla fine dell’undicesimo giorno è stata analizzata con un analizzatore di biogas “GAS 3200 BIOGAS Portable Analyser GEIT”, i risultati sono riportati nella tabella 2.

|  |  |
| --- | --- |
| **Componente** | **Percentuale volume** |
| **CH4** | 8.24 % |
| **CO2** | 57.37 % |
| **O2** | 0.89 % |
| **H2S** | 498 ppm |
| **Altri** | 33.14 % |

**Tabella 2.** Composizione gas senza pretrattamento della biomassa all’undicesimo giorno.

La produzione cumulata di biogas è stata pari a 0.027 m3/kgsubstrato, mentre quella di metano è pari a 0.0014 m3/kgsubstrato. È stata effettuata l’analisi CHN del digestato residuo, esso ha mostrato un tenore di carbonio ancora molto elevato, si è ottenuta la trasformazione di piccole percentuali di carbonio alimentato in biogas. Ciò significa una difficoltà da parte delle colonie batteriche ad idrolizzare i co-substrati iniziali.

Il secondo test è stato effettuato con la biomassa pretrattata secondo le specifiche riportate nel paragrafo 2.3. La tabella 5 riporta i risultati in rese e composizione di biogas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Biomassa** | **Volume biogas [mL]** | **% vol. CH4** | **% vol. CO2** |
| Refluo bovino | 55 | 64 | 36 |
| Lettiera | 60 | 68 | 32 |
| Co-digestione | 5000 | 65.2 | 34.8 |

**Tabella 5.** Produzione biogas e sua composizione volumetrica in seguito alla digestione con pretrattamento della biomassa.

Si può osservare che per tutti i campioni rispetto al test senza pretrattamento si hanno notevoli produzioni di biogas. Va sottolineato inoltre che i migliori risultati in termini di selettività in metano sono stati ottenuti con la lettiera da stabulario che fornisce 60 mL di biogas contenente il 68% vol. di CH4. Questo è probabilmente dovuto al più elevato contenuto di zuccheri riducenti [3]. La co-digestione ha fornito i migliori risultati in termini di resa, infatti essa è caratterizzata dalla produzione di un volume di biogas pari a 5 L, una resa in biogas pari a 0.25 m3/kgsubstrato ed una concentrazione media di metano di circa il 65%.

**4. Conclusioni**

Il lavoro condotto si è focalizzato sulla caratterizzazione sperimentale di un substrato in co-digestione, sui vantaggi in termini di resa in biogas e selettività in metano che un pretrattamento di idrolisi acida può produrre sul processo di digestione anaerobica. I substrati sono stati caratterizzati dal punto di vista chimico mediante analisi CHN e TGA, consentendo la determinazione del tenore di umidità e delle percentuali massiche di carbonio idrogeno ed azoto. L’esercizio sperimentale dell’impianto nelle due diverse condizioni ha sottolineato come il pretrattamento della biomassa consente un’elevata conversione dei solidi volatili. La differenza dei risultati ottenuti con biomassa pretrattata (resa di 0.25 m3biogas/kgsubstrato, 65% in volume di CH4 e 35% in volume di CO2) e senza pretrattamento (resa di 0.027 m3biogas/kgsubstrato, 5% in volume di CH4 e 58% in volume di CO2) evidenzia come il pretrattamento sia necessario per la riuscita del processo di digestione anaerobica. Fondamentale è anche la scelta della tipologia di pretrattamento, l’idrolisi acida ha mostrato ottimi risultati; in futuro potranno essere implementati ulteriori idonei pretrattamenti allo scopo di migliorare la resa del processo.

**Riferimenti**

1. Meegoda JN, Li B, Patel K, Wang LB (2018), A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion, International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(10), 2224.
2. Nwokolo N, Mukumba P, Obileke K, Enebe M (2020), Waste to Energy: A Focus on the Impact of Substrate Type in Biogas Production, Processes, 8(10), 1224.
3. Ausiello A, Bareschino P, Micoli L, Florio C, Pepe F, Pirozzi D, Toscano G, Turco M (2016). Dark Fermentation di biomasse di scarto per la produzione di Biogas e BioIdrogeno, GRICU 2016.