



## VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DELLA TECNOLOGIA "BIOCRACK" SUL MIGLIORAMENTO DELL'EFFICIENZA DEL PROCESSO DI DIGESTIONE ANAEROBICA



### **GRUPPO RICICLA**

DISAA - Dipartimento di Scienze agrarie e  
ambientali: Produzione, Territorio, Agroenergia  
Università degli Studi di Milano  
via Celoria, 2 - 20133 Milano  
tel: 02 503 16546 fax: 02 503 16521

## INTRODUZIONE

Lo studio effettuato dal Gruppo Ricicla (DISAA – Università degli Studi di Milano) ha avuto come scopo la valutazione l'efficacia di una nuova tecnologia ("Biocrack") che dovrebbe migliorare l'efficienza complessiva del processo di digestione anaerobica. Il "Biocrack" sottopone ogni giorno circa 1/10 del volume del digestore a due trattamenti in serie: prima una triturazione meccanica e poi un campo elettrico ad alto voltaggio e bassa intensità di corrente, ricircolando direttamente da e al digestore.

Questi due trattamenti dovrebbero permettere, a fronte di una minima spesa energetica (circa 5 kW per 10 ore al giorno), una maggiore degradazione della sostanza organica dovuta all'effetto combinato della triturazione e del campo elettrico soprattutto sulla struttura ligno-cellulosica. Inoltre, altri effetti come una maggiore fluidità, omogeneità e miscelazione del materiale in digestione potrebbero favorire complessivamente il processo di digestione anaerobica.

In questo studio, si è osservato un impianto di digestione anaerobica per circa 40 giorni a monte dell'accensione del "Biocrack" e per circa 100 giorni a valle dell'accensione, con l'obiettivo di provare l'efficacia della tecnologia in questione.

## **MATERIALI E METODI**

L'osservazione del processo di digestione anaerobica ha previsto la registrazione delle produzioni elettriche erogate dai cogeneratori, l'alimentazione di biomassa al digestore e si è osservato il processo biologico attraverso una serie di indicatori analitici di tipo chimico e biologico.

I campioni prelevati durante il periodo di osservazione e le analisi di caratterizzazione svolte sono stati:

### **Prima dell'installazione della macchina**

- N. 3 campioni di materiali in input: caratterizzazione completa, biogas potenziale, N e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- N. 3 campioni di digestato: caratterizzazione completa + biogas potenziale, N e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Registrazione produzioni di biogas o energia
- Campionamento biogas (sacchetti Nalophan) e misura contenuto % CH<sub>4</sub> con Gas - cromatografo

### **Dopo installazione della macchina.**

- N. 3 campioni di materiali in input: caratterizzazione completa + biogas potenziale, N e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- N. 4 campioni di digestato (rispettivamente a 3 – 6 – 9 – 12 settimane): caratterizzazione completa + biogas potenziale, N e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>
- Registrazione produzioni di biogas o energia
- Campionamento biogas (sacchetti Nalophan) e misura contenuto % CH<sub>4</sub> con Gas - cromatografo

### **Prove di biogas potenziale**

I test di biogas potenziale sono state svolte utilizzando una metodica riportata in letteratura scientifica internazionale (Schievano et al., 2009) che permette di misurare con precisione le differenze di biodegradabilità anaerobica di un materiale organico.

# RISULTATI

## Regime di alimentazione e produzione energetica

In Figura 1 è riportato il plot dei dati di produzione energetica e di alimentazione registrati nel periodo di osservazione. In Figura 2 gli stessi dati sono riportati come produzione specifica (ovvero per unità di sostanza organica alimentata e come carico organico su base giornaliera). La sostanza organica dei materiali componenti la miscela di alimentazione, misurata in laboratorio, è riportata in Tabella 1, insieme alla sua biodegradabilità potenziale in condizioni anaerobiche (BMP test).

Si è registrato un aumento di produzione di energia a fronte di un leggero calo del flusso in alimentazione, sia in termini volumetrici, sia in termini di sostanza organica.

Tabella 1 – Caratterizzazione dei materiali componenti l'alimentazione del digestore osservato

|                 | Sostanza secca (%) | Ntot (g kg <sup>-1</sup> ) | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (g kg <sup>-1</sup> ) | N-organico (g kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|--------------------|----------------------------|--|----------------------------------|
| Liquame         | 4.56 ± 0.17        | 2.95 ± 0.61                | 1.52 ± 0.52  | 1.43                             |
| Pellet          | 89.4 ± 0.6         | 3.10 ± 0.31                | -  | 3.10                             |
| Farina di mais  | 86.1 ± 0.9         | 3.30 ± 0.21                | -  | 3.30                             |
| Separato solido | 22.1 ± 0.2         | 3.27 ± 0.34                | 1.33 ± 0.29  | 1.94                             |

|                 | Solidi volatili (% SS) | BMP (NL <sub>biogas</sub> kg <sup>-1</sup> SS) | BMP (NL <sub>biogas</sub> kg <sup>-1</sup> ) | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Ntot |
|-----------------|------------------------|--|--|--------------------------------------|
| Liquame         | 69.2 ± 2.1             | 249 ± 28                                       | 11.4 ± 1.3                                   | 51.5%                                |
| Pellet          | 91.1 ± 0.3             | 528 ± 14                                       | 472 ± 13                                     | 0.0%                                 |
| Farina di mais  | 96.7 ± 0.1             | 667 ± 5  | 574 ± 5                                      | 0.0%                                 |
| Separato solido | 91.1 ± 1.3             | 312 ± 88                                       | 68.9 ± 19.5                                  | 40.7%                                |

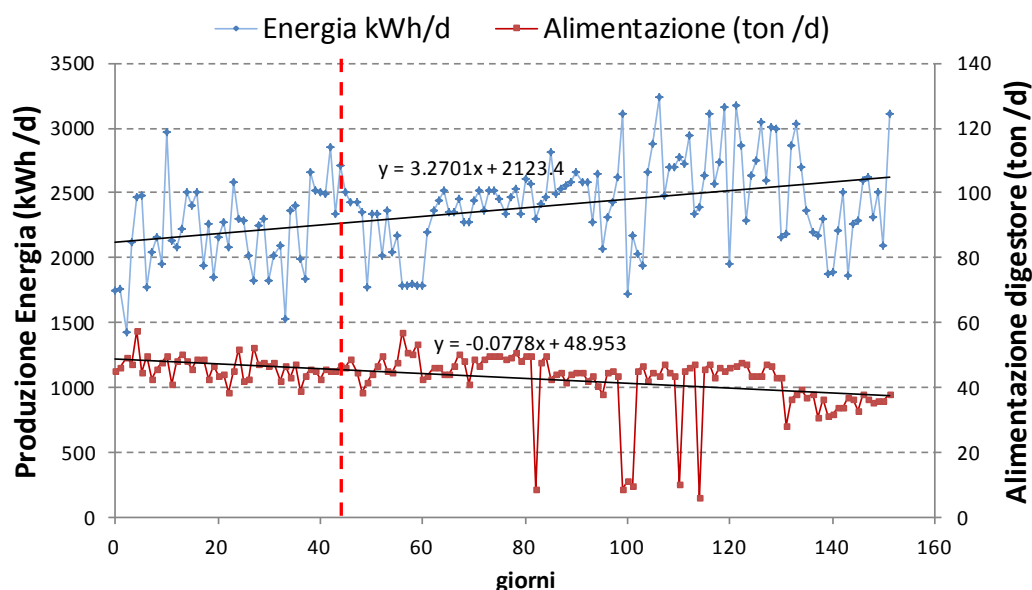


Figura 1 – Produzione energetica registrata e carico in alimentazione (come peso tal quale).

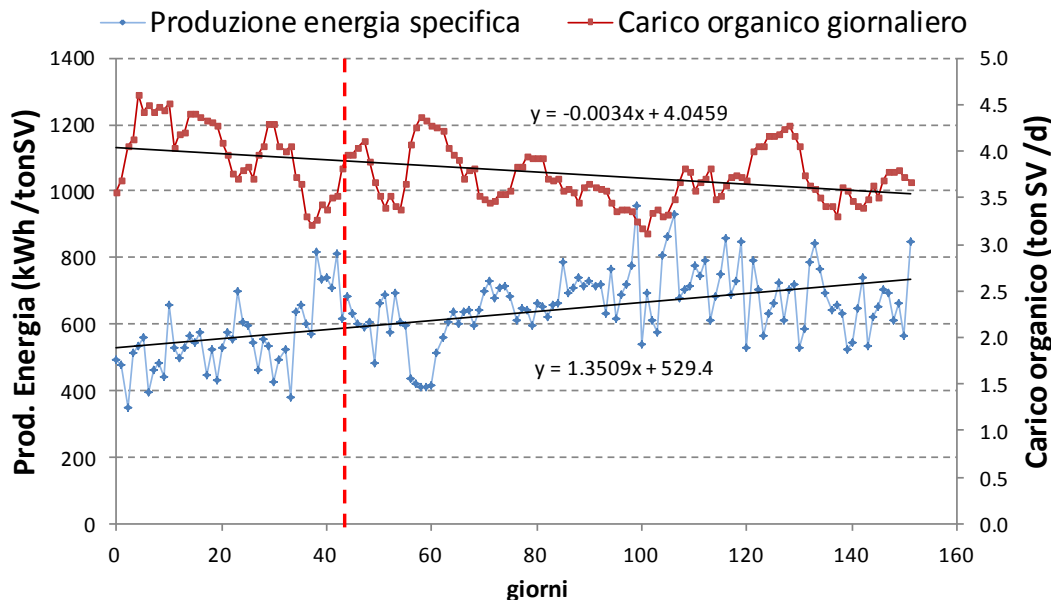


Figura 2 – Aumento della produzione energetica per unità di sostanza organica, a fronte di una diminuzione complessiva dell'alimentazione (come carico organico).

Tale regime di alimentazione è corrispondente all'andamento del tempo di ritenzione idraulica riportato in Figura 3, assieme al carico in ingresso espresso come potenziali mc di biogas producibili (Nmc /d) dall'alimentazione. Il dato di biogas potenziale (BMP) è stato misurato per ogni materiale componente la miscela di alimentazione (Tabella 1).

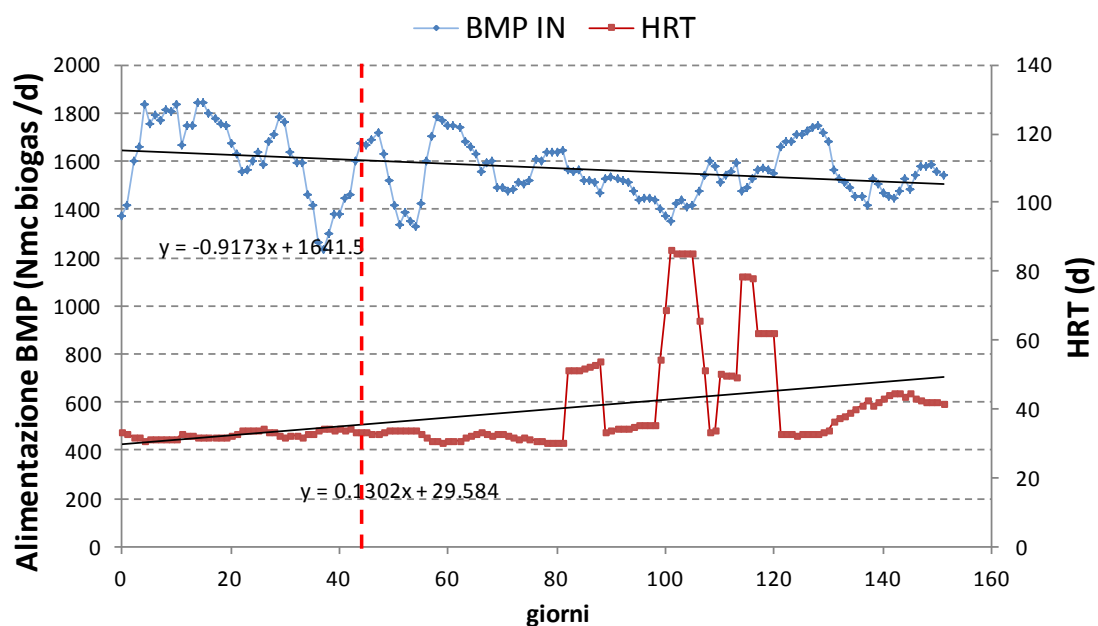


Figura 3 – Alimentazione in termini di BMP, ovvero potenziali mc di biogas caricati al digestore e tempo di ritenzione idraulica (medie settimanali).

Il regime di alimentazione, dal punto di vista qualitativo ha mostrato un andamento apparentemente costante, con eccezioni puntuali, come si vede in Figura 4, sia dal punto di vista della sostanza secca e organica, sia dal punto di vista del potenziale di biogas (BMP).

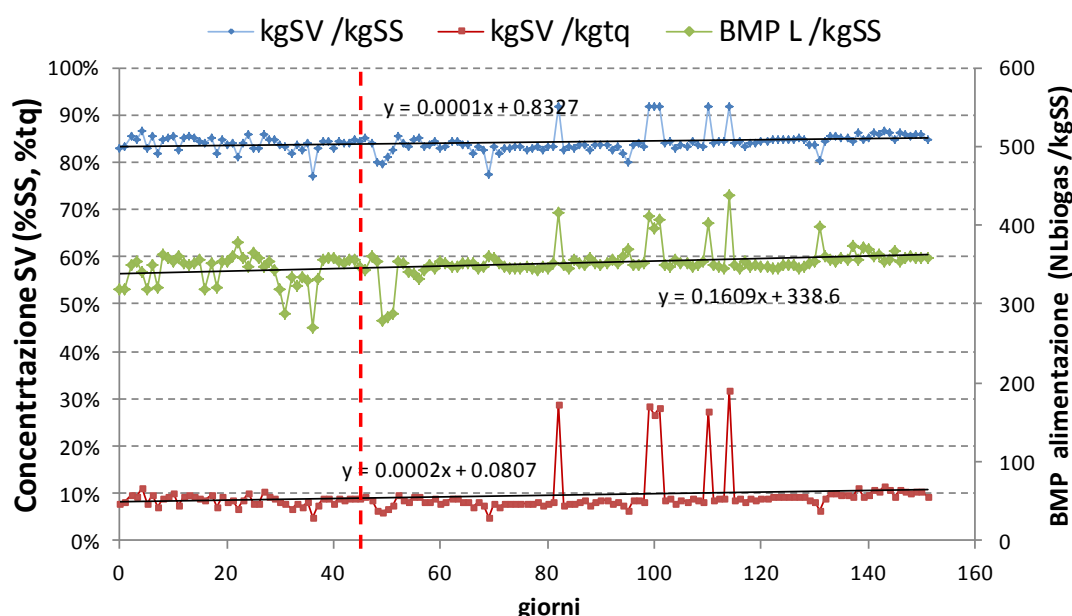


Figura 4 – Andamento qualitativo dell'alimentazione in termini di concentrazione di SV (per unità di sostanza secca e di tal quale) e in termini di potenziale di biogas della sostanza secca caricata.

Tutte le grandezze soprariportate come andamento nel tempo, per valutare l'effetto del trattamento "Biocrack", devono essere considerate come media nei periodi antecedente e successivo all'avviamento della macchina. In Tabella 2 si riportano tali medie.

Tabella 2: Valori medi e deviazione su base settimanale (valore tra parentesi) nei periodi di osservazione a Biocrack spento e a Biocrack acceso (a partire da circa metà Febbraio 2012) dei parametri di alimentazione e dell'energia prodotta.

|  | Alimentazione media al digestore (ton /d) | Carico organico medio in alimentazione al digestore (tonSV /d) | Tempo di ritenzione (HRT) medio (d) | Carico in termini di biogas potenziale (Nmc biogas /d) | Produzione elettrica media (kWhee /d) | Produzione elettrica specifica media (kWhee /tonSV) |
|--|---|--|-------------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| Periodo Pre-accensione (Gennaio – Febbraio 2012) | 46.4 (3.7)                                | 3.96 (0.38)  | 32.3 (2.6)                          | 1609 (169)   | 2182 (318)                            | 577 (86)  |
| Periodo funzionamento (Marzo – Maggio 2012)      | 40.9 (9.5)                                | 3.68 (0.28)  | 36.6 (32.6)                         | 1548 (106)   | 2493 (344)                            | 679 (102)   |

|  |        |        |        |       |        |        |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| <b>Incremento o<br/>decremento<br/>Medio (%)</b> | -11.8% | - 6.9% | +13.4% | -3.8% | +14.2% | +21.8% |
|--|--------|--------|--------|-------|--------|--------|

In primis, si osserva un aumento evidente di produzione totale energetica (14.2%) tra i due periodi di osservazione. Allo stesso tempo, l'alimentazione, sia in termini di peso tal quale (-11.8%), sia in termini di sostanza organica (-6.9%), sia in termini di potenziale di biogas (-3.8%), è diminuita e, dunque, la produzione energetica specifica ha registrato un aumento medio del 21.8%. Questo significa che si è registrata una maggior efficienza nella degradazione e che l'impianto, di conseguenza, è stato in grado di produrre più energia.

D'altro canto, la minor alimentazione puntuale in alcuni giorni del periodo post-Biocrack, ha avuto mediamente un effetto di aumento del tempo di ritenzione di circa il 13.4%. Questo può aver contribuito, anche se in maniera relativa, alla maggior degradazione osservata.



## Caratterizzazione dei digestati e bilancio del processo

Per provare l'efficacia del trattamento "Biocrack", la verifica delle proprietà della sostanza organica dei digestati, prima e dopo l'introduzione del trattamento, è di fondamentale importanza.

In tabella 3 sono riportati i risultati della caratterizzazione dei campioni prelevati durante il periodo di osservazione dell'impianto. I campioni di digestato si riferiscono ai 7 campionamenti svolti per monitorare i possibili effetti del trattamento con "Biocrack" sulla sostanza organica nell'impianto di biogas.

**Tabella 3 – Caratterizzazione dei digestati campionati e del contenuto di metano nel biogas campionato in impianto, durante il periodo di osservazione.**

|                            |        | Sostanza secca (%)     | Ntot   | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>               | N-organico                                      | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /Ntot |
|----------------------------|--------|------------------------|--|--|---|--------------------------------------|
| <b>Digestati</b>           | 11-gen | 7.03 ± 0.01            | 3.53 ± 0.08                                    | 1.69 ± 0.14                                  | 1.84 ± 0.14                                     | 48.0% ± 14.0%                        |
|                            | 18-gen | 7.32 ± 0.06            | 3.69 ± 0.13                                    | 1.80 ± 0.21                                  | 1.89 ± 0.21                                     | 48.8% ± 21.0%                        |
|                            | 21-feb | 7.09 ± 0.10            | 3.55 ± 0.04                                    | 1.74 ± 0.04                                  | 1.81 ± 0.04                                     | 49.0% ± 4.0%                         |
| <b>Media pre-Biocrack</b>  |        | <b>7.1 ± 0.2 a</b>     | <b>3.6 ± 0.1 a</b>                             | <b>1.7 ± 0.1 a</b>                           | <b>1.8 ± 0.0 a</b>                              | <b>48.6% ± 0.6% a</b>                |
|                            | 22-mar | 6.94 ± 0.06            | 3.41 ± 0.07                                    | 1.70 ± 0.09                                  | 1.70 ± 0.09                                     | 50.0% ± 9.0%                         |
|                            | 05-apr | 6.60 ± 0.04            | 3.35 ± 0.06                                    | 1.71 ± 0.06                                  | 1.65 ± 0.06                                     | 50.9% ± 6.0%                         |
|                            | 07-mag | 6.74 ± 0.06            | 3.19 ± 0.08                                    | 1.71 ± 0.11                                  | 1.48 ± 0.11                                     | 53.5% ± 11.0%                        |
|                            | 25-mag | 6.98 ± 0.01            | 3.21 ± 0.14                                    | 1.73 ± 0.08                                  | 1.48 ± 0.14                                     | 53.9% ± 14.0%                        |
| <b>Media post-Biocrack</b> |        | <b>6.8 ± 0.2 a</b>     | <b>3.3 ± 0.1 b</b>                             | <b>1.71 ± 0.01 a</b>                         | <b>1.58 ± 0.11 b</b>                            | <b>52.1% ± 1.9% b</b>                |
|                            |        | Solidi volatili (% SS) | BMP (NL <sub>biogas</sub> kg <sup>-1</sup> SS) | BMP (NL <sub>biogas</sub> kg <sup>-1</sup> ) | Contenuto di CH <sub>4</sub> nel biogas (% v/v) |                                      |
| <b>Digestati</b>           | 11-gen | 74.1 ± 0.6             | 150 ± 14                                       | 10.5 ± 1.0                                   | 54.6%   |                                      |
|                            | 18-gen | 76.0 ± 0.8             | 116 ± 15                                       | 8.5 ± 1.1                                    | 55.3%   |                                      |
|                            | 21-feb | 73.8 ± 0.3             | 125 ± 8  | 8.9 ± 0.6                                    | 55.1%   |                                      |
| <b>Media pre-Biocrack</b>  |        | <b>74.6 ± 1.2 a</b>    | <b>130.6 ± 17.5 a</b>                          | <b>9.31 ± 1.08 a</b>                         | <b>55.0% ± 0.4% a</b>                           |                                      |
|                            | 22-mar | 75.9 ± 0.1             | 144 ± 14                                       | 10.0 ± 1.0                                   | 55.2%   |                                      |
|                            | 05-apr | 73.5 ± 0.5             | 154 ± 6  | 10.1 ± 0.4                                   | 56.2%   |                                      |
|                            | 07-mag | 75.1 ± 0.6             | 121 ± 15                                       | 8.1 ± 1.0                                    | 54.9%   |                                      |
|                            | 25-mag | 74.0 ± 0.8             | 106 ± 4  | 7.4 ± 0.2                                    | 56.2%   |                                      |
| <b>Media post-Biocrack</b> |        | <b>74.6 ± 1.1 a</b>    | <b>131.0 ± 21.7 a</b>                          | <b>8.92 ± 1.36 a</b>                         | <b>55.6% ± 0.7% a</b>                           |                                      |

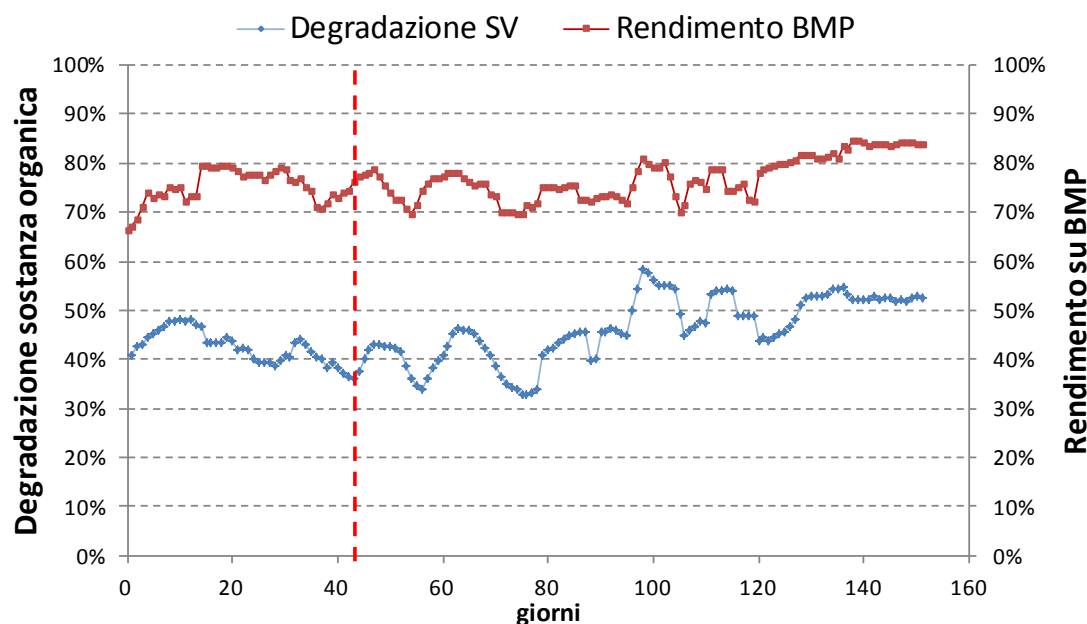
Analisi statistica ANOVA (Tukey test,  $p < 0.05$ ) applicata ai due periodi di osservazione (pre- e post-installazione del "Biocrack"). Valori indicati con la stessa lettera sulla stessa colonna non sono significativamente differenti ( $n = 3,4$ ;  $p < 0.05$ ).

La maggior degradazione che non può che essere avvenuta, viste le rese energetiche superiori, non è risultata, tuttavia, facilmente riscontrabile dalle caratteristiche dei digestati campionati, riportate in Tabella 3. I dati di concentrazione della sostanza organica (SV) e della sua biodegradabilità anaerobica (BMP), non hanno mostrato



differenze significative tra i digestati campionati nel periodo pre- e post- Biocrack (Tabella 3). Questo è probabilmente dovuto ad un periodo di adattamento del sistema biologico al trattamento “Biocrack” ed è sicuramente inficiato da possibili problemi di omogeneità e ripetibilità del campionamento dal digestore.

Nonostante ciò, i dati di caratterizzazione dei digestati, hanno permesso di calcolare il bilancio di massa del processo di digestione anaerobica e di valutare l’efficienza di degradazione della sostanza organica. In Figura 5, si riportano gli andamenti di due indicatori dell’efficienza di degradazione, uno quantitativo (quantità di sostanza organica complessiva misurata come solidi volatili, SV) e uno quanti-qualitativo (BMP, ovvero quantità di sostanza organica biodegradabile in condizioni anaerobiche ottimali, vedi Schievano et al., 2011). Entrambi gli indicatori hanno mostrato un aumento, durante il periodo non immediatamente successivo all’installazione del Biocrack, ma a distanza di circa un mese (Figura 5). Questo probabilmente è un effetto di inerzia del sistema biochimico, tipico dei digestori anaerobici.



**Figura 5 – Andamento del rendimento di degradazione (tra input e output) della sostanza organica totale (misurata come SV) e della sostanza organica biodegradabile (misurata come BMP), durante il periodo di osservazione, prima e dopo l’installazione del Biocrack (giorno 42).**

Dal confronto delle medie dei due periodi pre- e post- installazione (vedi linea rossa tratteggiata in Figura 1, 2 e 3), la resa di degradazione della sostanza organica totale è risultata in aumento di circa il 23.5% (Tabella 4). Anche il rendimento calcolato sulla sostanza organica biodegradabile è aumentato del 7.7% (Tabella 4).

Il fatto che l'aumento della resa sulla sostanza organica totale sia superiore all'aumento di resa calcolata sul BMP, sta ad indicare che il processo è migliorato sia per una miglior degradazione della sostanza organica già biodegradabile sia per l'avvenuta degradazione di nuova sostanza organica che prima non era facilmente degradabile.

**Tabella 2: Valori medi e deviazione su base settimanale (valore tra parentesi) nei periodi di osservazione a Biocrack spento e a Biocrack acceso (a partire da circa metà Febbraio 2012) dei parametri qualitativi in alimentazione (concentrazioni di SS, SV e potenziale di biogas della SS) e delle rese di degradazione (su SV e su BMP).**

|   | Concentrazione di SS in alimentazione (kg SS /kgtq %) | Concentrazione di SV in alimentazione (kgSV/kgtq %) | BMP della miscela di alimentazione (NL biogas /kgSS) | Degradazione sostanza organica media (% dell'alimentazione) | Rendimento su BMP (% dell'alimentazione) |
|---|---|---|--|---|--|
| <b>Periodo Pre-accensione (Gennaio – Febbraio 2012)</b> | 10.2 (1.2)  | 8.51 (1.18)   | 340 (13)   | 41.3 (3.4)  | 75.5 (3.4)                               |
| <b>Periodo funzionamento (Marzo – Maggio 2012)</b>      | 10.6 (4.9)  | 8.93 (4.7)  | 356 (11)   | 50.9 (6.5)  | 80.8 (2.1)                               |
| <b>Incremento o decremento Medio (%)</b>                | +3.7%   | +4.0%   | +4.8%  | +23.5%  | +7.7%                                    |

Ulteriore indicatore dell'efficacia del trattamento è l'andamento dei carichi di azoto (sia totale che ammoniacale) in input e output dal digestore (Figura 6) e soprattutto dal loro rapporto, che delinea lo stato di degradazione delle componenti azotate. A fronte di una diminuzione complessiva del carico di azoto totale sia in input che in output, dovuto alla diminuzione del carico organico in input al digestore (Figura 1), l'azoto ammoniacale in output non ha mostrato una diminuzione evidente. Causa di ciò non può che essere una maggior degradazione della frazione organica dell'azoto e dunque una maggior efficienza degradativa, almeno delle frazioni proteiche, come confermato dall'aumento graduale del rapporto  $N-NH_4^+/N_{tot}$  in output, a fronte di un rapporto in leggera diminuzione in input (Figura 3).

Anche dai dati di caratterizzazione riportati in Tabella 3, il rapporto tra la forma ammoniacale e l'N-totale in output ha mostrato un aumento significativo tra i due periodi. Tale dato indica inequivocabilmente una maggior degradazione della frazione organica dell'azoto (azoto proteico).

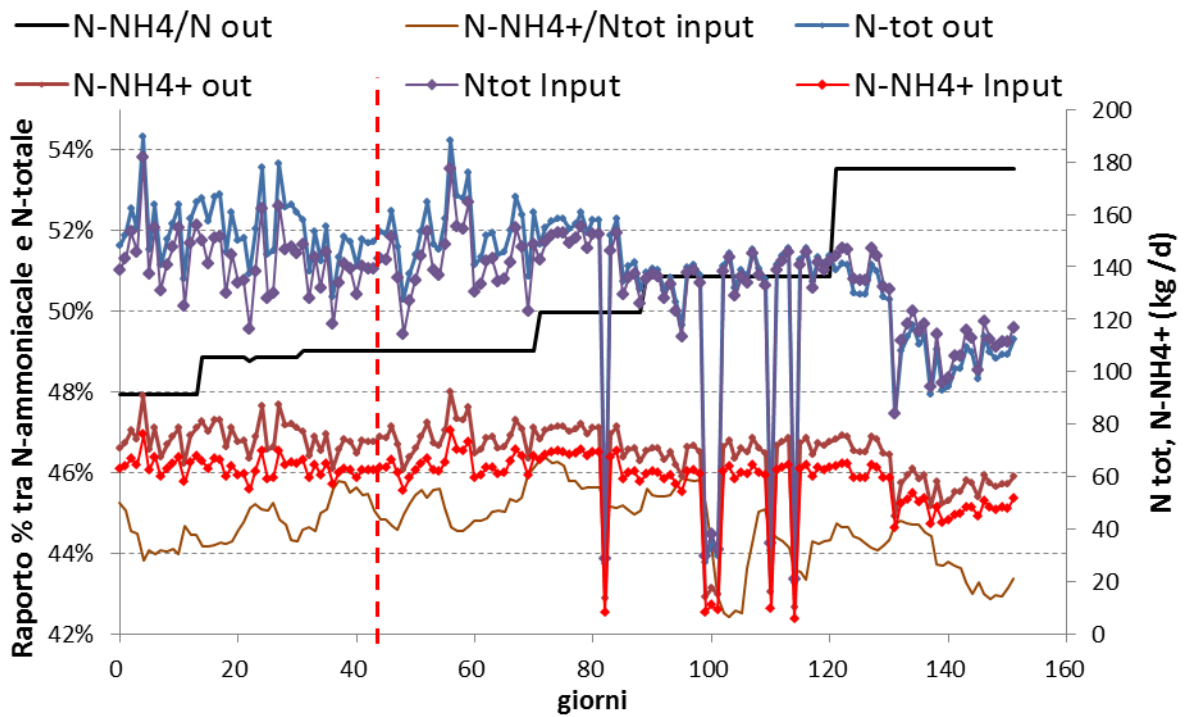


Figura 6 – Andamento del carico in output (digestato) di azoto totale e ammoniacale e del loro rapporto, durante il periodo di osservazione, prima e dopo l’installazione del Biocrack (giorno 42).

## CONCLUSIONI

Il processo di digestione anaerobica osservato, dopo l'installazione dell'impianto "Biocrack", ha mostrato evidenti miglioramenti in termini di produttività energetica specifica. Inoltre, il bilancio di massa ha indicato, soprattutto negli ultimi 30 giorni di osservazione, un aumento delle rese di degradazione della sostanza organica. In ultima, una maggior degradazione della frazione organica dell'azoto, con conseguente aumento del rapporto  $N-NH_4^+ / N_{tot}$  in output, rispetto all'input.

Tale risultato deve essere per forza legato ad un miglioramento del rendimento di degradazione della sostanza organica. Tuttavia, non è stato possibile associare a tale aumento un'evidenza netta di tipo analitico, utile a spiegare il meccanismo attraverso il quale questo avviene, e dunque confermare che tale aumento sia dovuto esclusivamente all'effetto del "Biocrack". Infatti, ad esempio, il pur leggero aumento di HRT durante il periodo di osservazione, potrebbe aver giocato anch'esso un ruolo migliorativo dell'efficienza di degradazione, rendendo meno chiaro l'effetto del solo "Biocrack".

Infine, l'effetto positivo ottenibile dalla tecnologia "biocrack" potrebbe essere legato ad una maggior degradazione di frazioni della sostanza organica che normalmente non vengono facilmente attaccate dalla comunità microbica. Questo potrebbe essere dovuto sia ad una maggior disponibilità di queste ultime a valle del trattamento meccanico ed elettro-magnetico, sia ad un effetto combinato del rimescolamento continuo del materiale contenuto nel digestore e dunque ad una maggiore omogeneità e fluidità del materiale che complessivamente si viene a creare. I dati disponibili non danno la possibilità di avere alcuna informazione sulle suddette cause ed effetti.

Ulteriori studi, con analisi più approfondite (caratterizzazione componenti della sostanza organica, osservazione degli effetti su un periodo più lungo, applicazione ad impianti e miscele di alimentazione differenti, analisi su campioni prelevati subito a valle del trattamento) dovranno in futuro essere svolti per approfondire i meccanismi attraverso i quali la tecnologia "Biocrack" funziona e per valutare la stabilità sul lungo periodo dei risultati positivi osservati in questo primo studio.



## REFERENCES

Lahav, O., Morgan, B., Loewenthal, R.E., 2002. Rapid, simple and accurate method for measurement of VFA and carbonate alkalinity in anaerobic reactors. *Environ. Sci. Technol.* 36, 2736–3274

Schievano, A., Scaglia, B., D’Imporzano, G., Malagutti, L., Gozzi, A., Adani, F., 2009. Prediction of biogas potentials using quick laboratory analyses: upgrading previous models for application to heterogeneous organic matrices. *Bioresour. Technol.* 100, 5777–5782

Schievano, A., D’Imporzano, G., Orzi, V., Adani, F., 2011. On-field study of anaerobic digestion full-scale plants (Part II): New approaches in monitoring and evaluating process efficiency. *Bioresource Technology* 102 (2011) 8814–8819.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fibers, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583–3597