



**GRUPPO  
RICICLA®**

**PROGETTO 014** ([www.ps76.org](http://www.ps76.org))

## **Risultati delle prime fasi di sperimentazione**



### **Fase 1**

#### **Campionamento di scarti tipici nelle unità domestiche e nei mercati della città di Bissau e simulazione in laboratorio**

I seguenti risultati sono estratti dalla tesi di Laurea di Filippo Volontè, svolta presso il Gruppo Ricicla - Università degli Studi di Milano, che ha svolto una sperimentazione preliminare in laboratorio a partire dai materiali organici di scarto campionati nella prima fase del progetto (Febbraio 2008). A partire dalle biomasse campionate si è creata un'ipotetica miscela di alimentazione e si è simulato in laboratorio il processo di produzione di biogas, per valutare la produttività di un eventuale micro-impianto funzionante con a base di tali scarti. Si è ipotizzato che la miscela di scarti venga miscelata ad uno scarico di acque nere proveniente da uno o più toilet domestiche.



Descrizione	Provenienza	Composizione della miscela
Scarto di farina di grano	Mercato di quartiere	5%
Paglia di cipolla	Mercato di quartiere	10%
Rifiuto mercatale misto	Mercato di quartiere	25%
Rifiuto di cucina misto	Abitazione	25%
Pula e paglia di riso	Mercato di quartiere	10%
Scarti di Manioca	Mercato di quartiere	10%
Scarti e bucce d'arancia	Abitazione	15%



Si sono utilizzati 7 campioni di diverse matrici organiche di scarto provenienti direttamente da mercati e abitazioni della città di Bissau. Su questi campioni si è effettuata una caratterizzazione chimica per determinare i contenuti di solidi totali (ST), solidi volatili (SV), carbonio organico (TOC), azoto totale ( $N_{tot}$ ) e ammoniacale ( $N-NH_4^+$ ). Le stesse analisi si sono svolte su una miscela di queste matrici organiche (denominata M), ipotizzata ad hoc, e su un ulteriore campione, reperito in Italia, di acque fecali domestiche (denominato F). Oltre alla composizione chimica, si sono valutate la degradabilità della sostanza organica attraverso un test respirometrico in liquido della durata di 20 ore (SOUR) e le potenzialità in termini di biogas delle varie matrici, attraverso il test anaerobico di bio-metano potenziale in circa 60 giorni (BMP).

In Tabella 1 sono riportate le potenzialità di produrre biogas (BMP) dei materiali organici campionati nelle abitazioni e nei mercati di Bissau (campioni 1-7), la loro miscela M (che rappresenta una ipotesi di mix solido con cui alimentare il digestore), l'acqua reflua F e due ipotesi di miscele (M+F, in diversi rapporti:  $MF_1$ ,  $MF_2$ ) di alimentazione del digestore. In Tabella 2 sono riportati i risultati ottenuti dalla caratterizzazione chimica delle matrici organiche, utile alla progettazione e gestione di un digestore.

**Tabella 1 : Campionamento effettuato a Bissau , caratteristiche chimiche dei campioni e delle miscele ( $MF_1, MF_2$ ) e**

## potenzialità di produzione di biometano (BMP)

Campione	TS	VS	TKN	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	TOC	C/N	BMP
	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup> TS	g kg <sup>-1</sup> TS	g kg <sup>-1</sup> TS	g kg <sup>-1</sup> TS		Ndm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> kg <sup>-1</sup> TS
1	956	860 ± 4	17.5 ± 0.5	-	396 ± 19	22	340 ± 83
2	142	855 ± 4	7.3 ± 1.2	-	414 ± 10	56	251 ± 4
3	221	765 ± 3	5.7 ± 0.3	-	282 ± 7	49	218 ± 2
4	91	850 ± 2	9.2 ± 0.1	-	419 ± 15	45	287 ± 14
5	983	540 ± 6	16.5 ± 0.5	-	360 ± 3	22	103 ± 18
6	397	975 ± 2	23.7 ± 1.5	-	381 ± 8	16	292 ± 4
7	327	940 ± 1	24.6 ± 0.6	-	385 ± 1	16	401 ± 14
F	16	710 ± 3	2.7 ± 0.1	63.0 ± 2.7	382 ± 1	141	243 ± 29
M	327	810 ± 1	17.0 ± 0.2	-	368 ± 3	22	391 ± 1
MF <sub>1</sub>	94	797 ± 3	15.1	45.1 ± 1.4	370 ± 11	24	372 ± 32
MF <sub>2</sub>	120	801 ± 2	15.7	41.6 ± 1.2	369 ± 9	23	378 ± 43

\* ST = solidi totali, SV = Solidi volatili, Ntot = Azoto totale, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> = azoto ammoniacale, Ctot = Carbonio organico totale, C/N = rapporto carbonio/azoto

Dopo una adeguata caratterizzazione chimica dei materiali organici campionati a Bissau, si è proceduto ad una simulazione in scala di laboratorio del processo anaerobico mesofilo (37°C) per produrre biogas (Figura 1). L'alimentazione del digestore è stata svolta manualmente, circa una volta ogni 2 giorni, per un periodo di 2 mesi. L'obiettivo è ottenere un sistema che funzioni in maniera autonoma e resti in condizioni stabili. Si è dunque cercato di individuare, con un opportuno aumento di carico organico giornaliero, il punto di rottura del processo anaerobico per sovraccarico organico. Il processo CSTR è stato monitorato con due diversi carichi organici, corrispondenti a 2 diversi rapporti di miscelazione tra il mix di solidi (M) e l'acqua fecale (F). La prima miscela (MF<sub>1</sub>), con un rapporto M/F di 1/3 sul peso tale quale, aveva un contenuto di solidi totali di 93.8 g kg<sup>-1</sup> e un rapporto C/N di circa 10. La seconda (MF<sub>2</sub>), con un rapporto M/F di 1/2, era più concentrata (contenuto di solidi totali di 119.8 g kg<sup>-1</sup> e un C/N di circa 12). Ne risultano due valori di carico organico giornaliero di circa 2.8 e 3.6 kg<sub>TS</sub> m<sup>-3</sup> digest<sup>d</sup><sup>-1</sup>. Dalla caratterizzazione chimica dei digestati, prelevati ogni circa 3 giorni, si sono rilevati i principali parametri di processo: pH, azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), solidi totali (ST), solidi volatili (SV) e acidi grassi volatili totali (AGV).



**Figura 1 – Digestore in scala di laboratorio e colonna per la misurazione del biogas. Simulazione del processo anaerobico a partire dalle biomasse campionate in Bissau.**

In una seconda fase del lavoro, si è proceduto alla simulazione in laboratorio del processo anaerobico mesofilo (37°C) per circa 40 giorni, alimentato giornalmente a reflui domestici in co-digestione alla miscela ipotizzata tra le matrici organiche campionate. L'obiettivo è, come suddetto, un sistema che funzioni in maniera autonoma e resti in condizioni stabili. Si è dunque cercato di individuare, con un opportuno aumento di carico organico giornaliero, il punto di rottura del processo anaerobico per sovraccarico organico. Il processo CSTR è stato monitorato con due diversi carichi organici, corrispondenti a 2 diversi rapporti di miscelazione tra il mix di solidi (M) e l'acqua fecale (F). La prima miscela (MF<sub>1</sub>), con un rapporto M/F di 1/3 sul peso tal quale, aveva un contenuto di solidi totali di 93.8 g kg<sup>-1</sup> e un rapporto C/N di circa 10. La seconda (MF<sub>2</sub>), con un rapporto M/F di 1/2, era più concentrata (contenuto di solidi totali di 119.8 g kg<sup>-1</sup> e un C/N di circa 12). Ne risultano due valori di carico organico giornaliero di circa 2.8 e 3.6 kg<sub>TS</sub> m<sup>-3</sup><sub>digest</sub> d<sup>-1</sup>. Dalla caratterizzazione chimica dei digestati, prelevati ogni circa 3 giorni, si sono rilevati i principali parametri di processo: pH, azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), solidi totali (ST), solidi volatili (SV) e acidi grassi volatili totali (AGV).

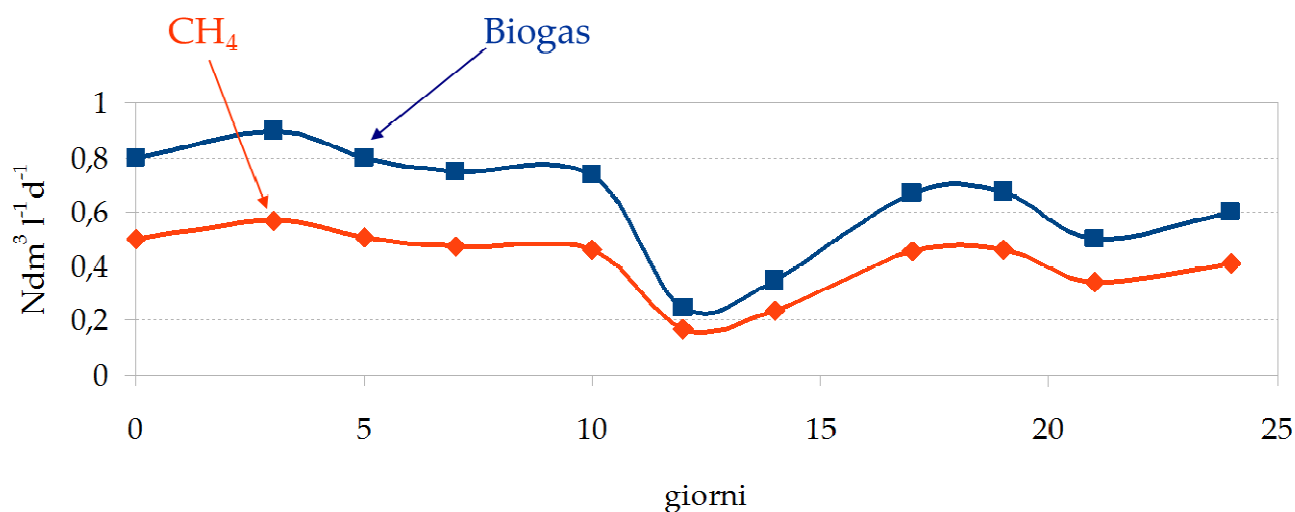
Il mix di residui solidi (M) e l'acqua fecale (F) sono risultati avere un contenuto di solidi totali rispettivamente di 327 e di 16 g kg<sup>-1</sup> e valori di BMP rispettivamente di 0.391 e 0.243 di Ndm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup><sub>ST</sub>. Le miscele di ingestato MF<sub>1</sub> e MF<sub>2</sub> avevano un contenuto di solidi totali rispettivamente di 93 e 119 g kg<sup>-1</sup>.

Dall'osservazione del processo anaerobico in continuo, nel primo periodo (miscela MF<sub>1</sub>), l'impianto è risultato produrre regolarmente biogas di buona qualità (contenuto in CH<sub>4</sub> del 65±5%), come riscontrato dall'analisi gas-cromatografica. La produzione di bio-metano è stato di 0.46 Nm<sup>3</sup>CH<sub>4</sub> m<sup>-3</sup><sub>dig</sub> d<sup>-1</sup>. A metà del periodo di osservazione (25 giorni), si è registrato un momentaneo calo di produzione, con una immediata ripresa nei 3 giorni successivi.

Nel secondo periodo (miscela MF<sub>2</sub>), la produzione di biogas riscontrato è risultata in progressivo calo (sia come quantità che come contenuto in CH<sub>4</sub>) fino al collasso vero e proprio del processo. La misura del pH ne ha registrato una progressiva diminuzione da un valore iniziale di 7.8 al valore finale di 5.6, a causa di un aumento degli acidi grassi volatili in soluzione (da circa 0.5 g/l nella condizione ottimale fino a superare i 15 g/l nella condizione inibita). Tale condizione è tipicamente un'inibizione del processo metanogeno da sovraccarico organico.

Inoltre, è stato osservato un problema della formazione di una crosta superficiale dovuta a materiale più faticoso da degradare con tendenza al galleggiamento (tipicamente materiale ligno-cellulosico). La crosta

superficiale può impedire parzialmente la fuoriuscita del biogas prodotto, e quindi rallentare l'azione degradante dei batteri. Tale situazione peggiora la resistenza del processo a carichi organici elevati.



In conclusione, un'abitazione di circa 4/5 persone nella città di Bissau (che produrrebbe circa 50 l d<sup>-1</sup> di acque fecali), dovrebbe dotarsi di un digestore con volume operativo minimo di 1.7 m<sup>3</sup> potrebbe assorbire al massimo 10-15 kg di scarto di cucina o mercatale misto. In tale condizione, il mini-digestore domestico arriverebbe a produrre circa 0.8 Nm<sup>3</sup> di CH<sub>4</sub> al giorno.

Il problema della formazione della crosta superficiale sarebbe risolvibile con degli appositi agitatori all'interno dell'impianto. Un'agitazione automatica però non è attuabile nel caso di un mini impianto domestico, destinato ad un paese dove l'energia elettrica non è così facilmente disponibile. Un dispositivo di mescolamento manuale sarebbe auspicabile nella progettazione di tali impianti. Si dovrà, inoltre, prevedere un sistema di rimozione periodica del materiale flottante, che inevitabilmente si accumula sulla superficie liquida.

## Ipotesi di dimensionamento di un impianto domestico di produzione di Bio-metano.

Numero di persone	Quantità stimata campione di tipo F al giorno	Quantità massima campione di tipo M al giorno	Volume operativo minimo del digestore	Metano massimo producibile	Tempo di cottura
	l d <sup>-1</sup>	kg d <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup> d <sup>-1</sup>	min d <sup>-1</sup>
1	8	3	0.32	0.15	19 - 37
2	16	6	0.65	0.30	37 - 75
4	32	12	1.30	0.60	75 - 150
6	54	18	2.00	0.90	112 - 225
8	64	24	2.60	1.20	150 - 300
10	80	30	3.24	1.5	187 - 375

### ANALISI DIGESTATI

La caratterizzazione dei digestati ottenuti dalla simulazione ed il loro successivo confronto con gli attuali prodotti fertilizzanti ad ammendanti in uso, riconosciuti a livello legislativo, ha testimoniato che:

- i digestati solidi, con un contenuto medio di carbonio organico (C-org) del 40%, ed un rapporto medio carbonio/azoto (C:N) di 10, presentano buone capacità ammendanti oltre a discrete capacità concimanti avendo un contenuto medio del 4% in azoto(N) del 5,5% in fosforo(P) e del 10% in potassio(K) soddisfacendo così i limiti minimi della legge italiana per la classificazione di un concime come organo-minerale ternario(NPK);
- i digestati liquidi, non presentano buone capacità ammendanti, ma data la prevalenza di azoto minerale sull'azoto organico (75% dell'N in forma ammoniacale), rientrano in alcune categorie di concimi azotati fluidi previsti dalla legge nazionale italiana.
- Sia i digestati solidi che quelli liquidi, hanno un contenuto in metalli che rientra ampiamente entro i limiti massimi previsti dalla legge italiana per il loro uso in agricoltura.

### Abbattimento del contenuto patogeno

L'intero processo ha testimoniato che, i vari materiali sottoposti a digestione anaerobica, vengono igienizzati in maniera molto efficiente: il risultato ottenuto, per quanto riguarda gli Streptococchi, evidenzia un notevole calo di concentrazione di unità formanti colonia (UFC/ml), partendo da un liquame fresco contenente  $7,5 \cdot 10^3$  UFC/ml ed arrivando ad un digestato, prelevato dopo 20 giorni di processo,

contenente 7 UFC/ml, con una riduzione del 99,9%; nel caso di E.Coli, partendo da un contenuto di  $5 \cdot 10^3$  UFC/ml, si è assistito ad una totale scomparsa di unità patogene all'interno del digestato, con una riduzione del 100%. Eventuali salmonelle non erano presenti nel campione di liquame e di conseguenza anche nel digestato.

Quanto appena affermato è possibile visionarlo nella seguente tabella:

	<b>Liquame Fresco</b>	<b>Digestato</b>
<b>Escherichia coli</b> (UFC/ml)	$5 \cdot 10^3$	assente
<b>Streptococchi</b> (UFC/ml)	$7,5 \cdot 10^3$	7
<b>Salmonella</b> (UFC/ml)	assente	assente

## Fase 2

### Start-up e prova invernale del prototipo costruito

#### Regime di alimentazione dell'impianto

A partire da metà luglio il reattore è stato inizialmente alimentato con letame maturo reperito in loco, per un quantitativo corrispondente a circa 120 kg. Tale materiale è da considerarsi sostanzialmente un buon inoculo per il processo biologico, ovvero un materiale ricco della microflora adatta ad avviare il processo. E' stato misurato il peso di una carriola di letame in modo da avere una stima della quantità alimentata nella vasca: 26-30 kg di letame. Altri carichi di letame hanno fatto seguito per tutto il periodo di operatività del reattore, ma in quantità minori rispetto al primissimo carico senza comunque mai superare il numero di due carriere al giorno.

Le analisi hanno rilevato un contenuto di Sostanza secca (S.S) del 22%, e di Solidi Volatili (S.V) intorno al 66,21% nel letame adoperato.

Per avviare gradualmente il processo, il reattore è stato prevalentemente alimentato a letame, se si eccettuano alcuni carichi di altro materiale tra cui:

- Scarti organici della cucina;
- Scarti vegetali (residui di potatura, scerbatura o scarti ortofrutticoli);
- Carta pulita e/o fazzoletti usati;
- Scarti vari (fondi di caffè e bucce di pomodoro).

Per questi materiali sono stati allestiti alcuni contenitori differenziati per ciascuna delle categorie di rifiuti sopradette. Come per il letame, tali contenitori sono stati pesati per determinare le quantità esatte introdotte nel digestore.

Come per il letame, ciascuna di queste matrici è stata sottoposta ad analisi della sostanza secca (S.S) e dei solidi volatili (S.V); nel primo caso, un campione di materiale organico viene prelevato e messo in una stufa ad essiccare per 36 ore a 80°C, mentre , nel secondo caso, il campione essiccato e dopo essere stato pesato, è immesso in muffola per 4 ore a 800°C per determinarne il contenuto in ceneri e risalire dunque ai solidi volatili (S.V).

In altre parole, questi ultimi rappresentano un percentuale molto elevata del contenuto di sostanza organica.

Di seguito è riportata una tabella di caratterizzazione delle matrici organiche con cui l'impianto è stato alimentato nel corso della sperimentazione.

<b>Matrice organica</b>	<b>Sostanza secca %</b>	<b>Solidi Volatili %</b>
Letame maturo	22,02	66,31
FORSU	46,96	92,48-
Fondi caffè	55,40	98,09
Foglie di gelso	40,61	74,17
Scarti verdi dell'orto	17,15	70,15
Fazzoletti	69,14	94,17





Ragioni legate alla necessità di mantenere un ambiente non eccessivamente acido per i microrganismi produttori di metano hanno imposto di sospendere temporaneamente il ricorso a matrici organiche fresche in favore di quelle più mature rappresentate dal letame, considerando inoltre il decorso progressivamente in discesa delle temperature medie giornaliere del periodo autunnale.

E' stato inoltre costruito un attrezzo per sospingere la biomassa solida in fase di caricamento dalla zona di alimentazione verso il fondo del reattore e la zona centrale della vasca.

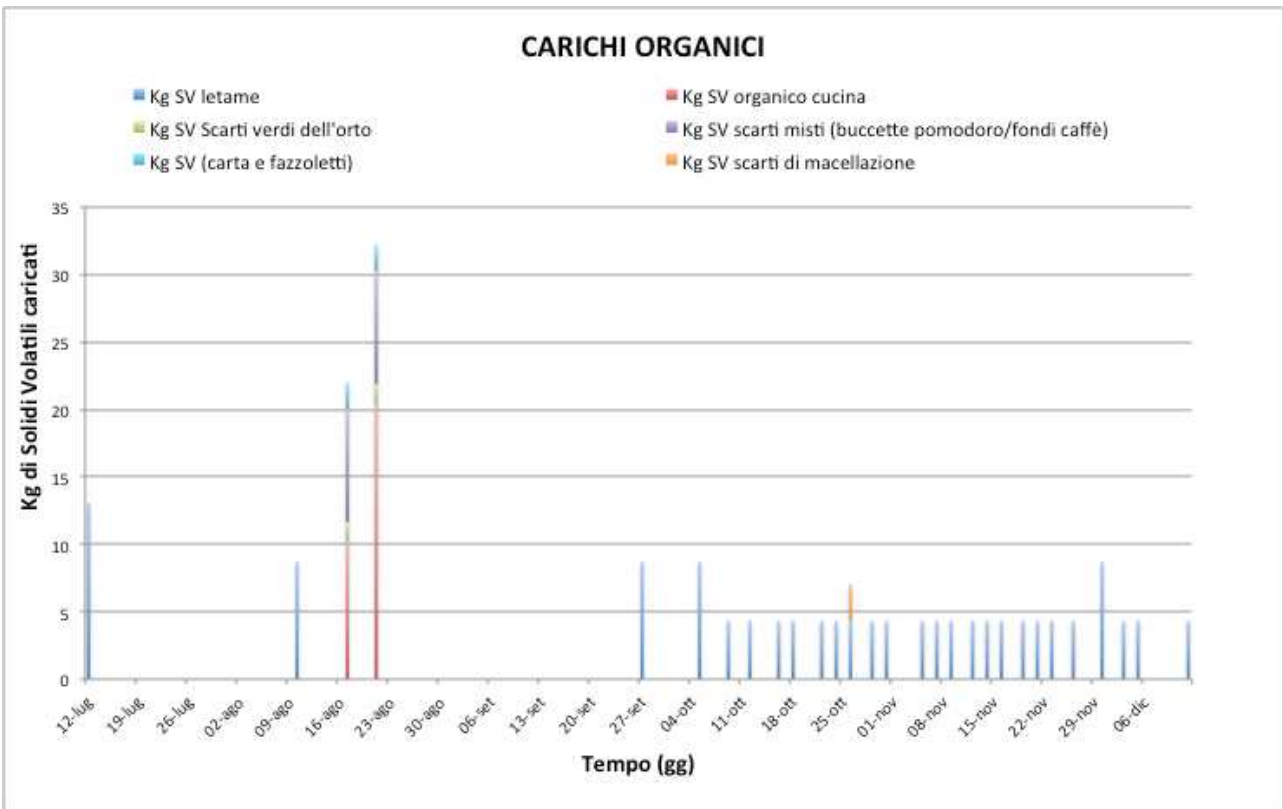
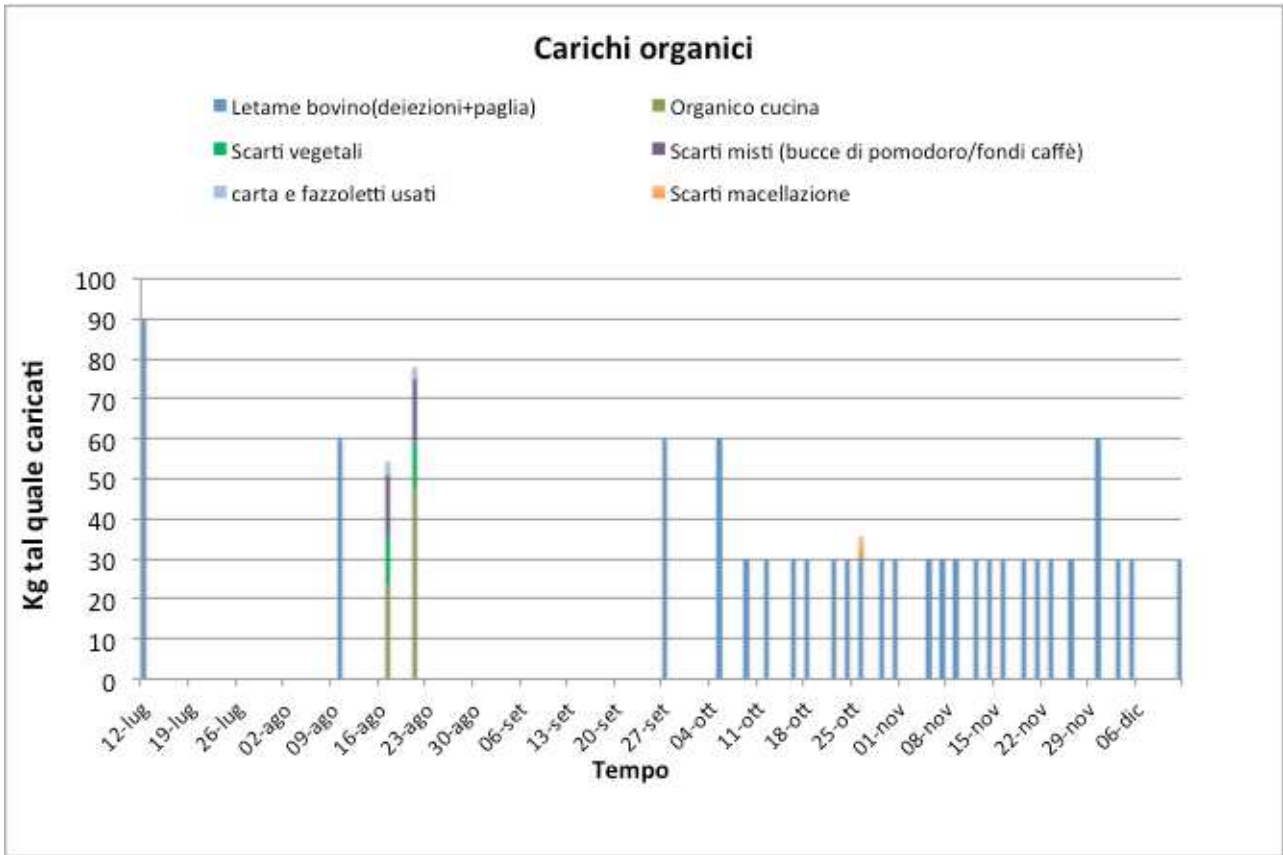


Il grafico sottostante mostra la cadenza con cui l'impianto è stato alimentato nel tempo e le matrici di alimentazione adottate.

Come è possibile evidenziare, per la maggior parte del periodo di operatività non vi sono stati cambiamenti sostanziali per ciò che riguarda il regime di alimentazione adottato per l'impianto: il reattore è stato infatti caricato continuamente con letame maturo.

Una quantità corrispondente a 30 kg di letame ogni due giorni (pari, quindi, a 15 kg ogni giorno, è stata introdotta senza sosta dall'inizio dell'autunno)

Sporadiche introduzioni di materiale digestato e separato solido, come pure scarti di macellazione sono stati immesse soltanto nell'ultima settimana di ottobre.



## Produzione di biogas

La produzione di biogas si è potuta monitorare a partire dal giorno 2 agosto.

Un dato sicuramente importante è quello che riguarda la percentuale di gas metano rilevata attraverso le analisi gas-cromatografiche e il suo andamento nel tempo.

Come si evince dal grafico sottostante, il valore percentuale di metano non è mai sceso sotto la soglia del 50%; è anzi progressivamente aumentato.

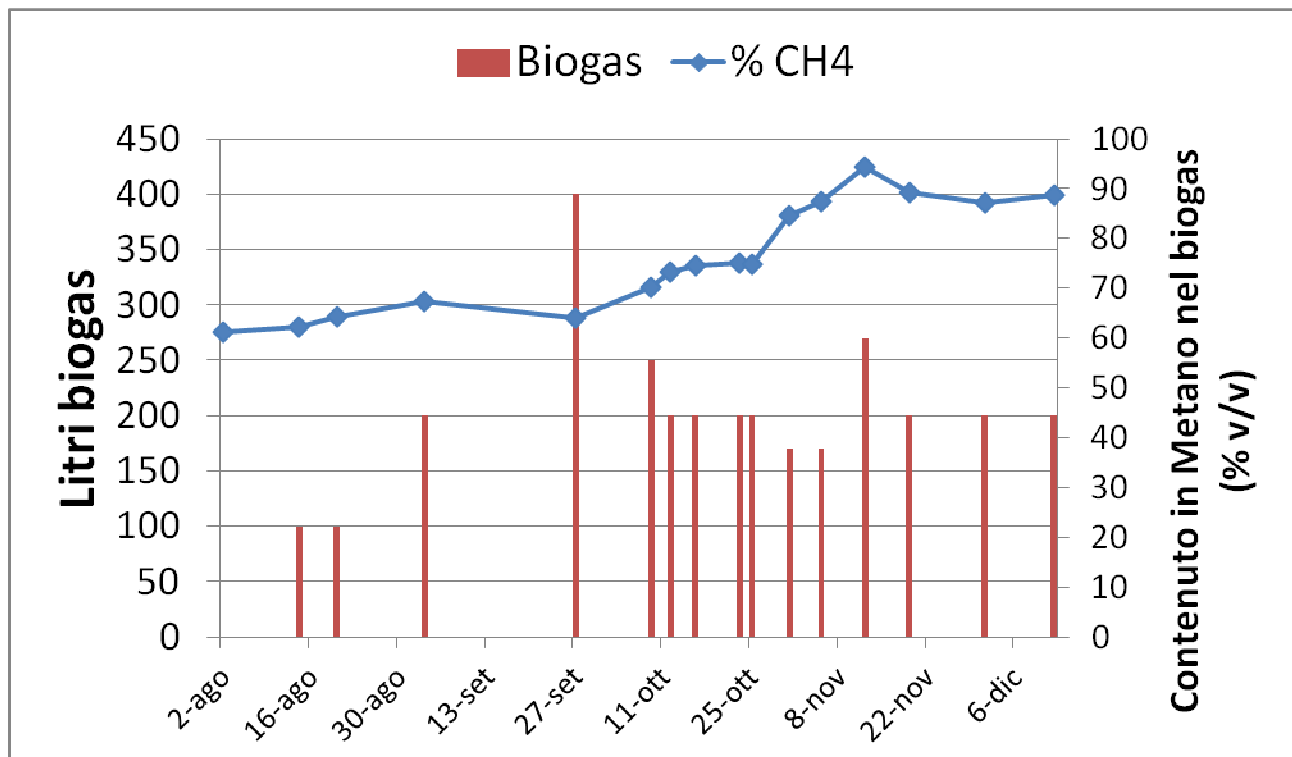
In particolare, è stato notato a partire dal mese di ottobre, un significativo aumento della percentuale di metano in biogas da 75% fino a 80-90% nelle ultime rilevazioni.

Resta comunque da verificare il comportamento dell'anidride carbonica in ambiente (più)freddo e relative conseguenze sulla percentuale di quest'ultima in biogas a favore del metano.

Parallelamente a questo aspetto qualitativo, si è assistito a un progressivo rallentamento della produzione di biogas come conseguenza del ridursi delle temperature medie stagionali.

Non a caso è stato notato un aumento del lasso di tempo necessario per ottenere un rigonfiamento soddisfacente del telo : dai due giorni di questa estate alle due-tre settimane durante l'ultimo periodo di analisi.

Inoltre, sempre a causa delle temperature più rigide, è stato osservato un aumento della densità del biogas a causa della contrazione di volume dello stesso.





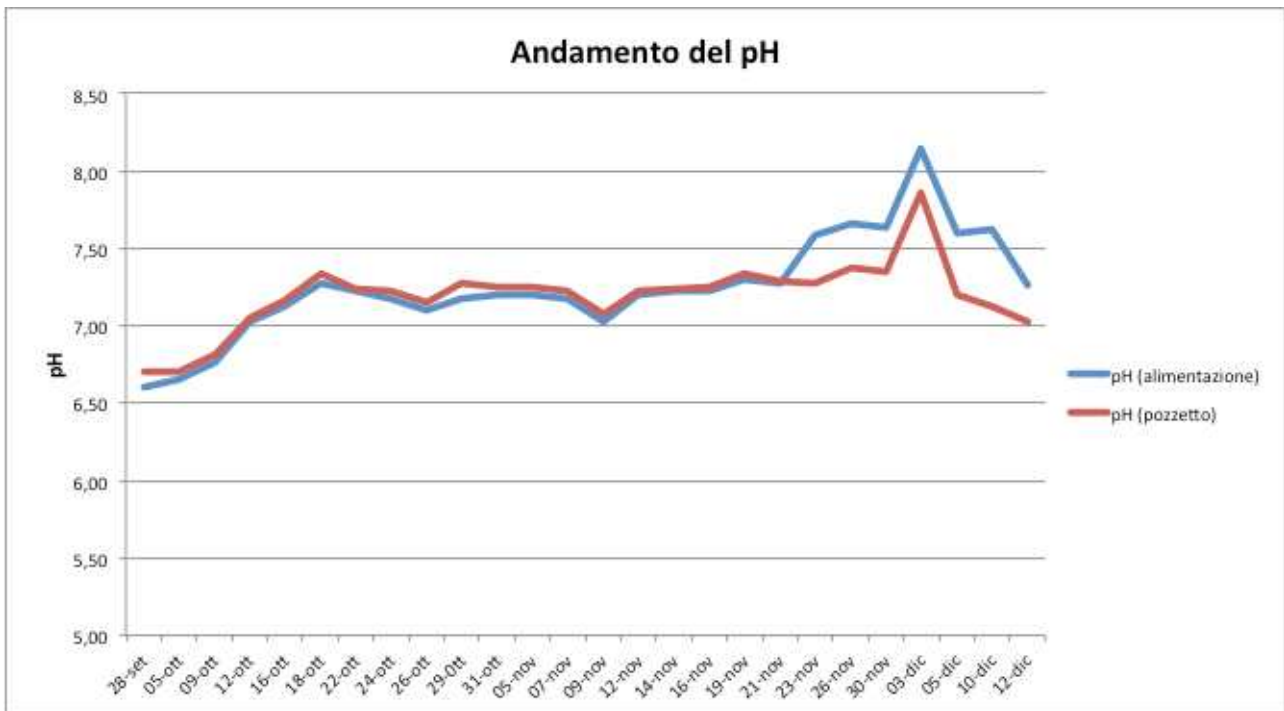
### Altri parametri di controllo del processo

Per ciò che concerne gli altri parametri di processo analizzati (pH, Acidi grassi volatili, Alcalinità totale, rapporto Acidi grassi volatili/alcalinità totale) ciascuno di questi indicatori è stato misurato volta per volta in due punti distinti del reattore: la zona di carico del materiale organico o prevasca (indicata nei grafici come “alimentazione”) e il pozzo di raccolta e di scarico delle acque in eccesso e in uscita dal reattore (che è invece segnato come “pozzetto”).

### Misura del pH



Il grafico che riguarda il primo di questi parametri-il pH- (ovvero l'acidità raggiunta giornalmente nell'impianto) mostra un andamento crescente: inizialmente poco più basso rispetto alla soglia ritenuta ottimale per mantenere un adeguato equilibrio tra fase di acidificazione (operata da batteri fermentativi) e fase di metanogenesi (operata da microrganismi produttori di metano) raggiunge valori considerati più normali nelle ultime settimane di analisi (pH intorno a 7).



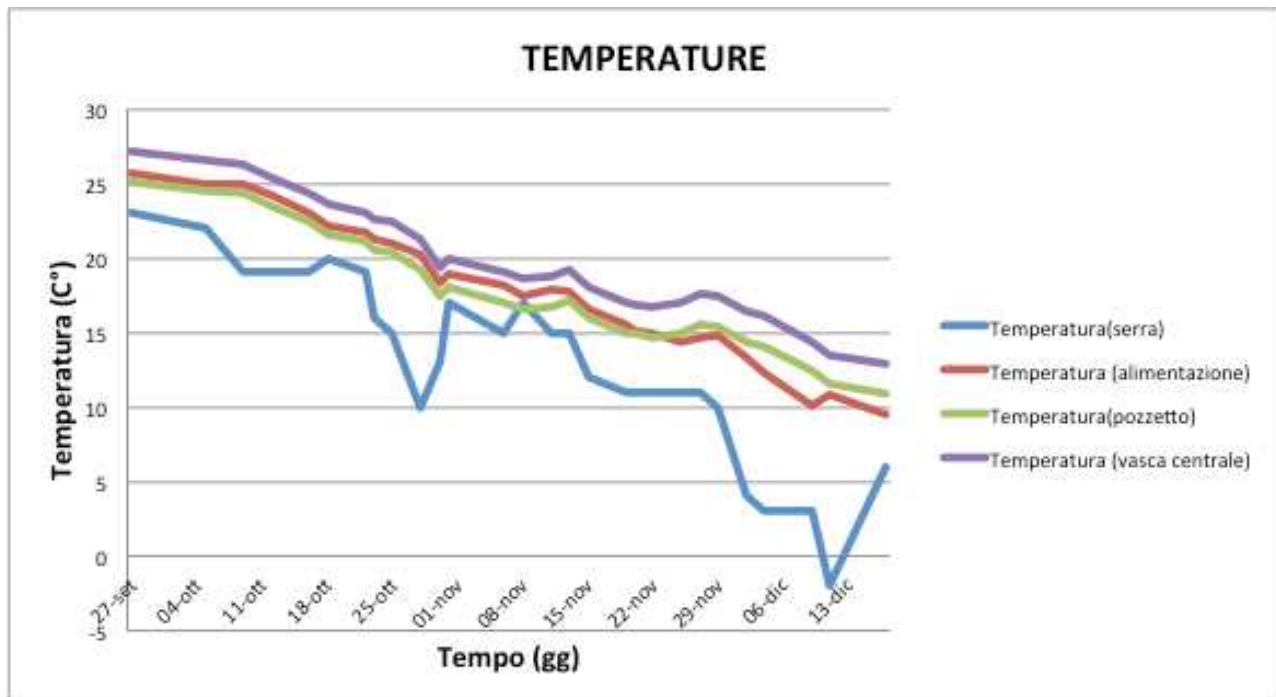
L'aspetto più rilevante è il verificarsi di una sostanziale controtendenza nell'ultimo periodo di analisi rispetto ai dati iniziali: infatti nel mese di settembre e all'inizio di ottobre, il pH nella prevasca è leggermente più basso rispetto alla zona di scarico finale; dopo il 9 novembre nelle due vasche si raggiunge un bilanciamento, con valori di acidità che quasi si equiparano, fermo restando un leggero distacco a favore del pozzetto.

A partire dal giorno 23 novembre, tuttavia, il pH in prevasca aumenta rispetto a quello nel pozzetto, distaccandosi nettamente da questo. L'ultima monitoraggio, effettuato il giorno 12 dicembre, rivela un pH in diminuzione nelle due zone distinte del digestore, come conseguenza dell'aumento degli AGV (vedere grafico seguente sul comportamento degli AGV).

### Comportamento della vasca centrale

Nella vasca centrale, la temperatura è leggermente più alta che in prevasca: il giorno 19 novembre è stata compiuta un'ispezione utilizzando come strumento di misurazione, la sonda incorporata allo strumento di rilevazione del pH. È stata rilevata una temperatura di 17,5°C contro i 15,5°C della zona di alimentazione, dunque leggermente più calda come conseguenza dell'arrivo diretto di acqua calda dalla cucina. Per ciò che concerne il valore di pH, questo è risultato pressochè simile a quello della zona di introduzione del materiale in impianto.

## Temperature



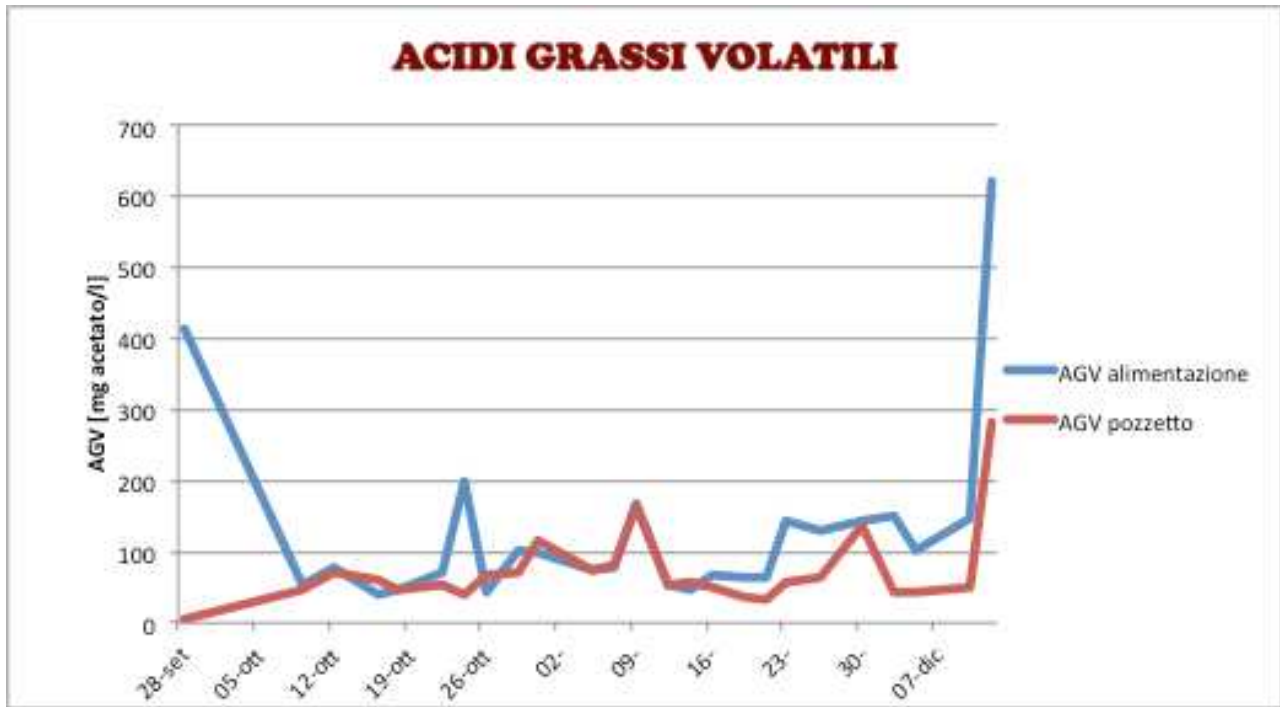
## Acidi grassi volatili (AGV)

L'evoluzione temporale della concentrazione di Acidi grassi volatili –AGV- (misurata come milligrammi di acetato /litro), che sono generalmente più alti nella zona di alimentazione rispetto alla vasca di scarico finale, mostra un andamento tendenzialmente decrescente nella zona di carico del materiale (parallelamente si assiste, come visto, a un aumento del pH nel tempo) come effetto diretto del tipo di influente stabile e maturo, rappresentato dal letame, introdotto nel reattore.

L'effetto contrario si è invece verificato nella zona di scarico finale.

In alcune occasioni sono stati registrati valori simili tra prevasca e zona di scarico finale: in particolare, il giorno 9 novembre è stato raggiunto un picco di 167 mg Acetato/ml nella zona di alimentazione e 164 nel pozzetto.

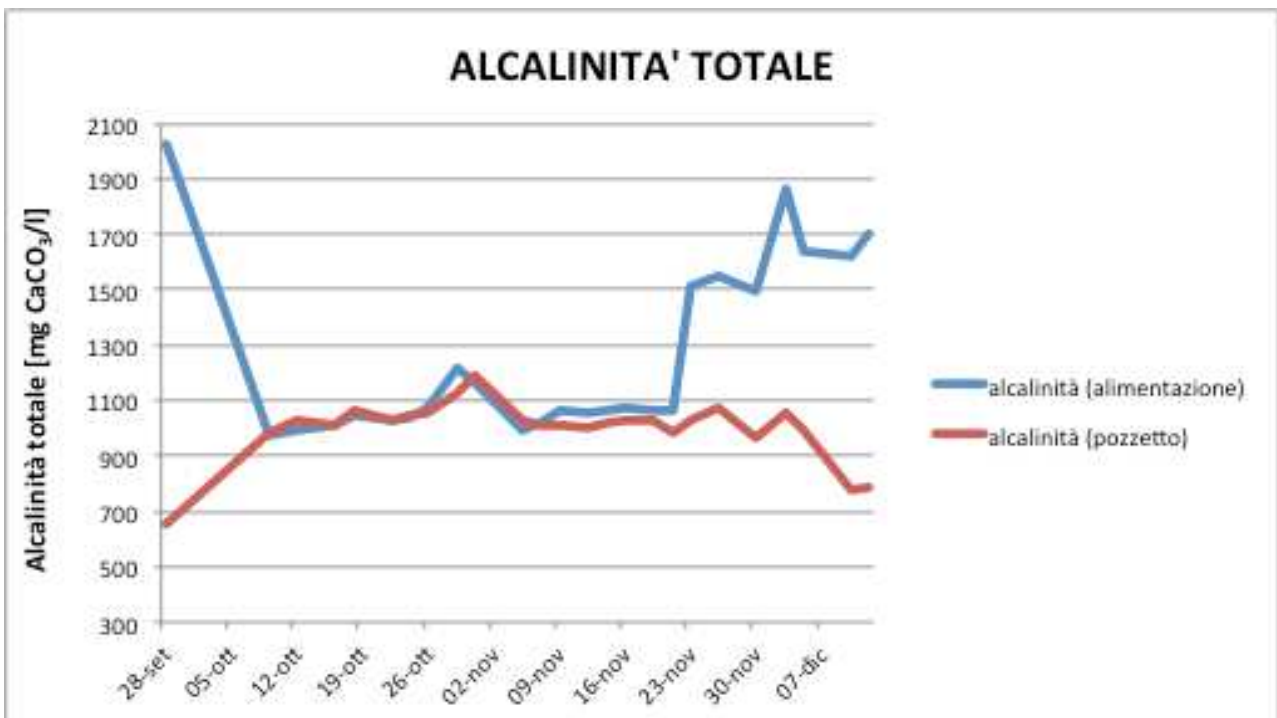
In seguito, il valore di AGV nello scarico finale si è ridotto, rimanendo sostanzialmente a livelli inferiori a quelli relativi agli AGV della zona di alimentazione.



#### Alcalinità totale

Anche il grafico relativo alla misura dell'Alcalinità totale (quantità di carbonato di calcio in milligrammi/litro) -che è una misura diretta delle condizioni chimicamente riducenti che si raggiungono all'interno di un digestore- mostra un andamento simile a quello visto in precedenza per gli AGV, ma con una particolare tendenza dei dati a uniformarsi nei loro valori nelle due distinte zone del reattore fino al giorno 21 novembre.

Da questo momento in poi, le due serie di valori si biforcano rilevando una decrescita dell'alcalinità nella zona di scarico e un opposto andamento di crescita in prevasca.





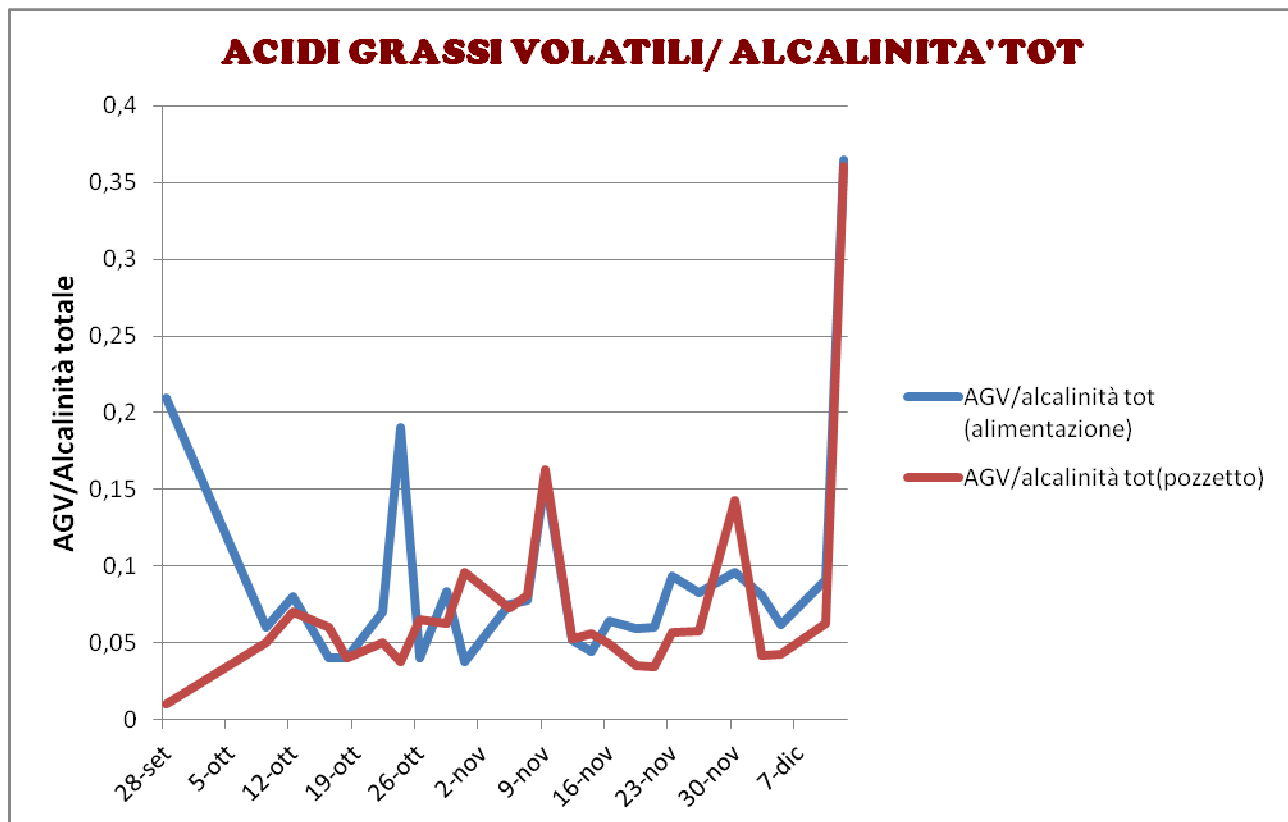
## Rapporto AGV/Alcalinità totale

Per quanto riguarda il rapporto tra AGV e alcalinità totale, come è possibile dedurre dal grafico, si è assistito ad una progressiva riduzione nella zona di carico, conseguente al cambio di tipologia di alimentazione: il letame maturo è povero di sostanze facilmente e rapidamente degradabili per i microrganismi che producono generalmente molta acidità nell'ambiente interno del reattore.

Il contrario si verifica nella zona di scarico finale.

Dopo questo primissimo periodo, è stato possibile notare un andamento altalenante in cui tale rapporto è a tratti più alto nella zona di alimentazione, in altri nella zona del pozzetto. Escludendo la data del 9 novembre, nella quale si assiste ad un sostanziale pareggiamento nelle due zone, in prevasca il trend è stato generalmente più alto rispetto al pozzetto, se si eccettua un picco riscontrato in quest'ultimo il giorno 30 novembre (0,143).

L'andamento generale, sia in prevasca sia nel settore dello scarico finale rivela comunque un rapporto sempre più basso rispetto al valore soglia di 0,3 che è indice di condizioni operative stabili nell'impianto. Tale limite è stato raggiunto con l'ultimo monitoraggio, avvenuto il giorno 12 dicembre, in cui è possibile osservare dal grafico, un netto aumento del rapporto AGV/alcalinità totale sia in prevasca, sia nella zona di scarico finale.



## **Conclusioni**

I risultati della sperimentazione hanno evidenziato, alla luce delle analisi qualitative gas-cromatografiche sulla composizione del gas in uscita dall'impianto, che le percentuali di metano sono state elevate, collocandosi tra 60 e 90% nella miscela del biogas.

I grafici sull'evoluzione temporale di altri parametri di processo quali pH, Acidi grassi volatili (AGV), Alcalinità totale e rapporto Acidi grassi volatili/alcalinità, hanno dimostrato che, ad eccezione dell'ultima analisi, si sia registrato un sostanziale raggiungimento di condizioni di stabilità all'interno del reattore.