



UNIONE EUROPEA  
FONDO EUROPEO AGRICOLO  
PER LO SVILUPPO RURALE:  
l'Europa investe nelle zone rurali



Regione Umbria



an environmental high tech shuttle structure

Tel. +39-75-31556 /335 7029166 /335 387068

C.F. / P.IVA 00289900540

Sereco Biotest sas

Via C. BALBO,7

06121 PERUGIA

[sereco@serecobiotest.it](mailto:sereco@serecobiotest.it)

[www.serecobiotest.it](http://www.serecobiotest.it)

## **PROGETTO: GASFARM**

Programma di sviluppo rurale per l'Umbria 2014/2020 Misura 16 "Cooperazione" - sottomisura 16.2 –  
Tipologia di intervento 16.2.1 "Sostegno a progetti pilota e allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche,  
processi e tecnologie realizzati da altri partenariati diversi dai Gruppi Operativi e dalle Reti o Poli di nuova  
costituzione".;

N° DOMANDA SIAN: 14250102069.

### **RELAZIONE TECNICA RELATIVA ALL'ATTIVITA' 2 (Sperimentazione impianto pilota ABR)**

**comprendente:**

- Sperimentazione processo ABR (collaudi funzionali e di processo, avviamento e messa a regime) (Att. 2.1)
- Valutazione risultati e analisi statistiche delle cinetiche di produzione e delle rese totali e specifiche (Att. 2.2)

## INTRODUZIONE

Completata la fase di progettazione, costruzione ed installazione del prototipo, si è passati all'esecuzione della sperimentazione del reattore ABR che si è espletata in 3 fasi:

- 1) Pre-testing volto a verificare le tenute aerauliche e il corretto funzionamento dei sistemi di trasferimento (pompe, valvole di intercettazione e regolazione, ecc...)
- 2) Induzione della reazione anaerobica (AD starting) attraverso l'inserimento all'interno del reattore di un inoculo anaerobico proveniente da un reattore AD già in esercizio
- 3) Esecuzione dei cicli di gasificazione. Sono stati eseguite 2 prove di gasificazione ognuna delle quali costituita da 3 cicli in batch. La prima prova è risultata molto lunga in cui sono stati effettuati svariati caricamenti di materiale organico.

Alla fine si è proceduto all'elaborazione dei risultati di campo ed analitici attraverso la valutazione delle cinetiche di produzione del biogas e delle rese produttive nonché dei dati sulla qualità e composizione del biogas.

## PRE-TESTING – COLLAUDO FUNZIONALE

A conclusione della collocazione e installazione del reattore presso il sito di prova ed effettuati gli opportuni collegamenti idraulici ed elettrici, si è proceduto all'effettuazione del collaudo funzionale di impianto atto a verificare la tenuta delle condotte idrauliche e aerauliche e il corretto funzionamento dei sistemi di trasferimento elettro-meccanici (pompe, valvole, ecc...).

Le verifiche, condotte secondo i criteri FMEA (SAE (1994). [Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design \(Design FMEA\), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes \(Process FMEA\), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery \(Machinery FMEA\).](#) SAE International.) hanno dato esito favorevole e, pertanto, si è passati alla conduzione delle prove di biogasificazione vere e proprie.

## TESTING DI BIOGASIFICAZIONE

Sono state eseguite 2 prove di gasificazione in 3 batch cadauno. La prima prova è stata molto lunga, durata **195 gg**, prolungata anche a causa di alcuni imprevisti che hanno ostacolato il normale funzionamento del sistema e la seconda della durata di 97 gg, per un totale di 292 gg

Si è riusciti quindi ad attuare l'obiettivo di mettere in azione il reattore per un periodo complessivo di 10 mesi (da gennaio a novembre), articolando l'attività in 2 prove di testing.

La produzione di biogas riportata è quella rilevata al contatore posto all'uscita della linea gas. Per le piccole portate di produzione del biogas che il prototipo in scala, per le sue piccole dimensioni è in grado di generare, non è stato tecnicamente possibile installare né un misuratore in continuo di portata e di composizione, né un gasometro di accumulo del biogas.

## TEST 1 – GENNAIO-LUGLIO

Per prima cosa è stato effettuato il caricamento del reattore DA-ABR con un inoculo anaerobico starter prelevato da un impianto DA collocato nelle vicinanze, avente un tenore di SV% misurato in laboratorio pari a 3,86%. Tale inoculo è stato caricato nel reattore DA-ABR in misura pari a 220 l miscelato con 180 l di liquame suinicolo stoccato in laguna (SV% 5,39%), per un totale quindi di 400 l complessivi di carico, in accordo al seguente schema di calcolo:

**TAB.1**

I/S		0,88	optimal value : 1.6-3
VS inoc	%	3,86	
VS subst	%	5,39	
Vtot	l	400	
Vinoc	l	220	
Vsubst	l	180	

Note: it is assumed that the difference in densities between I and S are negligible

Come si può vedere si è ottenuto un rapporto I/S inferiore rispetto al valore ottimale indicato in letteratura per i test BMP (*M.A. Rosato – Managing Biogas – A Practical Guide – CRC PRESS 2018 p.108*) in quanto non è stato possibile trasportare più di 220 l di inoculo.

Inoltre, si è consapevolmente voluto esaminare cosa succede in presenza di condizioni sub-ottimali di miscelazione inoculo-substrato, configurando quindi la prova come un vero e proprio “stress test”.

Seguendo le linee guida dettate dalla più autorevole letteratura di settore (*M.A. Rosato – Managing Biogas – A Practical Guide – CRC PRESS 2018 p.102-107*), è stato effettuato il c.d. “degassing” dell’inoculo, ovvero è stato promosso il consumo pressochè totale della componente di substrato organico di supporto alla crescita dei microrganismi che devono acclimatarsi alle condizioni ambientali del sistema anaerobico. Detto in altri termini, è stato lasciato il tempo ai microrganismi dell’inoculo di svilupparsi al massimo utilizzando tutto il potenziale nutritivo presente, lasciandoli “affamati” in attesa dell’immissione del substrato da biogasificare. Tale processo è denominato appunto “degassing” perché l’eliminazione

del substrato nutritivo dà luogo ad una produzione di biogas che termina, appunto, quando l'inoculo diventa puro (cioè è solo cellulare), ovvero è abilitato alla degradazione del substrato immesso esternamente (nel nostro caso il liquame dell'attività suinicola di Checcarini).

**TAB.2**

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM					
<b>A) INOCULUM FEED-IN</b>			m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	l	cumul (l)	Δ time (h)	Δ prod (l/h)
220 l ING al 3,86 % SV+ 180 l SUB al 5,39% SV	10/01/2024	0								952	0		
	15/01/2023	1								972	20	21	1,0
	18/01/2023	2	0,22	3,86	8,49				<b>8,49</b>	1274	322	78	3,9
	19/01/2024	3								1399	447	20	6,3
	22/01/2024	4								1757	805	48	7,5
	25/01/2024	5								2009	1057	72	3,5
	29/01/2024	6								2225	1273	96	2,3
	09/02/2024	7								2542	1590	144	2,2
	20/02/2024	8								2817	1865	144	1,9
	29/02/2024	9								2987	2035	216	0,8

Come si può osservare da Tab.2 il degassing si è potuto considerare concluso dopo ca. 40 giorni dall'immissione della miscela I/S (10/01/2024). Il 29/02/2024, infatti, la produzione media oraria di biogas al contatore è risultata di 0,8 l/h, il 10,6 % rispetto al picco massimo.

Considerato concluso il 29/02/2024 il degassing, il 04/03/2024 si è dato avvio al test con il substrato immettendo 180 l di liquame.

La misura dei SV % questa volta ha dato un risultato inferiore (3,86 %) rispetto alla misura precedente effettuata nel mese di gennaio, riallineandosi quindi ai dati riscontrati nella fase di caratterizzazione effettuate l'anno precedente.

Questa notevole variabilità nel tenore dei solidi volatili gasificanti dovrebbe essere tenuta in considerazione e meritevole di un ulteriore approfondimento.

Il record chart completo della prova è contenuto in **Allegato 1.**

Complessivamente, nella prova sono stati immessi 1,13 m<sup>3</sup> di liquame e 38,8 Kg di SV, nel corso della quale si sono verificati alcuni problemi tecnici che hanno impedito lo svolgimento continuativo e lineare del test.

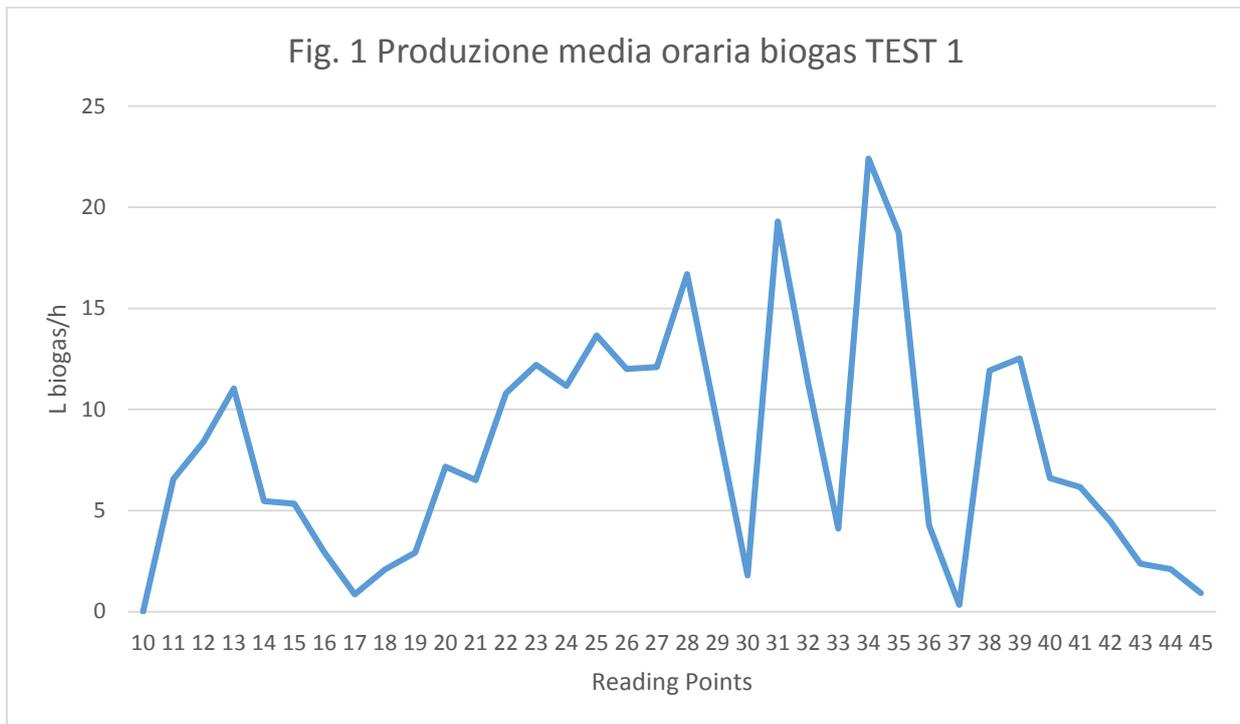
In particolare, il giorno 12/3/24, a causa di una sovrappressione interna avvenuta in fase di ricircolo, del liquor anerobico è penetrato all'interno della linea gas arrivando a sporcare il contatore.

E' stato necessario quindi ripristinare il corretto funzionamento delle linea gas attraverso un'operazione di pulizia del contatore e della linea che è stata effettuata da tecnici specializzati.

Inoltre, qualche giorno dopo è stato necessario effettuare un intervento sulla caldaia scaldacqua che non funzionava adeguatamente.

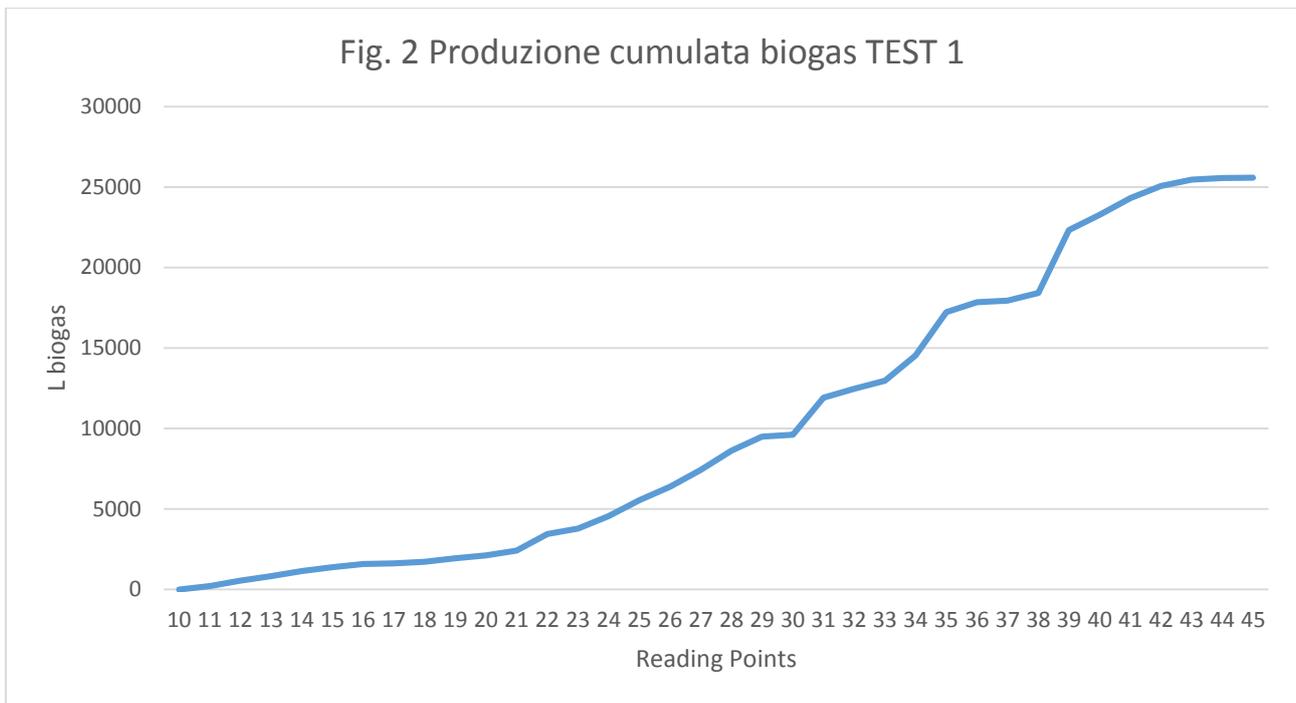
## Risultati

I grafici delle cinetiche sono riportati nelle Figg. 1, 2 e 3 che rappresentano, rispettivamente, l'andamento della produzione media oraria di biogas (AHP, Average Hourly Production), la produzione cumulativa e quella cumulativa specifica per Kg SV complessivamente immessi.



Si nota una fase di marcato declino della produzione oraria di biogas (AHP) in corrispondenza dell'intervallo di reading point 14-19 dovuta ai malfunzionamenti sopra descritti, seguito da un rapido e repentino aumento non appena il reattore ABR è stato ricaricato con il substrato. Altri cali marcati dell' AHP (RP 30,33 e 37) sono stati seguiti da repentini recuperi assicurati dalla reimmissione di liquame, segno inequivocabile del fatto che il sistema microbico sviluppatosi nell'ABR era fortemente resiliente.

Un'impostazione in continuo del sistema di carico (il test è stato possibile condurlo solo in batch per problemi di sicurezza) potrebbe garantire, almeno in teoria, la produzione di 15-23 l/h di biogas, quindi fino ad un massimo di 550 l/d, ca. 200 m<sup>3</sup>/y (ipotizzando un funzionamento a 365 d).

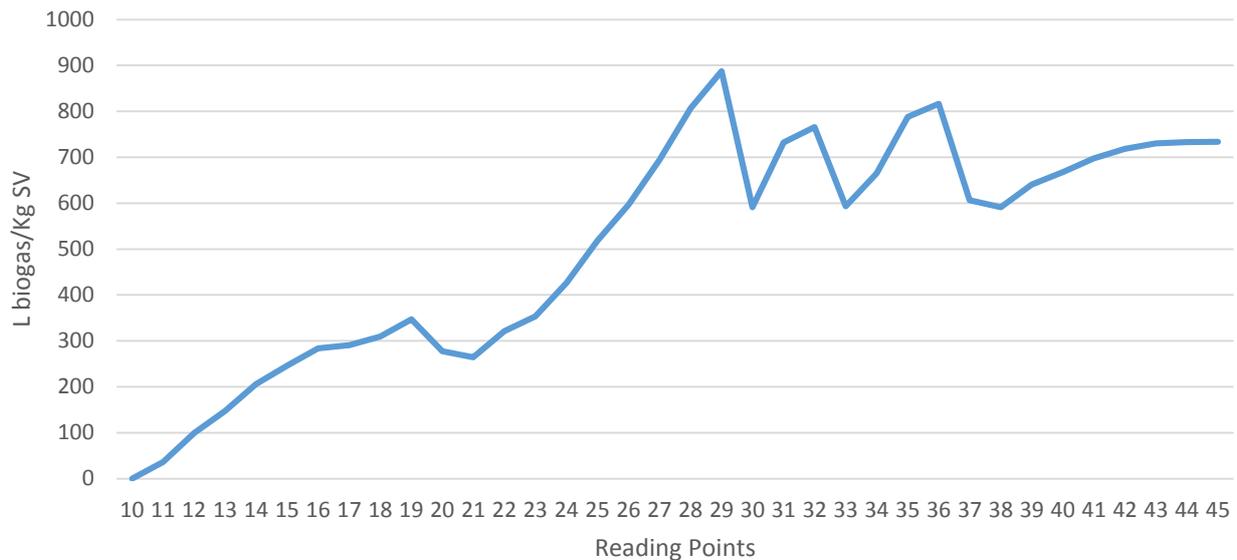


L'andamento della produzione cumulativa di biogas, malgrado i ca. 20 gg di malfunzionamento (reading points 14-19) si mostra soddisfacente, rispondendo ad una cinetica quasi-lineare del I grado, a partire da RP 21.

Complessivamente sono stati prodotti 25,6 m<sup>3</sup> ca. di biogas nel corso di 195 giorni di prova, considerando che per ca. 20 gg l'impianto ha sottoperformato a causa di problemi tecnici.

Al netto del periodo di fermo, quindi i giorni di prova sono stati **175**.

Fig. 3 Produzione cumulativa Specifica TEST 1



La produzione specifica di biogas per quantità di SV è il parametro determinante per stabilire la bontà di un processo di DA. Il dato saliente che emerge dalla disamina di Fig. 3 è che nel giro di appena 10 gg, quindi con estrema rapidità, dopo la stasi produttiva dovuta ai malfunzionamenti, si è raggiunto un livello produttivo estremamente elevato, rappresentato dal picco di RP 29, pari a 887,3 l/Kg SV, poi stabilizzatosi intorno ai 750 l/Kg SV.

Il dato di resa finale è di **734 l/Kg SV** che si può considerare un risultato ragguardevole, visto che i valori che si riscontrano in letteratura vanno dai 450 ai 550 l/Kg SV, quindi dal 33% al 66% superiori. Se si considera il picco massimo raggiunto, la differenza varia da + 61% a + 97%.

I test BMP<sup>1</sup> effettuati sui liquami aziendali nel 2023 rientravano nel range tipico riscontrabile in letteratura.

Una diversa chiave interpretativa delle rese di biogas avute nel corso di TEST 1 può incentrarsi sull'analisi delle produzioni di biogas che si sono registrate a seguito dell'immissione di ciascun batch di substrato (S) (o immissioni ravvicinate di batch di S) fino al momento dell'esaurimento della produzione di biogas.

<sup>1</sup> Va rilevato che quello che in letteratura è chiamato "potenziale biometanigeno" (BMP) dovrebbe essere definito in questa sede più correttamente "potenziale di biogasificazione (BGP), in quanto il parametro rilevato è il volume di gas al contatore. D'ora in poi quindi si userà il termine BGP

Si può ravvisare quindi un primo batch, alimentato al reattore dopo lo stop dal 30/3 al 30/4 (AHP<sub>min</sub> = 1,8 l/h), in cui sono stati immessi 10,7 Kg di SV. In questo caso il BGP è pari a **578 l/KgSV**

## BATCH 1

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
	29/03/2024	19	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg		5175	1936	72	2,9	347,0
C) S FEEDING -2- 65 l	30/03/2024	20				0,065	3,1	2,02	7,60	5347	2108	24	7,2	277,6
D) S FEEDING -3- 50 l	02/04/2024	21				0,050	3,1	1,55	9,15	5659	2420	48	6,5	264,6
E) S FEEDING -4- 50 l	06/04/2024	22				0,050	3,1	1,55	10,70	6675	3436	94	10,8	321,3
	07/04/2024	23								7017	3778	28	12,2	353,2
	10/04/2024	24								7799	4560	70	11,2	426,4
	13/04/2024	25								8783	5544	72	13,7	518,4
	16/04/2024	26								9623	6384	70	12,0	596,9
	20/04/2024	27								10663	7424	86	12,1	694,2
	23/04/2024	28								11865	8626	72	16,7	806,5
	27/04/2024	29								12729	9490	93	9,3	887,3
F) S FEEDING -5- 180 l	30/04/2024	30				0,18	3,1	5,58	16,28	12858	9619	72	1,8	591,0

Un secondo batch, della durata di 40 gg è dal 30/4 al 9/6 (AHM<sub>min</sub> = 0,3 l/h) con produzione di 8330 l di biogas e immissione di 11,2 Kg di SV. Il BGP è risultato in questo caso essere pari a **746 l/Kg SV**.

## BATCH 2

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
F) S FEEDING -5- 180 l	30/04/2024	30				0,18	3,1	5,58	16,28	12858	9619	72	1,8	591,0
	04/05/2024	31								15155	11916	119	19,3	732,2
	06/05/2024	32								15698	12459	48	11,3	765,5
G) S FEEDING -6- 180 l	11/05/2024	33				0,18	3,1	5,58	21,86	16200	12961	122	4,1	593,0
	14/05/2024	34								17769	14530	70	22,4	664,8
	20/05/2024	35								20466	17227	144	18,7	788,2
	26/05/2024	36								21082	17843	144	4,3	816,4
H) S FEEDING -7- 250 l	09/06/2024	37				0,25	3,1	7,75	29,61	21188	17949	312	0,3	606,3

Il terzo batch di TEST1 (9/6-24/7, 45gg, con AHM<sub>min</sub> = 0,9 l/Kg SV) ha visto la produzione di 7636 l di biogas e l'immissione di 13,02 Kg SV con una resa produttiva **BGP = 586 l/Kg SV**.

## BATCH 3

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
H) S FEEDING -7- 250 l	09/06/2024	37				0,25	3,1	7,75	29,61	21188	17949	312	0,3	606,3
I) S FEEDING -8 - 50 l	11/06/2024	38				0,05	3,1	1,55	31,16	21665	18426	40	11,9	591,4
L) S FEEDING -9- 120 l	24/06/2024	39				0,12	3,1	3,72	34,88	25571	22332	312	12,5	640,3
	30/06/2023	40								26521	23282	144	6,6	667,6
	07/07/2024	41								27555	24316	168	6,2	697,2
	14/07/2024	42								28303	25064	168	4,5	718,7
	21/07/2024	43								28701	25462	168	2,4	730,1
	23/07/2023	44								28802	25563	48	2,1	733,0
	24/07/2023	45								28824	25585	24	0,9	733,6
						V tot imm			tot SV (Kg)			tot h		
						1,13			34,88			4018		

In sintesi:

TAB.3

	DURATA	BIOGAS	SV imm	BGP
	gg	l	Kg	l biogas/Kg SV
BATCH 1 – TEST 1	26	6183	10,7	578
BATCH 2 – TEST 1	40	8330	11,2	744
BATCH 3 – TEST 1	45	7636	13,0	587
<b>MEDIA</b>	<b>37</b>	<b>7383</b>	<b>11,6</b>	<b>636</b>

L'analisi di un campione di biogas campionato con sacca in tedlar ed analizzato in Gas-Cromatografia con Dectector a Termo-Conducibilità, (GC-TCD) ha fornito i seguenti risultati:

TAB.4

PARAMETRO	CONC.	VOLUME litri	TECNICA UTILIZZATA	ATTREZZATURA DI PROVA
CO <sub>2</sub>	37,49% v/v	10	Tedlar bag + GC-TCD	Fison GC 8000
CH <sub>4</sub>	61,31% v/v	10	Tedlar bag + GC-TCD	Fison GC 8000
N <sub>2</sub>	0,62%v/v	10	Tedlar bag + GC-TCD	Fison GC 8000

Il valore di CH<sub>4</sub> contenuto è risultato quindi molto soddisfacente.

Non è stato tecnicamente possibile invece determinare la concentrazione di H<sub>2</sub>S vista l'impossibilità di disporre di un gasometro di accumulo, dovendo il campionamento di tale composto volatile essere realizzato tramite gorgogliamento di un volume di aria significativo.

## TEST 2 – LUGLIO-OTTOBRE

Nel secondo test non si è reso necessario introdurre un inoculo esterno, essendo stato considerato idoneo all'innesco della reazione demolitiva anaerobica il residuo digerito del test precedente, presumibilmente ancora dotato di attività biologica, dato che al termine del Test 1 ancora era presente una produzione di biogas residua.

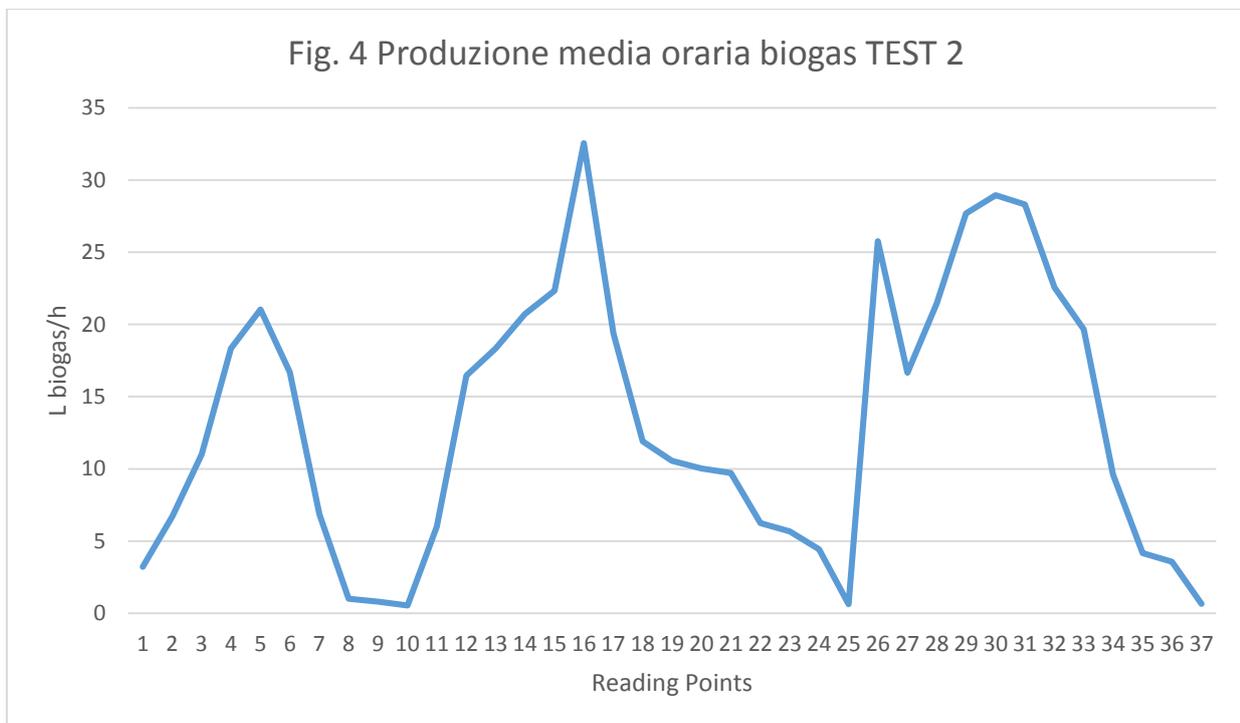
Pertanto, già il 26.7 è stato dato avvio al test 2 introducendo nell'ABR 200 l di liquame dalla vasca di stoccaggio il cui tenore di SV era pari al 5,3%.

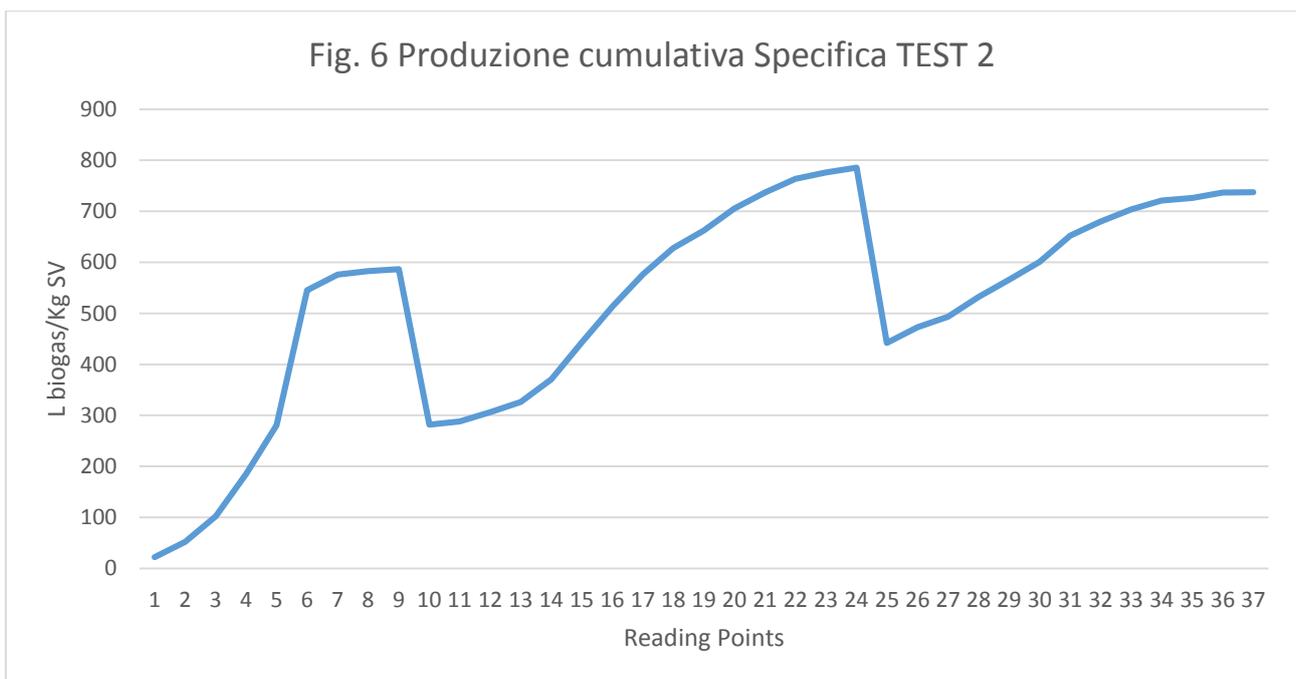
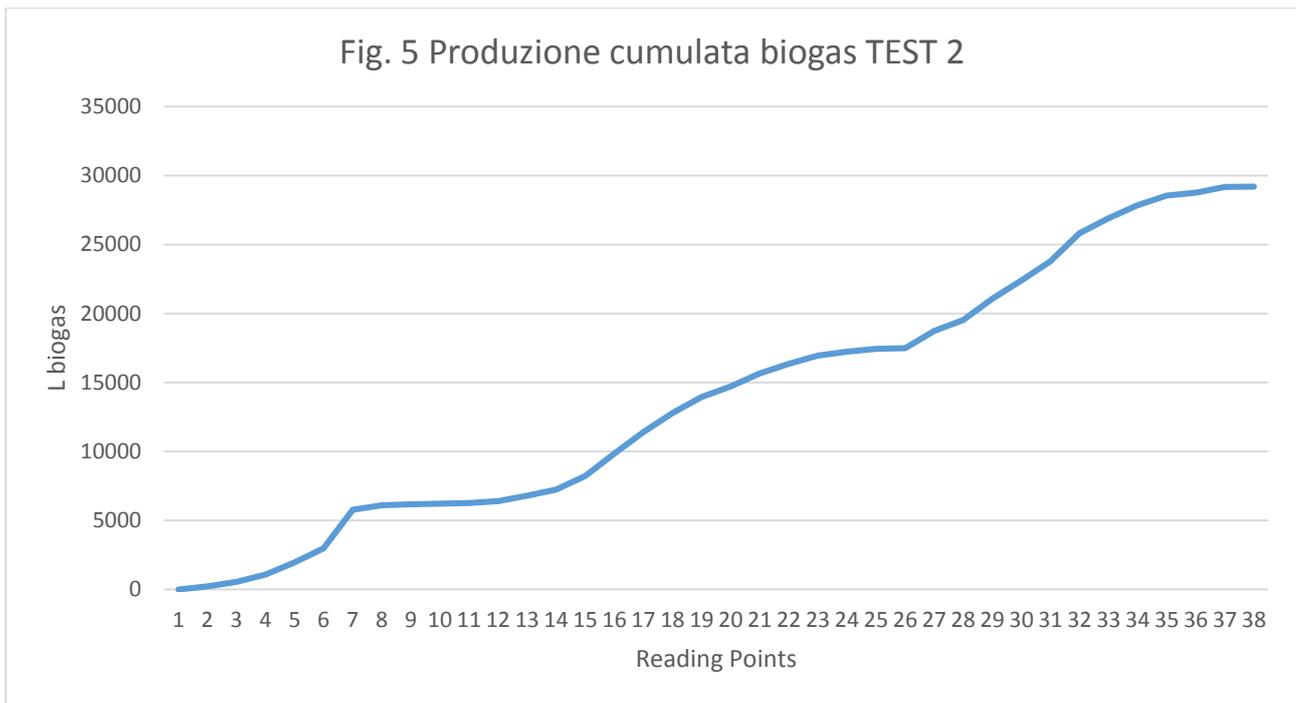
Successive introduzioni di substrato sono state effettuate il 24.08 (200 l) e il 30.09 (300 l) considerando in tutti i casi un tenore di SV considerato pari a 5,3 %.

Il test è stato considerato concluso il 31.10 al **97° giorno di prova**.

Il record chart completo della prova è contenuto in **Allegato 2**.

In figg. 4, 5, e 6 sono raffigurate le cinetiche del processo





Il dato di resa finale per TEST 2 è di **738 l/Kg SV**, dato del tutto sovrapponibile a quello di TEST 1. L'elevata riproducibilità tra i 2 test rappresenta un elemento di successo della sperimentazione ed è da considerarsi molto incoraggiante.

Analogamente a quanto descritto in TEST 1, si può analizzare la produzione di biogas per ogni batch di substrato immesso nell'arco del periodo di esecuzione del test.

E' possibile quindi ravvisare un primo batch (26.7-21.8, 26 giorni di test) con ( $AHP_{min}^2 = 0,8$  l/h), in cui sono stati immessi 10,6 Kg di SV. In questo caso il BGP è risultato pari a **587 I/KgSV.**

## **BATCH 1 TEST 2**

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
<b>A) START S FEED-IN</b>			m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	l	cumul (l)	Δ time (h)	Δ prod (l/h)	prod cum (l/KgSV)
200 l SUB al 5,30 SV%	26/07/2024	0				0,2	5,3	10,60	<b>10,60</b>	25	0			
	29/07/2024	1								256	231	72	3,2	21,8
	01/08/2024	2								578	553	48	6,7	52,2
	03/08/2024	3								1106	1081	48	11,0	102,0
	05/08/2024	4								1986	1961	48	18,3	185,0
	07/08/2024	5								2996	2971	48	21,0	280,3
	14/08/2024	6								5801	5776	168	16,7	544,9
	16/08/2024	7								6130	6105	48	6,9	575,9
	19/08/2024	8								6203	6178	72	1,0	582,8
	21/08/2024	9	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	6242	6217	48	0,8	586,5

Un secondo batch della durata di 37 gg si è svolto dal 24.9 al 30.9 ( $AHP_{min} = 0,6$  l/h) e ha visto l'immissione di 11,6 Kg di SV. Il BGP è stato pari a **786 I/Kg SV.**

## **BATCH 2 TEST 2**

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
<b>B) S FEEDING -2 200 l</b>	24/08/2024	10				0,2	5,8	11,60	<b>22,20</b>	6281	6256	72	0,5	281,8
	25/08/2024	11								6425	6400	24	6,0	288,3
	26/08/2024	12								6820	6795	24	16,5	306,1
	27/08/2024	13								7260	7235	24	18,3	325,9
	28/08/2024	14								8255	8230	48	20,7	370,7
	31/08/2024	15								9863	9838	72	22,3	443,2
	02/09/2024	16								11425	11400	48	32,5	513,5
	05/09/2024	17								12820	12795	72	19,4	576,4
	09/09/2024	18								13963	13938	96	11,9	627,8
	12/09/2024	19								14723	14698	72	10,6	662,1
	16/09/2024	20								15685	15660	96	10,0	705,4
	19/09/2024	21								16385	16360	72	9,7	736,9
	23/09/2024	22								16984	16959	96	6,2	763,9
	25/09/2024	23								17256	17231	48	5,7	776,2
	27/09/2024	24	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	17469	17444	48	4,4	785,8
<b>C) S FEEDING -3 300 l</b>	30/09/2024	25				0,3	5,8	17,40	<b>39,60</b>	17515	17490	72	0,6	441,7

<sup>2</sup> AHP = Minimum Average Hourly Production = Minima produzione oraria media

Il terzo batch di TEST 2 (30.09-31-10, 31 gg di prova, con  $AHP_{min} = 0,6$  l/Kg SV) ha visto l'immissione di 17,4 Kg SV con una resa produttiva **BGP = 738 l/Kg SV**.

## **BATCH 3 TEST 2**

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
	19/09/2024	21							16385	16360	72	9,7	736,9	
	23/09/2024	22							16984	16959	96	6,2	763,9	
	25/09/2024	23							17256	17231	48	5,7	776,2	
	27/09/2024	24	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg		17469	17444	48	4,4	785,8
<b>C) S FEEDING - 3 300 l</b>	30/09/2024	25				0,3	5,8	17,40	39,60	17515	17490	72	0,6	441,7
	02/10/2024	26								18752	18727	48	25,8	472,9
	04/10/2024	27								19551	19526	48	16,6	493,1
	07/10/2024	28								21096	21071	72	21,5	532,1
	09/10/2024	29								22425	22400	48	27,7	565,7
	11/10/2024	30								23814	23789	48	28,9	600,7
	14/10/2024	31								25852	25827	72	28,3	652,2
	16/10/2024	32								26935	26910	48	22,6	679,5
	18/10/2024	33								27879	27854	48	19,7	703,4
	21/10/2024	34								28570	28545	72	9,6	720,8
	23/10/2024	35								28770	28745	48	4,2	725,9
	28/10/2024	36								29198	29173	120	3,6	736,7
	31/10/2024	37								29229	29204	48	0,6	737,5

In sintesi:

**TAB.5**

	<b>DURATA</b>	<b>BIOGAS</b>	<b>SV imm</b>	<b>BGP</b>
	gg	l	Kg	m <sup>3</sup> biogas/Kg SV
BATCH 1 – TEST 2	26	6242	10,6	589
BATCH 2 – TEST 2	37	11234	11,6	968
BATCH 3 – TEST 2	31	11760	17,4	676
<b>MEDIA</b>	<b>37</b>	<b>7383</b>	<b>11,6</b>	<b>744</b>

## IPOSTESI SU ENERGIA ELETTRICA PRODUCIBILE

Non essendo stato possibile, per ragioni di tempo e di costi, instaurare un regime di alimentazione del reattore in continuo, si possono elaborare esclusivamente mere ipotesi sulla produttività elettrica del prototipo in scala considerando (in astratto, perché non esistono cogeneratori elettrici di taglia adatta ad un microimpianto) i seguenti parametri:

**TAB.7**

rendimento elettrico	0,39
rendimento termico	0,45
perdite energetiche	0,16

La produzione annuale di liquame suinicolo della Ditta Checcarini è di ca. 18.500 m<sup>3</sup>, ovvero pari, in media, a 50 m<sup>3</sup>/giorno. Tale portata giornaliera teorica rappresenta ca. 2/3 del volume utile (VU) dell'ABR standard "SIMPLEX" da 12 m (76 m<sup>3</sup>) e 1/3 del VU di un sistema costituito da 2 reattori SIMPLEX in parallelo (152 m<sup>3</sup>).

Quest'ultimo si considera lo scenario ingegneristico più verosimile da poter adottare in un sistema reale.

Adottando tale proporzione ( $50/152 \approx 1/3$ ) anche per il reattore pilota in scala, si può ipotizzare il seguente scenario:

- portata di alimentazione = 150 l/d
- ST = 7 % carico di esercizio solidi totali (analisi 2024)
- SV = 5,5% carico di esercizio solidi volatili
- BMP = 0,736 m<sup>3</sup>/Kg SV (media BMP TEST 1 e TEST 2)
- [CH<sub>4</sub>] = 61%

Con questi parametri il piccolo reattore in scala garantirebbe una potenza elettrica installata di **0,50 KWe**

La portata di alimentazione corrisponde alla produzione di liquami di 14 capi suini.

Fatta questa premessa si può evincere che il trattamento di 50 m<sup>3</sup>/gg di liquame suinicolo dell'azienda Checcarini può generare **180 Kwe** che si colloca nella regione dei 100 Kwe,

all'interno quindi della soglia di convenienza per poter accedere alle tariffe incentivanti in accordo a quanto stabilito dal recente decreto 19 giugno 2024 (c.d. Fer 2), che è fissata in 200 Kwe.

Un aspetto estremamente rilevante è che la stessa ipotesi produttiva, basata però sulle rese standard di letteratura (450-550 m<sup>3</sup>/t SV), che fanno riferimento ad un sistema a miscelazione continua (CSTR), restituirebbe una potenza elettrica installata nel range **109-133 KWe**.

**Sembrerebbe quindi che l'adozione del sistema ABR possa determinare un guadagno energetico notevole.**

Un fattore di sicurezza ingegneristico, rappresentato dal fatto di poter disporre di un volume utile di reazione maggiore, è dato dalla possibilità di creare facilmente un reattore più grande, con ca. il 40% di volume utile in più, aggiungendo all'ABR camere di reazione aggiuntive da saldare sul posto.

Infatti, la versatilità del sistema modulare containerizzato, offrendo la possibilità di saldare in loco camere aggiuntive al modulo standard da 12 m (ABR "SIMPLEX"), avente le dimensioni di un container standard 40" high, permette di disporre di volumi utili di reazione in un range molto ampio: da un minimo di 76 m<sup>3</sup> (1 ABR SIMPLEX) fino ad un massimo di 324 m<sup>3</sup> (2 ABR MAGNUM ULTRA PLUS "PR" Parallel Running) come si può vedere da Tab.8.

**TAB.8**

<p style="text-align: center;"><u>BASIC</u></p> <p style="text-align: center;">Vutile ABR prototipo = 480 l</p> <p style="text-align: center;">Vu ABR SIMPLEX 12 m = 76 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM 16 m = 105 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM PLUS 20 m = 134 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM ULTRA PLUS 24 m = 162 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;"><u>PR Parallel Running</u></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR SIMPLEX X 2 = 2 x 12 m = 151 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM X 2 = 2 x 16 m = 210 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM PLUS x 2 = 268 m<sup>3</sup></p> <p style="text-align: center;">Vu ABR MAGNUM ULTRA PLUS x 2 = 324 m<sup>3</sup></p>
--

Si può arrivare dunque a disporre di un volume utile di reazione di oltre 4 volte maggiore rispetto alla situazione base (ABR simplex).

Va sottolineato che tali considerazioni devono essere ritenute mere ipotesi di lavoro su cui dovrebbero essere basate future attività di testing, non essendo stato possibile stimare adeguatamente, essendo fuori dallo scopo della sperimentazione orientata alla stima del BMP (potenziale biometanigeno) attraverso un' alimentazione in batch/semi-batch, il tempo di ritenzione dei solidi (SRT) che, in questo tipo di reattori compartimentati, rappresenta il reale parametro pilotale (bullet) del sistema, a differenza dei CSTR, in cui il parametro di riferimento è il tempo di ritenzione idraulico (HRT).

Pertanto, va ribadito che le proiezioni di stima di produttività energetica del sistema ABR reale sono da considerarsi del tutto indicative e da confermare solo a seguito dell'esecuzione di prove in continuo con contestuale determinazione di SRT.

## CONCLUSIONI

Nella precedente relazione si era già addivenuti alla conclusione che il liquame prodotto dall'attività zootecnica dell'Azienda Agricola Checcarini esibiva proprietà soddisfacenti che ne avrebbero fatto un sicuro candidato per poter essere sottoposto a DA.

La sperimentazione condotta nel 2024, forte delle evidenze riscontrate nel 2023, si è focalizzata sulla definizione delle rese di biogasificazione assicurate dal reattore innovativo ABR ad ha confermato le indicazioni rilevate nel corso della caratterizzazione preliminare delle matrici.

Sono stati condotti 2 cicli di testing long-term, di 195 gg (175 gg al netto di un periodo di fermo tecnico) e 95 gg rispettivamente.

All'interno di tali long-term tests sono stati effettuati caricamenti in batch di liquame, quindi in regime discontinuo, in corrispondenza dell'esaurimento della produzione oraria di biogas (AHP), vedasi Tab.3 e Tab.5.

I grafici esemplificativi delle cinetiche produttive dei 2 test sono riportate nelle Figg. da 1 a 6.

Il tenore di metano si è rivelato più che soddisfacente. E' stata effettuata, infatti, un'analisi in discontinuo di un campione di biogas che ha evidenziato una composizione soddisfacente in termini di CH<sub>4</sub> (58%), dando evidenza del fatto che il gas misurato al contatore era a tutti gli effetti biogas.

Il BGP stabilito al termine dei 2 tests è risultato straordinariamente riproducibile e pari, in media, a 746 m<sup>3</sup>/Kg SV, circa il 35% superiore rispetto al limite massimo di producibilità previsto dalla letteratura scientifica per il liquame suinicolo (450-550 m<sup>3</sup>/Kg SV).

I BGP condotti in laboratorio si erano attestati intorno ai 470-480 m<sup>3</sup>/Kg SV. In tal caso, l'incremento di producibilità risulta ancora superiore.

Il risultato può essere considerato in linea con le aspettative di partenza e consentirebbe di pensare ad un impianto di produzione di biogas su scala reale con costi di realizzazione realisticamente inferiori di almeno il 30% ca. rispetto ad uno in cui si utilizza un reattore tradizionale CSTR. Quest'ultimo, nel caso dell'azienda Checcarini, dovrebbe avere un volume utile compreso tra 1250 e 1500 m<sup>3</sup> considerando un HRT compreso tra i 25 e i 30 gg.

Pertanto, la riduzione volumetrica che si avrebbe nel caso di una adozione di un sistema ABR in luogo di un CSTR sarebbe molto rilevante e compresa tra le 4 e le 10 volte e comporterebbe una **drastica riduzione dei costi** con una semplificazione costruttiva ed installativa che andrebbe a rivoluzionare l'intera filiera produttiva.

Tale studio, molto incoraggiante e di grande rilevanza tecnica, in quanto ottenuto su impianto pilota in scala maggiore rispetto a quella di laboratorio e in ambiente rilevante, ha consentito di avviare la validazione della tecnologia al livello TRL 5<sup>3</sup> e deve costituire un punto cardinale per poter continuare altre sperimentazioni che possano consentire una validazione completa del TRL 5 ed oltre attraverso:

- esecuzione di prove in continuo (CPR, Continuous Process Running)
- misurazione diretta SRT (Sludge Retention Time, Tempo di Ritenzione dei Fanghi)
- caratterizzazione delle classi microbiche compartimentalizzate
- scale-up impiantistico con utilizzo di reattori ABR a dimensioni reali così da arrivare

---

<sup>3</sup> Secondo la nomenclatura europea EU Commission Decision (C 2014) 4995 e standard ISO 16290:2013: tecnologia validata a livello di pilota e dimostrata in ambiente rilevante

a TRL9 <sup>4</sup>

15/11/2024

**Dott. Luca Poletti**



**Dott. Roberto Poletti**

AGRICULTURAL ENGINEER  
Biorenewables Project Manager  
Sereco Biotest s.a.s.  
Via C. BALBO,7  
06121 PERUGIA  
r.poletti@serecobiotest.it  
www.serecobiotest.it

Tel. +39-75-31556

Cell. 338 3738868

<b>LISTA ALLEGATI</b>
-----------------------

Allegato 1: Data Record TEST 1

Allegato 2: Data Record TEST 2

---

<sup>4</sup>Secondo la nomenclatura europea EU Commission Decision (C 2014) 4995 e standard ISO 16290:2013 sistema dimostrato in ambiente operativo (full operational) con business replication. "First-of-a-kind" pronto per la commercializzazione



Record Chart TEST 1  
BIOGASIFICAZIONE CHECCARINI

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM					
			m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	l	cumul (l)	Δ time (h)	Δ prod (l/h)
<b>A) INOCULUM FEED-IN</b>													
220 l ING al 3,86 % SV+ 180 l SUB al 5,39% SV													
	10/01/2024	0								952	0		
	15/01/2023	1								972	20	21	1,0
	18/01/2023	2	0,22	3,86	8,49				<b>8,49</b>	1274	322	78	3,9
	19/01/2024	3								1399	447	20	6,3
	22/01/2024	4								1757	805	48	7,5
	25/01/2024	5								2009	1057	72	3,5
	29/01/2024	6								2225	1273	96	2,3
	09/02/2024	7								2542	1590	144	2,2
	20/02/2024	8								2817	1865	144	1,9
	29/02/2024	9								2987	2035	216	0,8
			<b>m<sup>3</sup></b>	<b>%</b>	<b>Kg</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>%</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg</b>				
<b>B) START S FEEDING</b>													
	04/03/2024	10				0,18	3,1	5,58	<b>5,58</b>	3239	0,00	0,00	n.a.
	09/03/2024	11								3442	2490	31	6,5
	11/03/2024	12								3795	2843	42	8,4
	12/03/2024	13								4060	3108	24	11,0
<b>PLANT STOP</b>													
	17/03/2024	14								4388	3436	60	5,5
	19/03/2024	15								4612	3660	42	5,3
<b>Heat off</b>													
	22/03/2024	16								4822	3870	72	2,9
	25/03/2024	17								4863	3911	48	0,9
	26/03/2024	18								4965	4013	49	2,1
	29/03/2024	19	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>%</b>	<b>Kg</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>%</b>	<b>Kg</b>	<b>Kg</b>	5175	4223	72	2,9
Immessi 65 l liquame fresco + ricircolo 65 l sedimentato- TOT V = 465													
	30/03/2024	20				0,065	3,1	2,02	<b>7,60</b>	5347	4395	24	7,2
Immessi 50 l liquame fresco ohne scarico. Totale presumibile: 515 l													
	02/04/2024	21				0,05	3,1	1,55	<b>9,15</b>	5659	4707	48	6,5
Immessi 50 l liquame fresco con scarico. Totale presumibile: 515													
	06/04/2024	22				0,05	3,1	1,55	<b>10,70</b>	6675	5723	94	10,8

Record Chart TEST 1  
BIOGASIFICAZIONE CHECCARINI

	07/04/2024	23					7017	6065	28	12,2
	10/04/2024	24					7799	6847	70	11,2
	13/04/2024	25					8783	7831	72	13,7
	16/04/2024	26					9623	8671	70	12,0
	20/04/2024	27					10663	9711	86	12,1
	23/04/2024	28					11865	10913	72	16,7
	27/04/2024	29					12729	11777	93	9,3
Caricati 180 l liquame fresco con scarico	30/04/2024	30	0,18	3,1	5,58	<b>16,28</b>	12858	11906	72	1,8
	04/05/2024	31					15155	14203	119	19,3
	06/05/2024	32					15698	14746	48	11,3
Caricati 180 l liquame fresco con scarico	11/05/2024	33	0,18	3,1	5,58	<b>21,86</b>	16200	15248	122	4,1
	14/05/2024	34					17769	16817	70	22,4
	20/05/2024	35					20466	19514	144	18,7
	26/05/2024	36					21082	20130	144	4,3
Caricati 250 l liquame fresco con scarico aperto. A livello	09/06/2024	37	0,25	3,1	7,75	<b>29,61</b>	21188	20236	312	0,3
Caricati 50 l liquame fresco con scarico aperto. A livello	11/06/2024	38	0,05	3,1	1,55	<b>31,16</b>	21665	20713	40	11,9
	23/06/2024	39	0,12	3,1	3,72	<b>34,88</b>	25471	24519	288	13,2
	19/07/2023	40								
	20/07/2023	41								
	21/07/2023	42								
	22/07/2023	43								
	23/07/2023	44								
	24/07/2023	45								
							tot SV (Kg)	tot biogas	tot h	
							34,88		3274	

**DATI DI RESA FINALI**  $m^3/t_{SV}$

**703**

RECORD CHART  
TEST 2  
BIOGASIFICAZIONE CHECCARINI

Operation	DATA	READING POINT	inoculum			substrate			Kg SV ING (cum)	Gas counter	Cumulative production	Elapsed Time	Average Hourly Production	Produzione cum specifica prod cum (l/KgSV)
			V IMM	SV IMM	SV IMM	V IMM	SV IMM	SV IMM						
			m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg						
<b>A) START S FEED-IN</b>														
200 l SUB al 5,30 SV%	26/07/2024	0				0,2	5,3	10,60	<b>10,60</b>	25	0			
	29/07/2024	1							256	231	72	3,2	21,8	
	01/08/2024	2							578	553	48	6,7	52,2	
	03/08/2024	3							1106	1081	48	11,0	102,0	
	05/08/2024	4							1986	1961	48	18,3	185,0	
	07/08/2024	5							2996	2971	48	21,0	280,3	
	14/08/2024	6							5801	5776	168	16,7	544,9	
	16/08/2024	7							6130	6105	48	6,9	575,9	
	19/08/2024	8							6203	6178	72	1,0	582,8	
	21/08/2024	9	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	6242	6217	48	0,8	586,5
<b>B) S FEEDING -2 200 l</b>	24/08/2024	10				0,2	5,8	11,60	<b>22,20</b>	6281	6256	72	0,5	281,8
	25/08/2024	11							6425	6400	24	6,0	288,3	
	26/08/2024	12							6820	6795	24	16,5	306,1	
	27/08/2024	13							7260	7235	24	18,3	325,9	
	28/08/2024	14							8255	8230	48	20,7	370,7	
	31/08/2024	15							9863	9838	72	22,3	443,2	
	02/09/2024	16							11425	11400	48	32,5	513,5	
	05/09/2024	17							12820	12795	72	19,4	576,4	
	09/09/2024	18							13963	13938	96	11,9	627,8	
	12/09/2024	19							14723	14698	72	10,6	662,1	
	16/09/2024	20							15685	15660	96	10,0	705,4	
	19/09/2024	21							16385	16360	72	9,7	736,9	
	23/09/2024	22							16984	16959	96	6,2	763,9	
	25/09/2024	23							17256	17231	48	5,7	776,2	
	27/09/2024	24	m <sup>3</sup>	%	Kg	m <sup>3</sup>	%	Kg	Kg	17469	17444	48	4,4	785,8
<b>C) S FEEDING -3 300 l</b>	30/09/2024	25				0,3	5,8	17,40	<b>39,60</b>	17515	17490	72	0,6	441,7
	02/10/2024	26							18752	18727	48	25,8	472,9	
	04/10/2024	27							19551	19526	48	16,6	493,1	
	07/10/2024	28							21096	21071	72	21,5	532,1	
	09/10/2024	29							22425	22400	48	27,7	565,7	
	11/10/2024	30							23814	23789	48	28,9	600,7	
	14/10/2024	31							25852	25827	72	28,3	652,2	
	16/10/2024	32							26935	26910	48	22,6	679,5	
	18/10/2024	33							27879	27854	48	19,7	703,4	
	21/10/2024	34							28570	28545	72	9,6	720,8	
	23/10/2024	35							28770	28745	48	4,2	725,9	
	28/10/2024	36							29198	29173	120	3,6	736,7	
	31/10/2024	37							29229	29204	48	0,6	737,5	



Resa teorica:  
liquame suino: 450-550 m3/tSV  
SV nel 2023 = 2,2%

tot SV (Kg)  
39,6

tot biogas

tot h  
2232

**DATI DI RESA FINALI** m<sup>3</sup>/t<sub>SV</sub>  
**737**