



Scuola di Ingegneria Civile, Ambientale e Territoriale
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il
Territorio

 POLITECNICO DI MILANO



**Valutazione delle prestazioni dei biodigestori
installati sulle Ande Peruviane**

Relatore: Prof. Mario Grosso
Correlatore: Ing. Davide Scaglione

Tesi di laurea di:
Danila Pia Brunetti

Anno Accademico 2012 – 2013



Grazie al supporto tecnico di **AIAT** ho potuto prendere parte al progetto denominato “**Energia rinnovabile a partire da biodigestori in Apurimac**”, (codice AID 9550/APURIMAC/PER) co-finanziato dal **Ministero degli Affari Esteri** e integralmente sviluppato e gestito da **Apurimac Onlus**.

Le attività svolte in campo sono state rese possibili anche grazie al patrocinio di **Caritas** del distretto di Chuquibambilla.



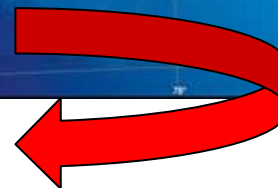


Il progetto: *ubicazione*

3



Perù





Il progetto: costruzione del secondo biodigestore

4





PARAMETRO	1° BIODIGESTORE	2° BIODIGESTORE
Volume [m ³]	10,8 (volume utile 8,1)	6,72 (volume utile 5,04)
Tipi di substrati previsti da progetto	<ul style="list-style-type: none">• Liquame suino• Letame bovino	<ul style="list-style-type: none">• Letame bovino• Sterco di porcellino d'India
Acqua di diluizione [L]	90	60
Rapporto di diluizione [/]	1:3	1:3
O.L.R. [$\frac{\text{kg S.V.}}{\text{m}^3 \times \text{d}}$]	0,36	0,39
HRT [d]	63	61
Tipologia di reattore	Digestore tubolare in PVC (flusso - pistone)	Digestore tubolare in PVC (flusso - pistone)
Disegno della serra	Tetto spiovente (Shed - roof) esposto a nord	Tetto spiovente (Shed - roof) esposto a nord
Altitudine	2.780	2.780



	Serie temporale di cui si disponeva (18/7'12- 14/8'12)	PIANO DI MONITORAGGIO		
		Prima fase (8/4'13- 4/6'13)	Seconda fase (8/6'13- 31/7'13)	Terza fase (1/8'13- 31/10'13)
I biodigestore	Liquame suino	Letame bovino	Letame bovino	<i>Letame bovino</i>
	Biogas sfruttato in cucina	Biogas sfruttato in cucina	Biogas sfruttato in cucina	<i>Biogas sfruttato in cucina</i>
II biodigestore	/	Letame bovino	Letame bovino	<i>Letame bovino</i>
		Biogas sfruttato in cucina	Biogas sfruttato in cucina	<i>Biogas per generare energia elettrica</i>

gasometro del 2°
biodigestor



➤ *Calcolo della produzione potenziale di biogas*

A partire dai quantitativi di substrato a disposizione, e della relativa caratterizzazione in termini di S.T. e S.V., moltiplicando per il corrispondente BMP è possibile stimare la produzione di biogas potenziale:

$$Volume_{biogas\ giornaliero} = Massa_{substrato\ giornaliero} \times S.T. \times S.V. \times BMP \quad \left[\frac{m^3 biogas}{m^3 \times d} \right]$$

➤ *Calcolo del rateo di produzione di biogas*

$$rateo = \frac{Volume_{biogas\ giornaliero}}{Volume_{reattore}} \quad \left[\frac{m^3 biogas}{m^3 \times d} \right]$$

➤ *Efficienza dell'impianto*

$$efficienza = \frac{produzione\ effettiva}{Produzione\ attesa} \quad [\%]$$



Piano di monitoraggio: Analisi dei risultati - valutazione del tipo di substrato

8

PARAMETRO	CON LIQUAME SUINO (fase di avviamento) 18/7/2012 – 14/8/2012	CON LETAME BOVINO (fase di avviamento) 8/4/2013 – 4/6/2013
<i>Quantità di sterco</i>	32 kg	30 kg
<i>O.L.R.</i>	$\frac{0,35 \text{ kg S.V.}}{\text{m}^3 \text{ reattore} \times d}$	$\frac{0,36 \text{ kg S.V.}}{\text{m}^3 \text{ reattore} \times d}$
<i>Rapporto di diluizione</i>	1:3	1:3
<i>BMP</i> (valore ipotizzato da progetto)	$\frac{0,35 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{\text{kg S.V.}}$	$\frac{0,25 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{\text{kg S.V.}}$
<i>Temperatura ambiente media giornaliera</i>	16,6°C	16,16°C
<i>Temperatura media del volume liquido</i>	25,3°C	28,1°C
<i>Escursione termica giornaliera</i>	23°C	19°C
<i>Produzione di biogas</i>	$\frac{0,665 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{d} \pm 0,3$	$\frac{0,686 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{d} \pm 0,2$
<i>Efficienza</i> (rispetto ai valori di progetto)	50%	68%
<i>Efficienza</i> (rispetto ai valori di laboratorio)	50%	66%



Piano di monitoraggio: *analisi dei risultati - valutazione prestazionale del primo digestore nelle due fasi di monitoraggio (avviamento e regime)*

9

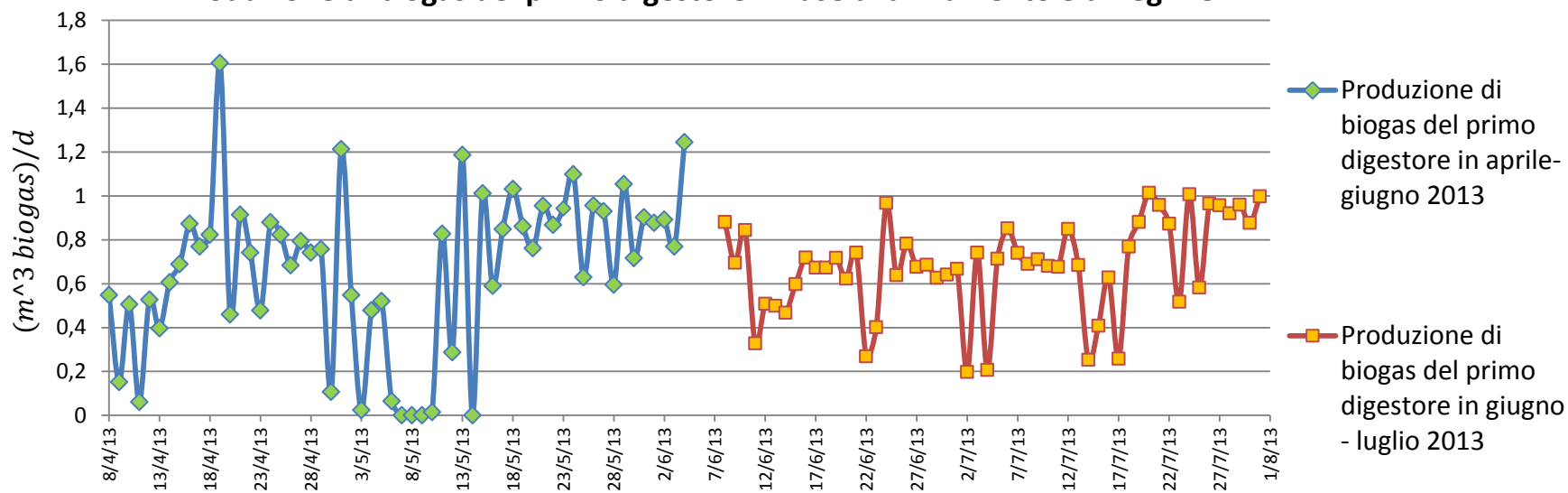
PARAMETRO	CON LETAME BOVINO (I FASE: avviamento)	CON LETAME BOVINO (II FASE: regime)
Quantità di sterco	30 kg	30 kg
O.L.R.	$\frac{0,36 \text{ kg S.V.}}{m^3 \times d}$	$\frac{0,36 \text{ kg S.V.}}{m^3 \times d}$
Rapporto di diluizione	1:3	1:3
Liquido di diluizione	Acqua	Acqua
Temperatura media ambiente	16,16°C	13,8°C
Temperatura media del volume liquido	28,1°C	24,3°C
Escursione termica giornaliera	19°C	18,5°C
Produzione di biogas	$\frac{0,665 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{d} \pm 0,3$	$\frac{0,686 \text{ m}^3 \text{ biogas}}{d} \pm 0,2$
Efficienza (rispetto ai valori di progetto)	68%	70%
Efficienza (rispetto ai valori di laboratorio)	66%	68%



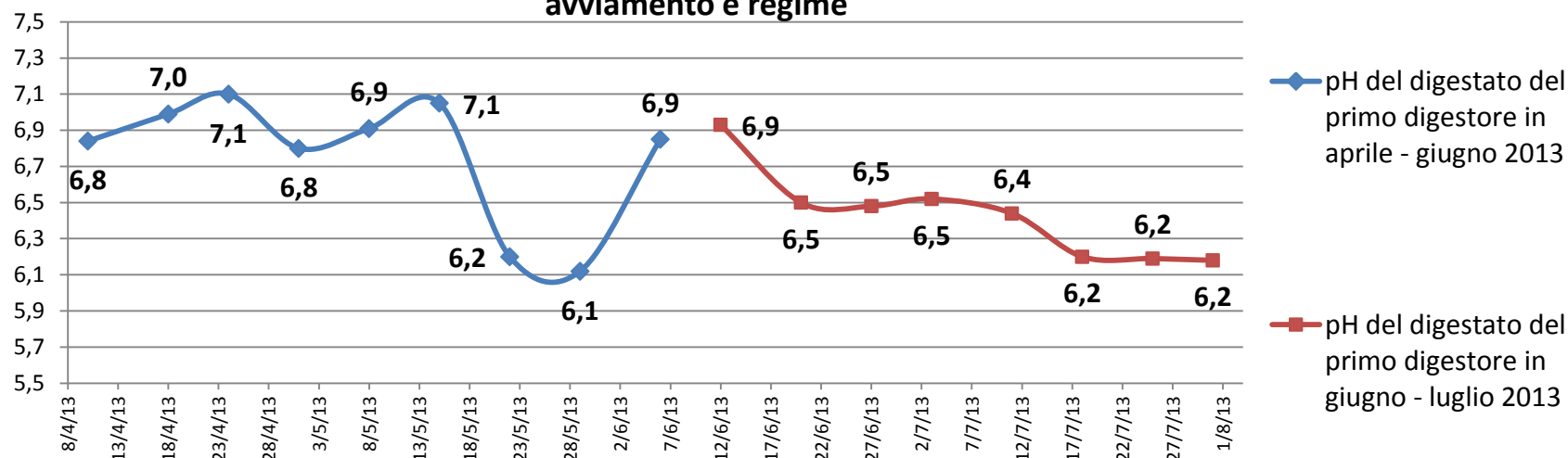
Piano di monitoraggio: *analisi dei risultati - valutazione prestazionale del primo digestore nelle due fasi di monitoraggio (avviamento e regime)*

10

Produzione di biogas del primo digestore in fase di avviamento e di regime



Andamento del pH del digestato del primo reattore nelle due fasi del piano di monitoraggio: avviamento e regime

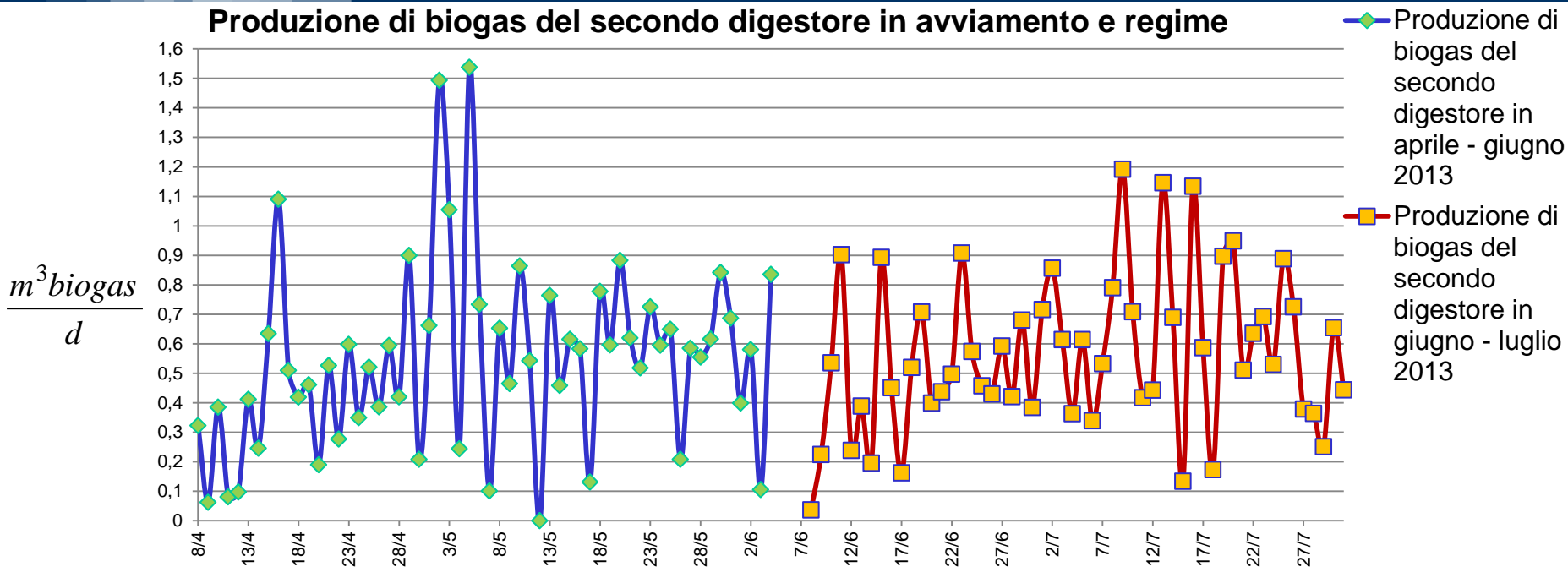




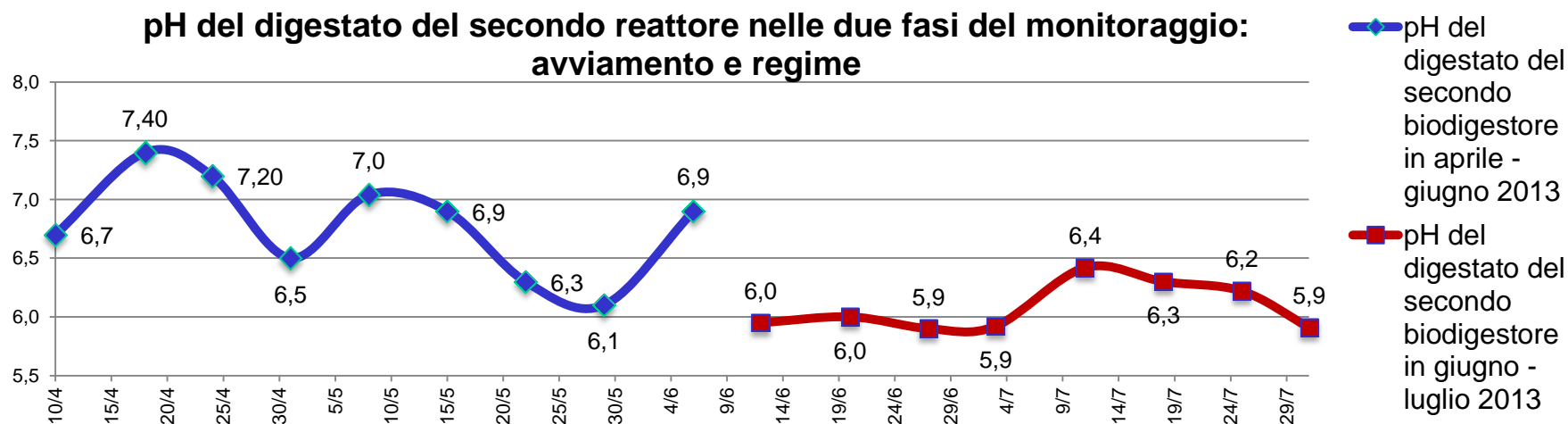
Piano di monitoraggio: *analisi dei risultati - valutazione prestazionale del secondo digestore nelle due fasi di monitoraggio (avviamento e regime)*

11

Produzione di biogas del secondo digestore in avviamento e regime



pH del digestato del secondo reattore nelle due fasi del monitoraggio: avviamento e regime

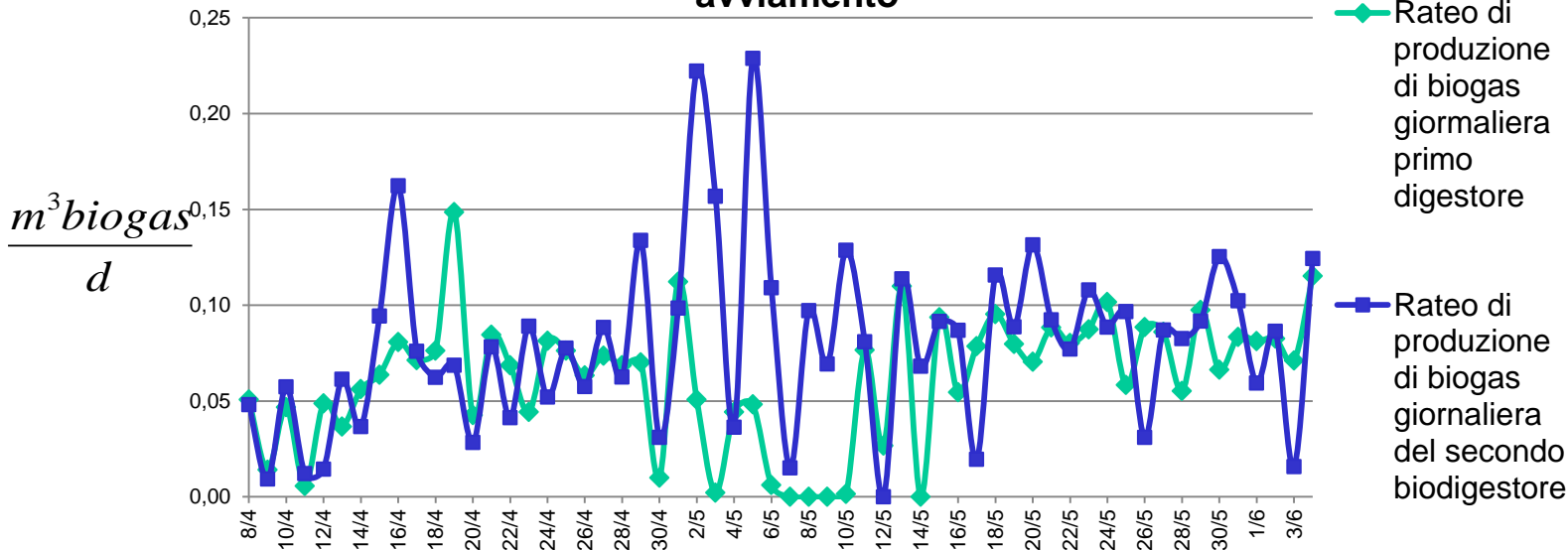




Piano di monitoraggio: *Confronto prestazionale tra i due biodigestori (avviamento)*

12

Rateo di produzione di biogas dei due biodigestori nella fase di avviamento



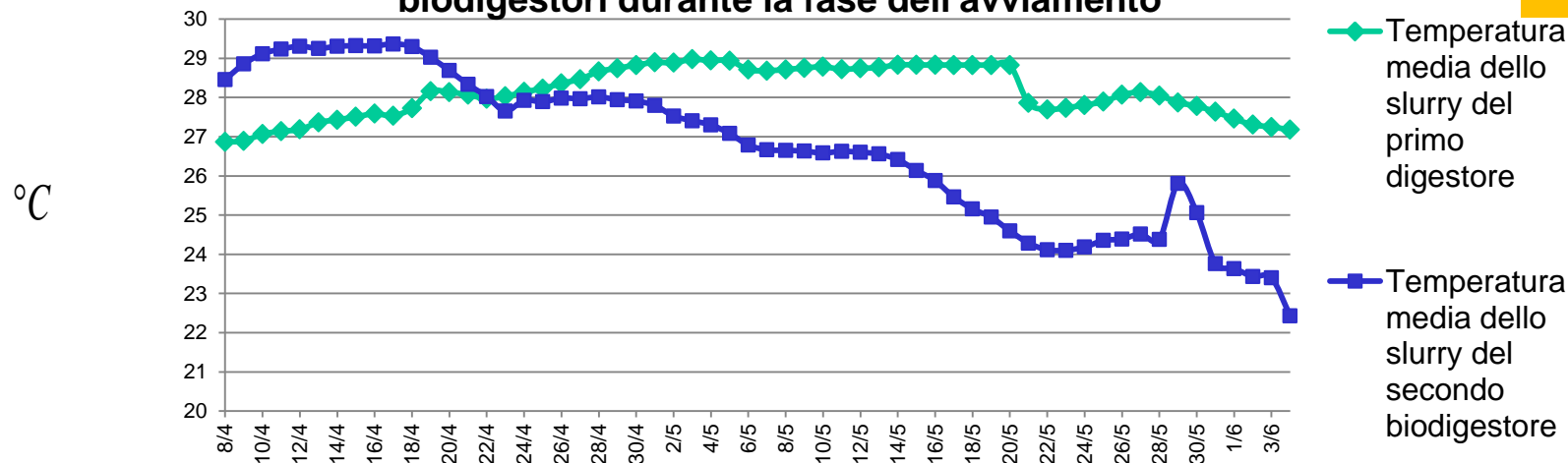
Rateo medio di produzione di biogas del I digestore

$$\frac{0,062 m^3 \text{ biogas}}{m^3 \text{ reattore} \cdot d} \pm 0,03$$

Rateo medio di produzione di biogas del II digestore

$$\frac{0,081 m^3 \text{ biogas}}{m^3 \text{ reattore} \cdot d} \pm 0,05$$

Temperature medie del volume liquido interno al reattore nei due biodigestori durante la fase dell'avviamento

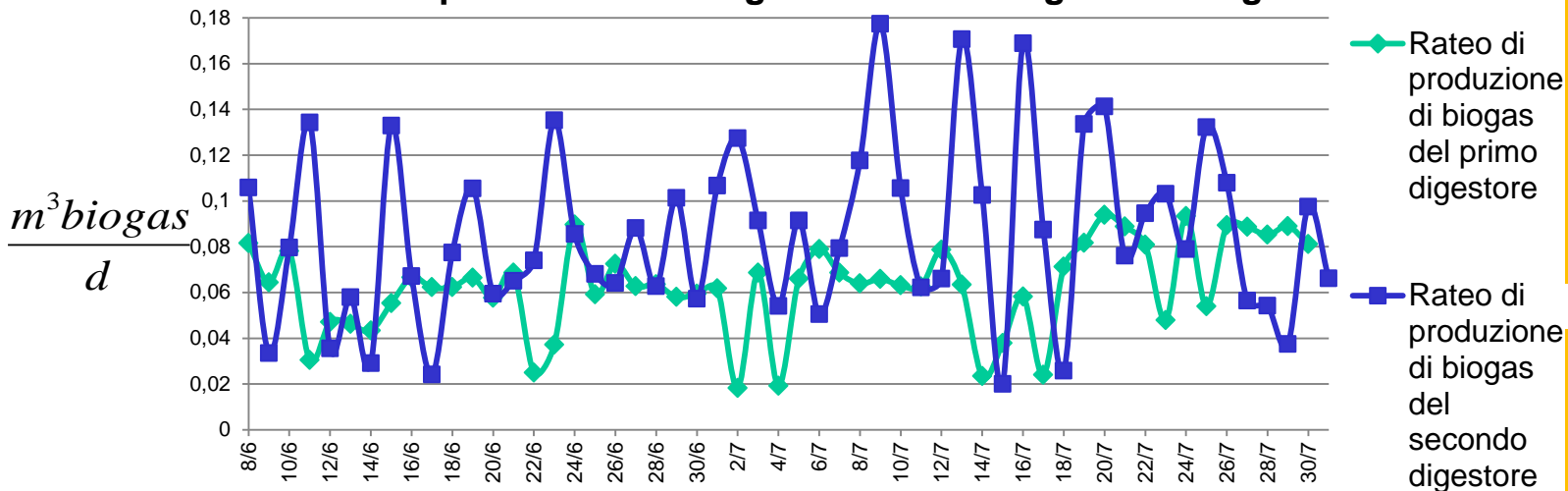




Piano di monitoraggio: *Confronto prestazionale tra i due biodigestori (regime)*

13

Rateo di produzione di biogas dei due biodigestori a regime



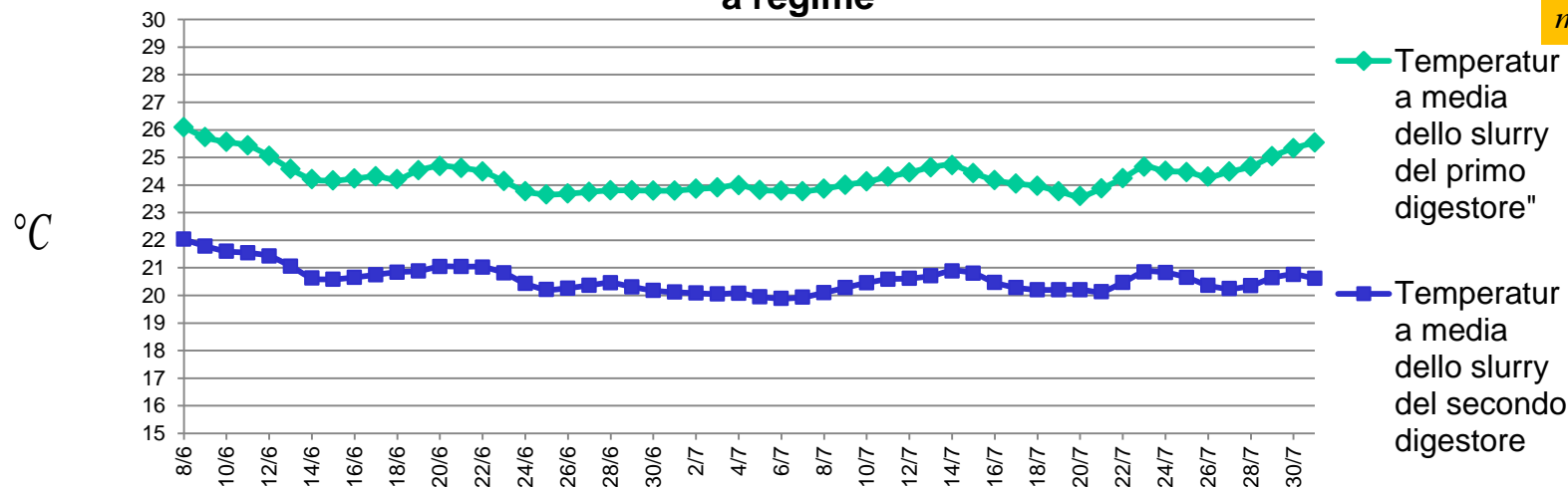
Rateo medio di produzione di biogas del I digestore

$$\frac{0,063 m^3 \text{ biogas}}{m^3 \text{ reattore} \bullet d} \pm 0,03$$

Rateo medio di produzione di biogas del II digestore

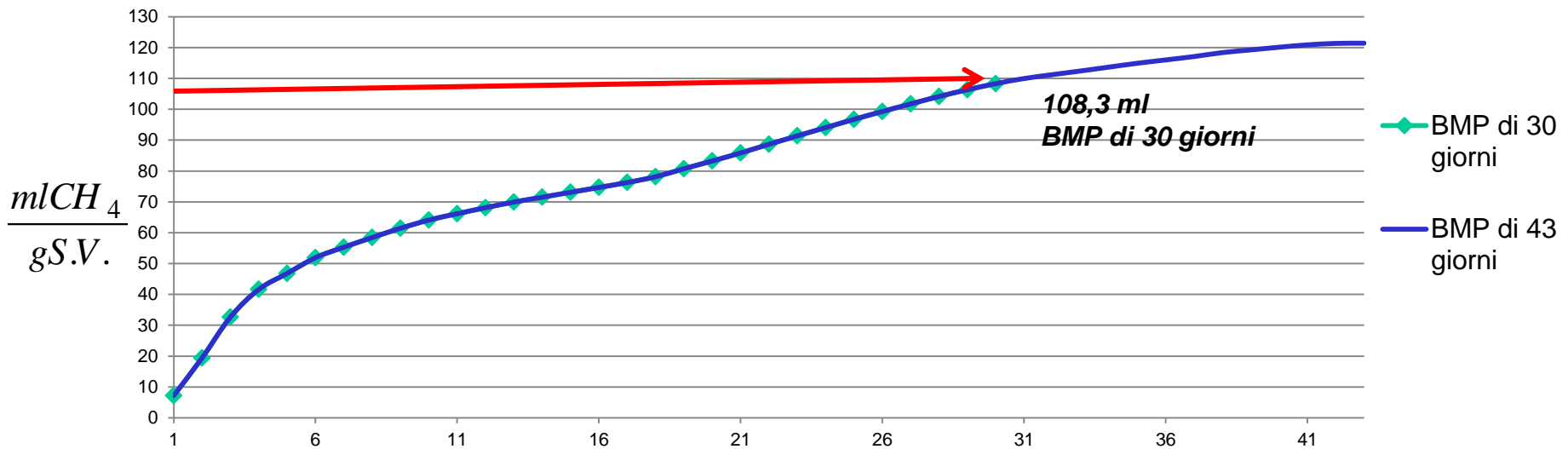
$$\frac{0,081 m^3 \text{ biogas}}{m^3 \text{ reattore} \bullet d} \pm 0,05$$

Temperature medie del volume liquido interno dei due biodigestori a regime

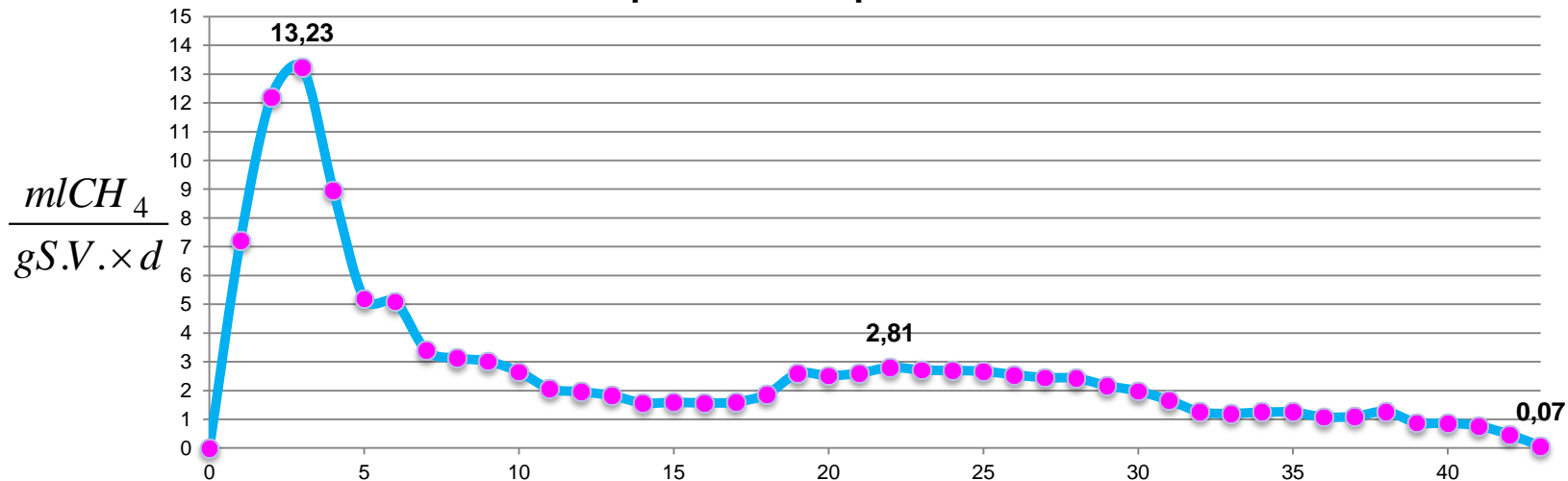




Produzione cumulata di metano



Rateo di produzione specifica di metano





Prova BMP dello sterco di porcellino d'India:

Risultati

15

TABELLA RIASSUNTIVA DEI BMP DI STERCO DI PORCELLINO D'INDIA

BMP di progetto (in condizioni psicrofile)	$\frac{0,09m^3biogas}{kgS.V.}$
BMP di letteratura (in condizioni psicrofile)	$\frac{0,055m^3biogas}{kgS.V.}$
BMP di laboratorio (in condizioni mesofile)	$\frac{0,2m^3biogas}{kgS.V.}$

TIPO DI REFLUO	BMP sul tal quale
Letame bovino	$\frac{0,033m^3biogas}{kgtalquale}$
Liquame suino	$\frac{0,041m^3biogas}{kgtalquale}$
Sterco di porcellino d'India	$\frac{0,048m^3biogas}{kgtalquale}$



Prova BMP dello sterco di porcellino d'India: Confronti ed equivalenze

21

Ipotizzando un fabbisogno giornaliero di 1 m³ di biogas, un rendimento del 50%, una volumetria di 6,72 m³ (del secondo reattore) e temperature in campo mesofilo, si può svolgere un confronto in funzione del O.L.R., della quantità di sterco necessaria e del numero di animali di cui si deve disporre.

TIPO DI REFLUO		O.L.R. $\frac{\text{kg S. V.}}{\text{m}^3 \times \text{d}}$	Quantità di sterco tal quale kg	N° di animali (intervalli indicativi)
Letame bovino		1,19	36,4	4 - 5
Liquame bovino		0,76	70,44	8 - 9
Liquame suino		0,74	43,40	10 - 11
Deiezioni avicole		0,78	15,59	7 - 8
Sterco di porcellino d'India	BMP di letteratura (psicrofilia)	5,41	66,8	2220 - 2230
	BMP ottenuto in laboratorio (mesofilia)	1,49	18,38	610 - 615



- ✓ **I reflui bovini sono risultati più produttivi dei liquami suini** (efficienza del 68% per il bovino e 50% per il suino);
- ✓ **Nel passaggio dalla fase di avviamento a quella di regime per entrambi i biodigestori è stata osservata una maggior stabilità della produzione di biogas, tuttavia sempre caratterizzata da fluttuazioni più o meno accentuate che indicano un possibile sovraccarico o una insufficiente alcalinità del substrato in ingresso;**
- ✓ **Eseguendo un'analisi in parallelo del rateo di produzione di biogas dei due biodigestori nelle due fasi del piano di monitoraggio, si osserva un'efficienza maggiore del secondo digestore sia in fase di avviamento che di regime;**
- ✓ **L'efficienza media dei due digestori studiati a regime rispetto ai valori di progetto è approssimativamente il 79% (70% del primo e 88% del secondo);**



- ✓ Sono nettamente preferibili come substrati in alimentazione ad entrambi i biodigestori il letame bovino e il liquame suino rispetto allo sterco di porcellino d'India;
- ✓ È fortemente consigliato il proseguimento del monitoraggio per un periodo di almeno un anno in modo da poter analizzare la resa dei due biodigestori in differenti condizioni climatiche e poter trarre delle conclusioni;
- ✓ Senza dubbio, dal lato ingegneristico, c'è un margine di miglioramento della produttività del sistema.

