

# L'INFORMATORE AGRARIO

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



Edizioni L'Informatore Agrario

Tutti i diritti riservati, a norma della Legge sul Diritto d'Autore e le sue successive modificazioni. Ogni utilizzo di quest'opera per usi diversi da quello personale e privato è tassativamente vietato. Edizioni L'Informatore Agrario S.r.l. non potrà comunque essere ritenuta responsabile per eventuali malfunzionamenti e/o danni di qualsiasi natura connessi all'uso dell'opera.

● RISULTATI DI PROVE IN LABORATORIO SVOLTE DA ENVIS (ENVIRONMENTAL INNOVATIVE SYSTEMS)

# Sostituire le colture energetiche con le biomasse *ad hoc*

Dal punto di vista energetico è possibile considerare buoni sostituti dell'insilato di mais nel digestore anaerobico biomasse come la paglia di riso, il letame bovino, il ributto di sorgo zuccherino, la pollina di ovaiole, i fondi di caffè, le fecce di vino e la sansa di oliva

di **Luciano Danieli, Aba Aldrovandi**

**I**l crescente interesse a livello nazionale verso gli impianti a biogas ha condotto alla realizzazione di un numero sempre maggiore di impianti di biogas alimentati con effluenti zootecnici, scarti agroindustriali e colture energetiche. Queste ultime si rivelano molto efficienti grazie alle elevate rese di produzione di metano, alla semplicità gestionale e alla loro reperibilità.

In Italia a maggio 2011 è stato rilevato un totale di 521 impianti a biogas, con un incremento complessivo di circa il 91% rispetto al dato di marzo 2010 (273 impianti). Tale tendenza è caratterizzata da un aumento differenziato delle diverse tipologie di impianto: nello stesso intervallo 2010-2011, a fronte di un incremento di circa il 40% per gli impianti operanti con reflui zootecnici e colture energetiche e di circa il 110%



Dalla fermentazione anaerobica dell'insilato di mais si ottiene biogas che contiene circa il 53-54% di metano

per quelli basati solo sull'impiego di colture energetiche, si registra una crescita di appena il 6,6% per gli impianti alimentati esclusivamente con reflui zootecnici (Fabbri *et al.*, 2011). Ai fini delle statistiche sopra riportate, tuttavia, occorre sottolineare che per il 35% degli impianti censiti nel 2011 non risultano disponibili dati sui substrati in alimentazione.

## Biomasse alternative alle colture energetiche

La crescente richiesta delle colture insilabili per il loro impiego a scopi energetici alimenta oggi un acce-

so dibattito incentrato su problematiche sia etiche sia economiche, queste ultime sostenute dagli incrementi del prezzo delle materie prime. Tale argomentazione è contrastata dall'osservazione che, in Italia, **le superfici attualmente destinate alle colture energetiche rappresentano solo una modesta percentuale (inferiore all'1%) della saa nazionale (superficie agricola utilizzabile), stimata pari a circa 13 milioni di ettari e, pertanto, non sono tali da determinare perturbazioni dei prezzi di mercato** (Eima, 2011).

Analogamente, occorre considerare alcune problematiche di carattere ambientale. La riconversione di numerose coltivazioni di tipo estensivo in aree coltivate in modo intensivo e spesso convertite alla monocoltura determina il rischio di perdita della biodiversità degli ecosistemi di intere aree (Giandon, 2010), a cui si aggiunge l'incremento delle pressioni ambientali connesse alle pratiche agronomiche (lavorazioni, concimazione, trattamenti, ecc.) e le conseguenti ripercussioni, soprattutto sul bilancio dei nutrienti.

Questi elementi di criticità hanno portato all'apertura di

**TABELLA 1 - Confronto tra i risultati dei test condotti sull'insilato di mais e alcuni dati presenti in letteratura**

Sostanza secca (% t.q.)	Solidi volatili (% t.q.)	Metano		Fonte
		m <sup>3</sup> /t s.v.	%	
45,5	41,9	275	55	Envis
35,2	33,0	247	54	Envis
23,7	22,8	414	53	Envis
23,0	22,0	477	53	Envis
33,0	31,0	318	53	Crpa
30,0	27,5	-	-	Adani, 2008
27,5	24,8	302	52	Ecoscienza, 2010
30,2	28,6	322	-	Amon, 2006
<b>31,0</b>	<b>28,9</b>	<b>336</b>	<b>53,4</b>	<b>Media</b>

## Come sono state impostate le prove

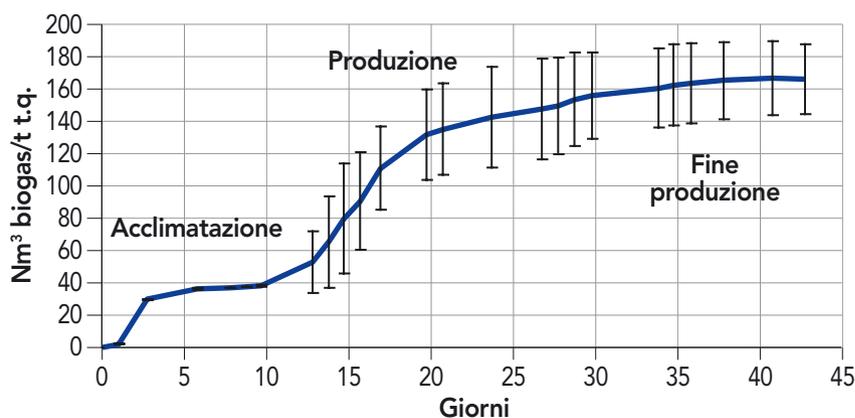
I test di biometanazione (Bmp, dall'inglese Biochemical methane potential), che si sono effettuati presso Envislab, sono finalizzati alla determinazione univoca della produttività potenziale di biogas e metano di qualsiasi matrice organica. I test effettuati nell'ambito del presente studio sono stati condotti su substrati derivanti principalmente da aziende agricole e zootecniche e da processi produttivi agroindustriali.

Preliminarmente al test si procede alla caratterizzazione dei substrati e della biomassa di inoculo mediante la determinazione dell'umidità, dei solidi totali e del contenuto di sostanza organica.

Nel grafico A si riporta un tipico andamento della produzione cumulata di biogas rilevata a seguito di un test di biometanazione condotto su mais ceroso fresco in cui è possibile distinguere le tre fasi di produzione.

Il confronto, in termini di potenzialità energetica, con le colture insilabili è stato effettuato con riferimento proprio all'insilato di mais, le cui caratteristiche fisiche e produttive sono state individuate mediando i risultati dei test condotti da diversi autori su tale matrice (riportati nella tabella 1 nel testo). Ai fini del confronto tra le potenzialità energetiche è stato in-

**GRAFICO A - Esempio di test di biometanazione: andamento della produzione di biogas da mais ceroso fresco**



Dall'andamento della curva cumulata di produzione di metano e di biogas è possibile distinguere **3 fasi: la prima**, detta **di acclimatazione**, è rappresentativa del periodo necessario alla creazione delle condizioni anaerobiche, e può durare fino a qualche giorno. Segue una **fase di produzione**, descritta da una crescita esponenziale della curva cumulata. Nella **terza fase**, la produzione di biogas e metano diminuisce fino a esaurirsi e la curva cumulata si appiattisce seguendo un esponenziale negativo.

trodotto un parametro denominato Unità di silomais equivalente (USE), definito come il rapporto tra i metri cubi di metano (CH<sub>4</sub>) ottenibili da 1 tonnellata tal quale di insilato di mais e quelli ottenibili da 1 tonnellata tal quale di ciascuna delle biomasse considerate.

A parità di rendimento di conversione elettrica del motore cogenerativo, quindi, l'USE rappresenta anche un rapporto espresso in termini di kWh elettrici ottenibili, indicando pertanto quante unità di una singola matrice tal quale occorrono per sostituire una unità di tal quale di insilato di mais a parità di energia ricavabile. L'unità di silomais equivalente (USE) per la generica matrice X è così definita:

$$USE = \frac{m^3 \text{ CH}_4 / t \text{ silomais}}{m^3 \text{ CH}_4 / t \text{ biomassa X}} = \frac{\text{kWh} / t \text{ silomais}}{\text{kWh} / t \text{ biomassa X}}$$

Considerando un rendimento elettrico del motore cogenerativo del 40%, l'energia specifica ricavabile dal metano risulta pari a 4 kWh elettrici/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>.



**Foto A** Campioni in camera termostata (a) e metodo di misura del biogas prodotto (b)

scenari, anche normativi, che prevedono una graduale riduzione dell'impiego delle colture energetiche in ingresso agli impianti a biogas, mediante l'attivazione di meccanismi di incentivazione all'utilizzo di matrici differenti in alimentazione, tenendo in debito conto la specificità delle singole situazioni territoriali.

Alla luce di quanto sopra descritto, si rende opportuna la valutazione della potenzialità energetica di substrati potenzialmente impiegabili nel processo

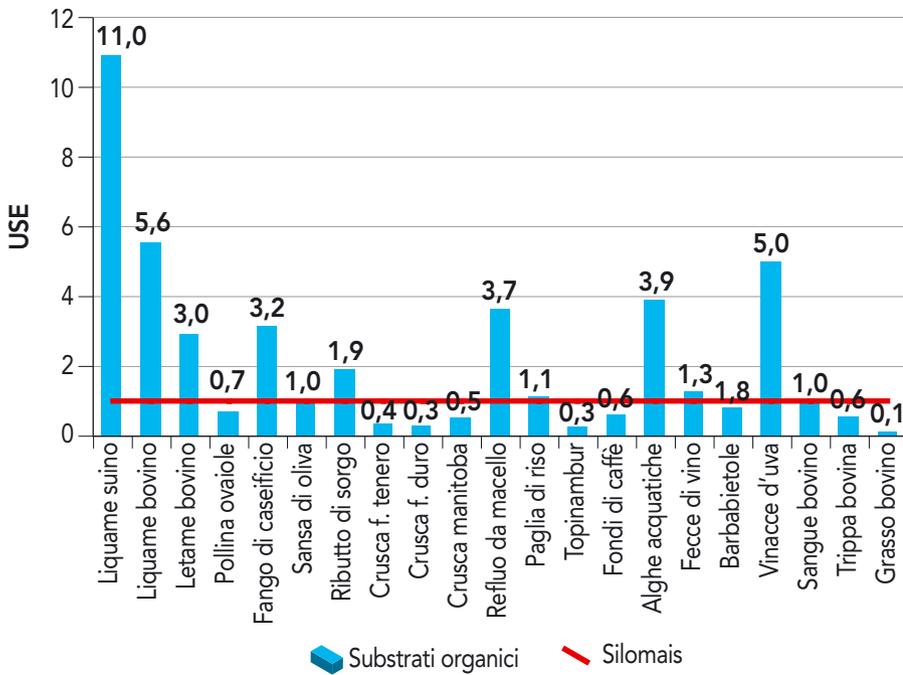
di digestione in sostituzione delle colture energetiche.

**Il presente lavoro ha l'obiettivo di fornire una panoramica dei valori dei potenziali di biometanazione di diversi substrati organici ricavati dalla conduzione di specifici test di laboratorio (test Bmp), proponendo un confronto con le potenzialità produttive tipiche delle colture energetiche finalizzato all'individuazione di opzioni alternative per l'alimentazione degli impianti.**

### Rese in metano delle varie biomasse

In tabella 1 sono riportati i risultati di test di biometanazione (prove di laboratorio e valori bibliografici) condotti su diversi campioni di insilato di mais. I valori medi individuati consentono un confronto oggettivo con i risultati dei test di biometanazione condotti sulle biomasse testate riportati nella tabella 2. I dati di produzione di metano sono riferiti al peso tal quale di ogni substrato.

**GRAFICO 1 - Unità di silomais equivalente (Use) per i diversi substrati analizzati**



Dalle prove svolte è emerso come la sansa di olive sia energeticamente equivalente al silomais

La pollina da galline ovaiole, il grasso bovino e i tre tipi di crusca analizzati presentano gradi di sostituibilità elevati, con valori di USE inferiori all'unità.

I risultati di *tabella 2* sono alla base del calcolo dell'unità equivalente di silomais (USE).

In *tabella 3*, invece, sono riportati i valori dell'energia elettrica ottenibile e il calcolo dell'USE per ciascuna delle matrici organiche considerate.

### Confronto con il silomais

Il *grafico 1* presenta il confronto tra i valori di sostituibilità dell'insilato di mais per i diversi substrati analizzati, mentre il *grafico 2* pone in relazione il contenuto di sostanza organica di ogni

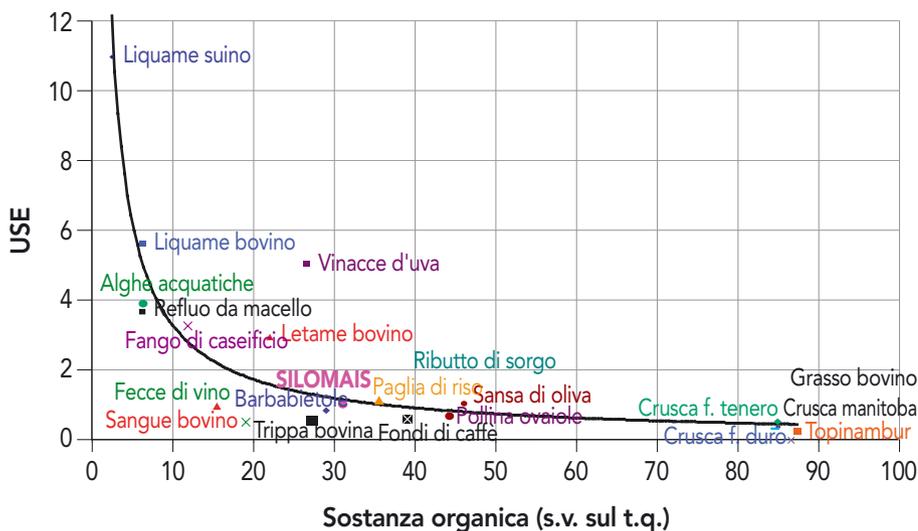
matrice (% s.v. su tal quale) con l'USE.

Dal *grafico 1* emerge come molti substrati siano caratterizzati da un basso grado di sostituibilità con le colture energetiche (reflui zootecnici: USE pari a 11 per il liquame suino e a 5,6 per il bovino), mentre altri substrati presentano gradi di sostituibilità elevati, con valori di USE inferiori all'unità (è il caso della pollina da galline ovaiole, del grasso bovino e dei tre tipi di crusca analizzati). Alcuni, come sansa di oliva, sangue bovino e paglia di riso, presentano valori prossimi all'unità, quindi risultano energeticamente equivalenti al silomais.

Il confronto presentato nel *grafico 2* mette in luce una relazione di proporzionalità inversa tra il contenuto di sostanza organica (espressa in percentuale di sostanze volatili sul tal quale) e la sostituibilità energetica con l'insilato di mais: infatti, un qualsiasi substrato organico sostituisce l'insilato di mais tanto più efficacemente quanto più elevato è il suo contenuto di sostanza organica. Ne sono esempio le matrici quali le crusche (crusca di frumento tenero, duro e crusca manitoba), che mediamente presentano un contenuto di sostanza organica vicina all'85%, con un valore medio di USE pari a 0,4.

D'altro canto, substrati poveri di sostanza organica, come ad esempio i liquami suino e bovino, a fronte di valori di produzione specifica di metano per unità di sostanza volatile superiori a molti altri substrati e confrontabili con quelli dell'insilato di mais (*tabella 2*), fanno registrare valori sfavorevoli di sostituibilità energetica dovuti appunto al basso contenuto di sostanza organica e all'elevato tenore di umidità: sono infatti necessarie 11 t di liquame suino e 5,6 t di liquame bovino per pareggiare

**GRAFICO 2 - Relazione tra il contenuto di sostanza organica sul tal quale di ogni substrato (% s.v. sul t.q.) e la sostituibilità energetica con il silomais**



C'è una relazione di proporzionalità inversa tra il contenuto di sostanza organica e USE: un substrato organico sostituisce l'insilato di mais tanto più efficacemente (USE inferiore a 1) quanto più elevato è il suo contenuto di sostanza organica.

**TABELLA 2 - Caratterizzazione e risultati dei test di biometanazione relativi a reflui zootecnici, colture energetiche e scarti dell'agroindustria**

Substrato	Solidi totali (% t.q.)	Solidi volatili (% t.q.)	Metano (CH <sub>4</sub> )		
			m <sup>3</sup> /t t.q.	m <sup>3</sup> /t s.v.	(%)
<b>Reflui zootecnici</b>					
Liquame suino	3,2	2,4	8,9	366	-
Liquame bovino	7,9	6,2	17,4	281	58
Letame bovino	27,1	22,0	33,0	150	50
Pollina di galline ovaiole	71,9	44,3	142,8	322	53
<b>Scarti organici e reflui dell'agroindustria</b>					
Fango di caseificio centrifugato	13,3	10,7	30,8	286	67
Sansa di oliva	47,2	46,1	94,0	204	60
Ributto di sorgo zuccherino	49,9	38,7	50,7	131	56
Crusca di frumento tenero	89,4	84,9	266,0	319	51
Crusca di frumento duro	88,5	84,7	306,0	372	54
Crusca di manitoba	89,9	85,0	182,0	210	55
Acque reflue di macello	6,8	6,2	26,6	442	-
Paglia di riso	39,7	35,6	86,2	241	55
Topinambur	90,8	87,4	375,8	429	54
Fondi di caffè	39,9	39,0	159,9	405	57
Alghe acquatiche	8,2	6,4	24,0	375	61
Fecce di vino	37,2	43,0	78,3	488	60
Barbabietole	31,0	29,3	115,0	396	52
Vinacce d'uva con raspi	28,2	26,5	23,7	89	57
Sangue bovino	16,2	15,4	101,7	498	58
Trippa bovina	27,9	27,4	174,2	635	65
Grasso bovino	86,7	86,6	711,5	822	65
<b>Colture energetiche</b>					
Mais ceroso fresco	35,2	33,0	81,8	247	53
Mais	53,9	49,7	82,3	165	52
Trinciato di mais	22,3	20,9	95,5	455	53
Insilato di mais	45,5	41,9	115,5	275	55
Insilato di mais ceroso a elevato tenore di granella	23,7	22,8	94,7	414	53
Insilato di mais ceroso a elevato contenuto di granella triturato	23,0	22,0	105,1	477	53

il contenuto energetico di 1 t tal quale di insilato di mais (grafico 2).

Una nota a parte merita il caso delle vinacce: tale substrato, infatti, fa registrare bassi valori di sostituibilità energetica con le colture insilabili (USE pari a 5) a fronte di un contenuto di sostanza organica medio-alta e pari a 26,5% di solidi volatili sul tal quale (tabella 2). Dal grafico 2 si nota come il punto relativo alle vinacce sia in disaccordo con la relazione di proporzionalità descritta. Questo è dovuto alla presenza nelle vinacce della frazione lignea costituita dai raspi, i quali, pur contribuendo al tenore di solidi volatili, risultano molto lentamente biodegradabili contribuendo poco alla produzione di biogas. Il caso delle vinacce costituisce un'eccezione plausibile e verificabile in altri substrati che contengono sostanza organica refrattaria.

## Quali biomasse al posto delle colture energetiche

In riferimento al grafico 2, dal punto di vista strettamente energetico è possibile considerare come buoni sostituti delle colture energetiche substrati quali la paglia di riso, il letame bovino, il ributto di sorgo zuccherino, la pollina di galline ovaiole, i fondi di caffè, le fecce di vino e la sansa di oliva. Tali substrati, oltre a presentare un grado di produzione energetica prossima all'insilato di mais, con valori di USE variabili tra 0,6 e 2,9, presentano anche concentrazioni di sostanza organica confrontabili, permettendo quindi l'adozione di soluzioni gestionali simili.

Ovviamente, nel valutare l'effettiva sostituzione delle colture energetiche con uno dei suddetti substrati, occorrerà te-

**TABELLA 3 - Calcolo dell'energia specifica e dell'Unità di silomais equivalente (USE)**

Substrato	Metano (m <sup>3</sup> /t t.q.)	Energia producibile (kWh/t t.q.)	USE
Liquame suino	8,9	36	11,0
Liquame bovino	17,4	70	5,6
Letame bovino	33,0	132	3,0
Pollina di galline ovaiole	142,8	571	0,7
Fango di caseificio centrifugato	30,8	123	3,2
Sansa di oliva	94,0	376	1,0
Ributto di sorgo zuccherino	50,7	203	1,9
Crusca di frumento tenero	266,0	1.064	0,4
Crusca di frumento duro	306,0	1.224	0,3
Crusca di manitoba	182,0	728	0,5
Acque reflue di macello	26,6	106	3,7
Paglia di riso	86,2	345	1,1
Topinambur	375,8	1.503	0,3
Fondi di caffè	159,9	640	0,6
Alghe acquatiche	24,0	100	3,9
Fecce di vino	78,3	303	1,3
Barbabietole	115,0	460	0,8
Vinacce d'uva con raspi	23,7	78	5,0
Sangue bovino	101,7	407	1,0
Trippa bovina	174,2	697	0,6
Grasso bovino	711,5	2.846	0,1

nera in debita considerazione gli altri fattori che incidono sul processo biologico e sulla gestione impiantistica nel suo complesso (ad esempio, contenuto di nutrienti, velocità di degradazione e, quindi, tempi di ritenzione necessari).

**Luciano Danielli  
Aba Aldrovandi**

*Envis - Environmental innovative systems  
Bologna*

**V** Per commenti all'articolo, chiarimenti o suggerimenti scrivete a: [redazione@informatoreagrario.it](mailto:redazione@informatoreagrario.it)

Per consultare gli approfondimenti e/o la bibliografia: [www.informatoreagrario.it/rdLia/11ia38\\_5992\\_web](http://www.informatoreagrario.it/rdLia/11ia38_5992_web)

# Sostituire le colture energetiche con le biomasse *ad hoc*

**L'INFORMATORE  
AGRARIO**

## BIBLIOGRAFIA

Fabbri C., Soldano M., Piccinini S. (2011) - *Il biogas accelera la corsa verso gli obiettivi 2020*. Supplemento a L'Informatore Agrario, 26 : 15-19.

Fabbri C., Soldano M., Piccinini S. (2010) - *L'agricoltore crede nel biogas e i numeri lo confermano*. L'Informatore Agrario, 30: 63-67.

Giandon P. (2010) - *La valutazione dei suoli e delle terre ai fini della coltivazione di colture energetiche: prime applicazioni nella regione Veneto*. Arpav servizio suoli [www.arpa.veneto.it](http://www.arpa.veneto.it)

Owen M.F., Stuckey D.C., Healy J.B., Young L.Y., McCarthy P.L. (1979) - *Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity*. Water Res., 13: 485-492.

Amon T., Amon B., Kryvoruchko V., Zollitsch W., Mayer K., Gruber L. (2006) - *Biogas production from maize and dairy cattle manure - Influence of biomass composition on the methane yield*. Agriculture, ecosystems and environment, 118 (2007): 173-182.

Adani F., Schievano A., D'Imporzano G. (2008) - *I fattori che rendono ottimale la razione per il digestore*. Supplemento a L'Informatore Agrario, 40: 19-22.

## Come sono state impostate le prove

I test di biometanazione (Bmp, Biochemical methane potential) sono finalizzati alla determinazione univoca della produttività potenziale di biogas e metano di qualsiasi matrice organica.

I test effettuati nell'ambito del presente studio sono stati condotti su substrati derivanti principalmente da aziende agricole e zootecniche e da processi produttivi agroindustriali, seguendo la metodologia messa a punto da Owen (Owen *et al.*, 1979) e ripresa nel documento della UK Environmental agency (Guidance on monitoring Mbt and other pretreatment processes for the landfill allowances schemes - England and Wales, agosto 2005).

Preliminarmente al test, si procede alla caratterizzazione dei substrati e della biomassa di inoculo mediante la determinazione dell'umidità, dei solidi totali e del contenuto di sostanza organica.

Il principio del test prevede l'introduzione all'interno di un reattore batch della matrice organica da analizzare unitamente a una quantità nota di biomassa anaerobica. Il contatto tra la biomassa e il substrato in ambiente anaerobico a temperatura costante (35-37 °C) facilita lo sviluppo del processo di digestione e di produzione di biogas, che si accumula all'interno del reattore e viene periodicamente misurato in qualità e volume. Il volume di metano prodotto è misurato con il metodo del dislocamento, in riferimento al volume di un liquido barriera (soluzione di NaOH) spostato.

I test hanno avuto una durata variabile da 60 a 100 giorni, necessari per completare il processo di digestione. Il test Bmp permette alcune considerazioni circa l'andamento della prova. Con riferimento alla curva cumulata di produzione di metano e di biogas, è infatti possibile distinguere tre fasi. Una prima fase, detta di acclimatazione o lag phase, è rappresentativa del periodo necessario alla creazione delle condizioni anaerobiche, e può avere durata fi-

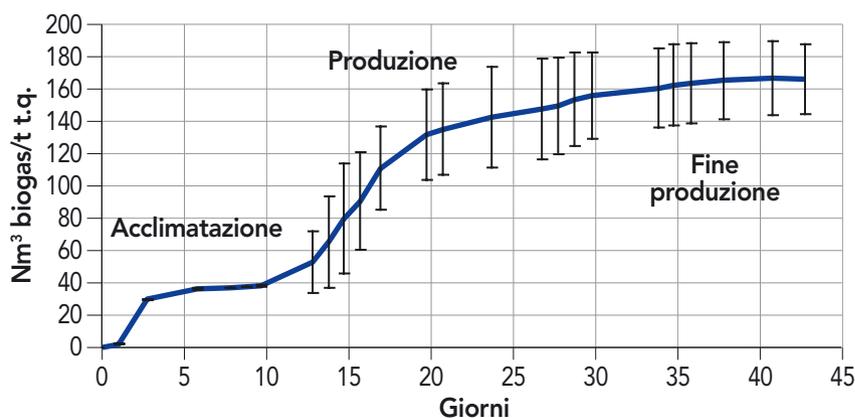
no a qualche giorno, segue una fase di produzione, descritta da una crescita esponenziale della curva cumulata; nella terza fase la produzione di biogas e metano diminuisce fino a esaurirsi e la curva cumulata si appiattisce seguendo un esponenziale negativo. Nel grafico A è riportato un tipico andamento della produzione cumulata di biogas rilevata a seguito di un test Bmp condotto su mais ceroso fresco, in cui è possibile distinguere le tre fasi di produzione.

Il confronto, in termini di potenzialità energetica, con le colture insilabili è stato effettuato con riferimento all'insilato di mais, le cui caratteristiche fisiche e produttive sono state individuate mediando i risultati dei test condotti da diversi autori su tale matrice (riportati in tabella A). Ai fini del confronto tra le potenzialità energetiche è stato introdotto un parametro denominato Unità di silomais equivalente (USE), definito come il rapporto tra i metri cubi di CH<sub>4</sub> ottenibili da 1 tonnellata tal quale di insilato di mais e quelli ottenibili da 1 tonnellata tal quale di ciascuna delle matrici considerate. A parità di rendimento di conversione elettrica del motore cogenerativo, quindi, l'USE rappresenta anche un rapporto espresso in termini di kWh elettrici ottenibili, indicando pertanto quante unità di una singola matrice tal quale occorrono per sostituire una unità di tal quale di insilato di mais a parità di energia ricavabile. L'unità di silomais equivalente (USE) per la generica matrice X è così definita:

$$USE = \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{t silomais}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4/\text{t biomassa X}} = \frac{\text{kWh}/\text{t silomais}}{\text{kWh}/\text{t biomassa X}}$$

Considerando un rendimento elettrico del motore cogenerativo del 40%, l'energia specifica ricavabile dal metano risulta pari a 4 kWh elettrici/Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>.

**GRAFICO A - Esempio di test di biometanazione: andamento della produzione di biogas da mais ceroso fresco**



Dall'andamento della curva cumulata di produzione di metano e di biogas è possibile distinguere **3 fasi**: la prima, detta di **acclimatazione**, è rappresentativa del periodo necessario alla creazione delle condizioni anaerobiche, e può durare fino a qualche giorno. Segue una **fase di produzione**, descritta da una crescita esponenziale della curva cumulata. Nella **terza fase**, la produzione di biogas e metano diminuisce fino a esaurirsi e la curva cumulata si appiattisce seguendo un esponenziale negativo.

**TABELLA A - Confronto tra i risultati dei test condotti sull'insilato di mais e alcuni dati presenti in letteratura**

Sostanza secca (% t.q.)	Solidi volatili (% t.q.)	Metano		Fonte
		m³/t s.v.	%	
45,5	41,9	275	55	Envis
35,2	33,0	247	54	Envis
23,7	22,8	414	53	Envis
23,0	22,0	477	53	Envis
33,0	31,0	318	53	Crpa
30,0	27,5	-	-	Adani, 2008
27,5	24,8	302	52	Ecoscienza, 2010
30,2	28,6	322	-	Amon, 2006
<b>31,0</b>	<b>28,9</b>	<b>336</b>	<b>53,4</b>	<b>Media</b>