

Biogas da biomasse: metodo per la stima rapida del potenziale di biogas di biomasse eterogenee

Fabrizio Adani fabrizio.adani@unimi.it, Andrea Schievano, Annalisa Gozzi, Giuliana D'Imporzano - Dipartimento di Produzione Vegetale - Università di Milano, via Celoria 2, 20133, Milano.

Riassunto

Spesso gli operatori degli impianti di digestione anaerobica si trovano a dover decidere circa le biomasse da utilizzare sulla base della loro digeribilità ed economicità. In tale contesto, metodi rapidi per la stima delle produzioni potenziali di biogas diventano indispensabili per assistere l'operatore nelle scelte. I test per la misura del biogas potenziale (ABP) sono affidabili, ma i tempi di risposta risultano inadeguati, essendo dell'ordine di 60-100 giorni. La disponibilità di matrici organiche sul mercato tende a variare anche di giorno in giorno, richiedendo stime rapide dell'ABP. Nel presente lavoro, sono state studiate le regressioni lineari tra l'ABP e parametri chimici e biologici di un set di 23 matrici organiche eterogenee, facilmente reperibili sul mercato. L'unico parametro che ha mostrato una regressione significativa ($R^2 = 0.733$, $P < 0.001$) è il test respirometrico OD20 (oxygen demand in 20 hours). L'OD20 dà una stima rapida (20 ore) dell'ABP di una qualsiasi matrice organica, con un errore percentuale dell'ordine del 25-30%. Tale risultato può essere considerato soddisfacente, se si pensa ad un compromesso tra precisione e rapidità della stima.

Summary

Anaerobic digestion plants operators have often to choose which biomasses to use, depending on their digestibility and economical convenience. In such a context, rapid methods for assessing potential biogas productions are needed for helping operators in their choices. Anaerobic biogasification potential (ABP) tests are reliable, but their response times (60-100 days) result inadequate. As the availability of organic matrixes on the market use to vary day by day, rapid evaluations of the ABP are needed. In this work, linear regressions between ABP and chemical/biological parameters were studied for a series of 23 heterogeneous organic matrixes, easily available on the market. The respirometric test OD20 (oxygen demand in 20 hours) showed the only significant regression ($R^2 = 0.733$, $P < 0.001$). The OD20 can give a rapid assessment of the ABP of any organic matrix, with a percentage error of around 25-30%. This result can be considered satisfactory as a compromise between precision and rapidity of the assessment.

1. Introduzione

Il Libro Bianco della Commissione Europea sulle energie rinnovabili indica nella produzione combinata di calore ed elettricità da biomasse, il maggior potenziale per il futuro tra le fonti rinnovabili [1]. Le biomasse di scarto delle varie attività produttive richiedono in genere costi di trattamento e di smaltimento solitamente molto onerosi. Avviandole alla digestione anaerobica, tali biomasse vengono, invece, sfruttate per la produzione di energia rinnovabile sotto forma di biogas combustibile (60% CH₄).

In particolare, la digestione o co-digestione anaerobica di liquami zootecnici, fanghi di depurazione, scarti e reflui vegetali ed animali, dell'industria agroalimentare, colture energetiche (mais, legumi, barbabietole, ecc.), residui colturali, rifiuti organici urbani (F.O.R.S.U.) e industriali, sono processi che consentono sia la produzione di biogas sia la gestione e il riutilizzo delle biomasse di scarto in agricoltura, esaltandone il valore agronomico [2].

Gli impianti di digestione anaerobica esistenti in Europa presentano, in maggioranza, digestori di tipo continuo (CSTR), monostadio o multistadio, con flusso liquido (concentrazione di solidi totali di circa 10%). Le taglie dimensionali degli impianti e le opzioni tecnologiche sia di trattamento che di produzione energetica variano in funzione delle tipologie di biomassa disponibili e dei quantitativi avviati alla fermentazione. Inizialmente, gli impianti trattavano integralmente o FORSU o effluenti zootecnici, dividendosi, dunque, in due filoni separati che con il tempo, però, tendono a fondersi, avendo come risultato l'incremento degli impianti di co-digestione di diverse biomasse [2].

Il trend di crescita degli impianti di digestione anaerobica in alcuni paesi è ormai non solo un dato di fatto, ma sollecitato fortemente anche dal mercato dell'energia rinnovabile (certificati verdi) [3].

Ad esempio in Svezia, fino al 2004 si contavano 7 impianti in aziende agro-zootecniche e altri 10 impianti di co-digestione di biomassa da FORSU e liquame animale e altri scarti dell'industria agroalimentare. In Danimarca, paese per tradizione ad elevato carico zootecnico, si contano 57 impianti aziendali (aziende agro-zootecniche) e 22 impianti di co-digestione di liquame animale e rifiuti organici industriali (cooperativi). La Germania è sicuramente il paese più sviluppato nel settore. Si contano infatti 2700 impianti aziendali (aziende agro-zootecniche), 775 dei quali funzionanti con colture energetiche e FORSU in co-digestione. Parallelamente si è sviluppata una produzione agricola no-food finalizzata alla produzione di energia: nel 2004 si censivano 15.000 ha dedicati a colture energetiche, nel 2005 90.000 ha [4].

L'Italia, dopo essere stata un paese all'avanguardia negli anni '80, in assenza di una convinta politica di sostegno alla produzione di energia rinnovabile, ha col tempo perso terreno e sconta ora, un ritardo che si riflette sia a livello tecnico-scientifico sia normativo. Solo negli ultimi anni, con il criterio di incentivazione tariffaria (Certificati Verdi) introdotto dall'art.11 del Decreto Legislativo 16 marzo 1999, n.79, noto come "decreto Bersani", sono emersi segnali di una certa inversione di tendenza, soprattutto nelle regioni del Nord e del Centro caratterizzate da elevate concentrazioni di allevamenti suini e bovini e dai connessi problemi di smaltimento e riutilizzo dei liquami (Lombardia, Trentino, Alto Adige). Anche impianti che trattano in codigestione frazioni organiche di RU sono ora in crescita, soprattutto in Veneto e in Lombardia. Nell'Italia meridionale la diffusione di tali tecnologie è oggi pressochè inesistente, con sviluppi solo recentissimi [2].

Le ottime risorse in termini di biomasse disponibili nel nostro paese, sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo (Tab. 1), promettono un forte sviluppo del settore nei prossimi anni.

Tab. 1 - Biomasse interessate in Italia (fonte: EurObserv'ER, 2004)

Deiezioni animali	150.000.000 t/a
Scarti agro-industriali	12.000.000 t/a
Scarti di macellazione	2.000.000 t/a
Fanghi di depurazione	3.000.000 t/a
FORSU	9.000.000 t/a
Residui colturali	10.000.000 t/a
Colture energetiche	230.000 ha set aside

2. Relazione

Data la varietà di biomasse che si presentano come possibili candidate alla produzione di energia da digestione anaerobica, molte aziende (agricole e non) stanno investendo nella costruzione di nuovi impianti. Sia in fase di progettazione che di conduzione, dunque, gli imprenditori manifestano la necessità di conoscere, in tempi brevi, le potenzialità produttive in termini di biogas delle varie biomasse disponibili sul mercato, per poter valutare la convenienza del loro utilizzo nella miscela di processo.

Il biogas potenziale (anaerobic biogasification potential, ABP) è la quantità di biogas che una biomassa è in grado di produrre in anaerobiosi, in condizioni di processo ottimali [5,6]. Attualmente, i test biologici per la determinazione del ABP in laboratorio hanno una durata variabile tra i 60 e 90 giorni, tempi troppo lunghi rispetto alle esigenze odierne del mercato. In virtù di ciò, si rende necessario l'ottenimento delle produzioni potenziali di biogas da biomasse incognite in tempi più brevi.

2.1 Metodi di stima rapida dell' ABP

In letteratura, vari sforzi sperimentali hanno portato a stime del biogas potenziale di varie matrici, grazie a correlazioni dell'ABP con analisi più rapide del test anaerobico diretto. Recenti studi propongono correlazioni tra la composizione chimica e l'ABP di matrici come insilati e scarti agricoli [7]. Altri riportano correlazioni tra l'analisi al NIR (Near Infrared Spectroscopy) e la composizione chimica o il grado di degradazione della matrice organica sottoposta a digestione anaerobica [8,9].

Buone correlazioni tra i valori di biogas potenziale e parametri chimici si ritrovano negli studi di Schievano et al. e Gunaseelan [7,10]. Tali stime, tuttavia, hanno il limite di essere applicabili a set di biomasse di tipologie sostanzialmente omogenee. L'esigenza attuale di molti impianti di biogas è, invece, quella di conoscere il potenziale di biogas di matrici molto eterogenee, quando il mercato ne offre la possibilità di utilizzo.

Nel presente lavoro, per la stima della produzione potenziale di biogas di un set di matrici organiche molto eterogeneo, si propone l'utilizzo del SOUR test [11]. Questa tecnica respirometrica, consiste in una misura del consumo di ossigeno durante la degradazione aerobica della matrice organica portata in una sospensione acquosa. Il dato che si ottiene (OD20) rappresenta la cumulata di ossigeno consumato dai batteri aerobi nelle 20 ore, per degradare la frazione putrescibile della matrice organica. A differenza della maggior parte dei test respirometrici, che utilizzano una matrice solida, il test aerobico in soluzione acquosa permette di misurare una respirazione potenziale standardizzando le condizioni di umidità, di amplificare le differenze di respirazione

tra diversi campioni, di massimizzare il tasso di reazione, eliminando ogni barriera alla diffusione dell'ossigeno e di ottenere dati in tempi brevi.

2.2 Risultati

In Tab. 2 è riportato un set di matrici organiche di provenienza e tipologia eterogenee e di possibile utilizzo negli impianti di digestione anaerobica. Su tali matrici sono stati effettuati i test biologici di produzione di biogas potenziale a 60 giorni (ABP) e il SOUR test a 20 ore (OD20) e la determinazione di parametri chimici quali solidi totali (TS), solidi volatili (VS), azoto totale (TKN), contenuto di fibre (ADL, cellulosa, emicellulosa, contenuto cellulare solubile) [12]. La Tab. 2 riporta, inoltre, i risultati di tali analisi.

Tab. 2 - Set di risultati della caratterizzazione chimica e biologica

Campioni	Tipo	ABP	OD20	Cellulosa	Emicell.	ADL	CS	VS	TKN
		Nml/g _{TS}	mgO ₂ /g _{TS}	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS	% TS
1	Rifiuto organico misto	780.73	188.93	3.18	5.62	1.86	89.34	98.28	2.04
2	Rifiuto organico misto	781.53	245.23	3.50	10.76	8.00	77.75	94.88	3.22
3	Rifiuto organico a base di frutta	667.02	170.90	10.99	4.47	19.00	65.54	91.54	2.84
4	Rifiuto organico misto	776.69	265.39	8.15	10.11	3.68	78.06	95.37	2.80
5	Rifiuto organico a base di carne	980.00	377.59	4.10	25.29	1.35	69.25	95.99	8.78
6	Bucce di mandorla	687.18	98.13	23.60	2.35	19.50	54.55	93.98	2.41
7	Scarti di macellazione	539.60	139.29	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	2.10
8	Distillato di mais	689.60	166.91	17.03	29.89	12.48	40.60	96.92	4.57
9	Scarti di pasticceria	730.73	112.09	3.05	3.14	4.78	89.03	98.39	2.09
10	Yogurt	783.19	293.43	0.00	0.00	0.00	100.00	92.38	0.00
11	Farinaccio di riso	582.34	105.85	5.96	15.31	8.03	70.70	89.10	2.73
12	Fango fertilvita	240.40	82.83	4.42	5.32	21.15	69.12	68.88	4.58
13	Fango Valli	284.76	142.50	9.33	1.47	29.29	59.91	64.23	3.44
14	Deiezioni di coniglio	350.89	44.79	24.43	19.08	16.94	39.55	86.14	17.96
15	Liquame bovino	134.76	35.49	1.33	0.00	10.25	88.42	79.90	0.96
16	Liquame suino	386.37	124.68	1.50	1.93	2.00	94.58	60.21	16.44
17	Pollina	416.21	85.65	12.91	16.35	6.33	64.41	68.05	13.36
18	Mais dolce	684.76	153.11	28.93	18.38	7.51	45.18	95.40	2.08
19	Sorgo	593.63	87.48	37.66	20.20	10.03	32.11	90.52	1.56
20	Trinciato di mais	667.82	183.55	25.59	14.59	6.00	53.82	91.51	1.57
21	Olio oliva	1549.27	376.73	0.00	0.00	0.00	100.00	97.00	0.00
22	Olio girasole	1522.66	407.16	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00
23	Burro	1282.34	243.03	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	0.00

2.3 Modello di regressione proposto

Considerando l'ABP come variabile dipendente, si è verificata la significatività di regressioni lineari con gli altri parametri presi singolarmente come variabili indipendenti. L'unica regressione significativa ($P < 0.01$) (Fig. 1) è risultata dalla variabile OD20.

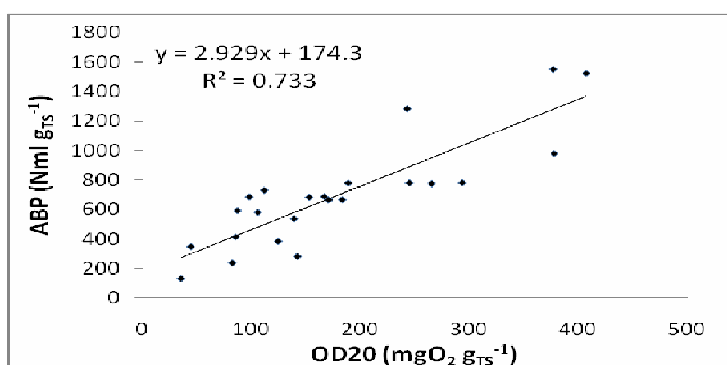


Fig. 1 – Regressione lineare ABP-OD20 per matrici organiche omogenee

In un precedente studio di Gunaseelan [7], buone regressioni erano ottenute tra ABP e parametri chimici utilizzando campioni di sorgo e rifiuti a base di frutta, verdura e foraggio. Probabilmente grazie all'omogeneità del set di matrici organiche, la correlazione tra contenuto di fibre e produzione di biogas era risultata significativa. Il parametro respirometrico OD20, tuttavia, non rientrava nelle analisi svolte.

Nel già citato lavoro, recentemente svolto da Schievano et al. [10], erano state considerate matrici organiche ($n = 46$) prelevate a diversi stadi del processo da uno stesso impianto di digestione anaerobica e, per questo, caratterizzate da composizione abbastanza omogenea. In questo caso, regressioni lineari significative tra ABP e vari parametri chimici tra cui VS, TOC, fibre, CS e TKN si aggiungevano a quella ABP-OD20. Quest'ultima regressione è risultata molto simile a quella ottenuta nel presente lavoro, come riportato in Tab. 3. I coefficienti di determinazione raggiungono valori relativamente elevati, se si considera un compromesso tra il livello di precisione della stima e l'esigenza di ottenerla in tempi rapidi. Il valore dell'errore standard (SEM), espresso in percentuale della media dei valori di ABP, dà un'indicazione qualitativa sulla precisione che si otterrebbe stimando l'ABP di una matrice incognita attraverso l'analisi respirometrica SOUR in 20 ore.

Tab. 3 - Regressione lineare (ABP-OD20) e confronto con precedenti risultati

	Numero campioni	Pendenza	Intercetta	R ²	SEM
Matrici eterogenee	23	2.930	174.330	0.734	27.4%
Matrici omogenee (Schievano et al., 2008)	46	2.319	73.760	0.713	28.6%

3. Conclusioni

Nel presente lavoro, si è proposta un metodo respirometrico per stimare in tempi brevi l'ABP di un set di matrici organiche eterogenee. Il dato (OD20) è ottenibile con un'analisi di laboratorio di 20 ore, contro i 60-100 giorni di un test anaerobico ABP. La regressione ottenuta permette di stimare l'ABP di una qualsiasi matrice organica con un errore percentuale dell'ordine del 25-30%.

Tale risultato, tenendo conto della rapidità di ottenimento della stima, può essere considerato soddisfacente e può avere una immediata applicazione. Dal confronto con il modello ottenuto in uno studio precedente su campioni omogenei, inoltre, risulta che l'OD20 è l'unico parametro, tra quelli esaminati, che possa correlarsi all'ABP anche analizzando matrici organiche eterogenee. Questa versatilità dell'analisi OD20, dunque, suggerisce ulteriori approfondimenti per migliorare la precisione delle stime.

Bibliografia

[1]: **Provincia di Parma**, 2005. *Indirizzi per lo sviluppo della fonti rinnovabili e il risparmio energetico in provincia di Parma: verso il Piano Programma Provinciale*;

[2]: **Schievano A., D'Imporzano G., Adani F.**, 2006. *Il recupero energetico dalla frazione umida di rifiuti urbani*, *Gea*

[3]: **De Baere**, 2000. *Anaerobic Digestion of solid waste: state-of-the-art*

[4]: **CRPA**, 2005. *Una nuova primavera per il biogas dalla digestione anaerobica dei liquami zootecnici e degli scarti vegetali*

[5]: **Adani F., Calcaterra E., Malagutti L.**, 2001. *Preparation of a test for estimating biogas production from pretreated urban waste. Proceeding Sardinia 2001 Eight International Waste Management and Landfill Symposium. Cagliari, Italy*;

[6]: **Hansen T. L., Schmidt J. E., Angelidaki I., Marca E., Jansenb J. la C., Mosbæk H., Christensen T. H.**, 2004. *Method for determination of methane potentials of solid organic waste. Waste Management 24 (2004) 393-400*

[7]: **Gunaseelan, V.N.**, 1997. *Anaerobic digestion of biomass for methane production: a review. Biomass and bioenergy, Vol. 13, Nos. 1/2, pp. 83-114, 1997*

[8]: **Wilman D., Fiels M., Lister S.J., Givens D.I.**, 2000. *The Use of near infrared spectroscopy to investigate the composition of silages and the rate and extent of cell-wall degradation. Anima Feed Science and Technology, 88 (2000), 139 – 151*

[9]: **Nousiainen J., Ahvenjarvi S., Rinne M., Hellamaki M., Huhtanen P.**, 2004. *Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy. Animal Feed Science and Technology, 115 (2004), 295 – 311*

[10]: **Schievano A., Pognani M., D'Imporzano G., Adani F.**, 2008. Predicting anaerobic biogasification potential of ingestates and digestates of a full-scale biogas plant using chemical and biological parameters. *Bioresource Technology*, in press.

[11]: **Lasaridi K. E., Stentiford E. I.**; 1998. *A simple respirometric technique for assessing compost stability. Water Research (Oxford) n°32 (12); pag 3717-3723.*

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

[13]: **APHA**, 1980, 1992, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 15th ed. American Public Health Association Inc., New York.*