



**POLITECNICO  
DI TORINO**

Dipartimento  
di Ingegneria dell'Ambiente del Territorio  
e delle Infrastrutture

*Nuovi materiali per la copertura giornaliera  
dei rifiuti in discarica*

Prof. Mariachiara Zanetti

Ing. Giuseppe Campo



## **1. Premessa**

Obiettivo del lavoro è stato la valutazione, in termini di produzione di biogas, dell'utilizzo di un nuovo materiale per la copertura giornaliera delle discariche.

È stato quantificato l'incremento di biogas di una discarica "tipo" a seguito dell'utilizzo del nuovo materiale di copertura. Tale materiale dovrebbe essere realizzato miscelando più rifiuti non pericolosi gestiti dal Committente (Astigiana Riciclati SRL).

Il biogas è una miscela di gas contenente principalmente da metano ed anidride carbonica in cui il metano è presente con una percentuale variabile tra il 50 e il 70 %; nel biogas da discarica la concentrazione tipica di metano è pari al 50 %. Qualora il biogas, prodotto in discarica, fosse captato e collettato in opportuni motori cogenerativi esso può essere utilizzato come combustibile per la produzione di energia elettrica e termica.

La domanda di brevetto, depositata da Astigiana Riciclati SRL, prevede la possibilità di utilizzare alcuni fanghi (prodotti in diverse attività industriali ed opportunamente miscelati) per il ricoprimento giornaliero delle discariche. La sostanza organica contenuta nella miscela di fanghi dovrebbe concorrere alla produzione di biogas e di conseguenza aumentare la produzione di energia elettrica/termica rinnovabile.

## **2. Raccolta dati ed elaborazione del modello matematico**

La prima fase della Consulenza è consistita:

- nella raccolta dei dati relativi ai possibili rifiuti non pericolosi utilizzabili per la produzione del nuovo materiale di copertura (ventisette fanghi prodotti da altrettante attività industriali);
- nell'elaborazione di un modello matematico per la simulazione dell'incremento di metano potenzialmente ottenibile dall'utilizzo del materiale studiato in una discarica "tipo".

La caratterizzazione dei rifiuti proposti dal committente è stata effettuata sottoponendo gli stessi ad analisi chimico e fisiche. Le analisi sono state eseguite dalla AsChem. IL committente del lavoro ha fornito l'elenco dei rifiuti analizzati. Ciascun rifiuto è caratterizzato dal nome del produttore, dal codice CER, dal processo che ha generato il rifiuto e dalla percentuale di impiego nel nuovo materiale di copertura. Sono state prese in esame due miscele.



Al fine di valutare il possibile incremento di biogas, a seguito dell'utilizzo del nuovo materiale di copertura, sono stati adoperati alcuni dei dati forniti da Gaia S.p.A e relativi alla nuova vasca C della discarica sita presso Cerro Tanaro (AT).

Le caratteristiche tecniche della discarica "tipo" sono riassunte nelle tabelle 1 e 2. La discarica presa in esame smaltisce sia i rifiuti organici stabilizzati (FOS) che la frazione secca di rifiuti prodotta dal trattamento meccanico biologico (TMB) dei rifiuti indifferenziati.

*Tabella 1 Caratteristiche Discarica "tipo"*

Geometria della vasca		
Volume della vasca	660.000	m <sup>3</sup>
Spessore dello strato di rifiuti	2,3	m
Spessore del ricoprimento giornaliero	0,08	m
Rifiuti smaltiti		
Frazione organica rifiuti stabilizzati	11.000	t/y
Frazione secca rifiuti dopo trattamento meccanico biologico (TMB)	13.000	t/y
Densità dry: Ipotesi		
Frazione organica rifiuti stabilizzati	800	kg/m <sup>3</sup>
Frazione secca rifiuti dopo TMB	800	kg/m <sup>3</sup>

*Tabella 2. Caratteristiche Discarica "tipo"*

Volume della vasca occupata in un anno		
Frazione organica rifiuti stabilizzati	13.750	m <sup>3</sup> /y
Frazione secca rifiuti dopo TMB	16.250	m <sup>3</sup> /y
Totale senza materiale di ricoprimento (Tr)	30.000	m <sup>3</sup> /y
Altri dati		
Superficie annua impiegata	13.043	m <sup>2</sup> /h
Anni di vita della nuova vasca	21,30	y
Materiale per copertura giornaliera	1043	m <sup>3</sup>
Totale con materiale di ricoprimento (Tt)	31.043	m <sup>3</sup>
Tr/Tt	96,6%	
materiale di ricoprimento/Tt	3,4%	

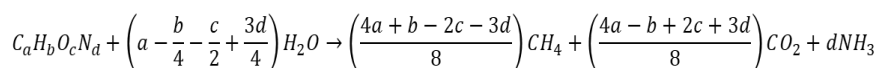


La produzione specifica di metano del materiale di copertura è stata valutata a partire dall'analisi elementare della sostanza organica presente nei rifiuti studiati

Le massime produzioni di biogas e metano, conseguibili dalla miscela di rifiuti studiati, sono state ottenute in via teorica, elaborando i dati delle analisi chimiche svolte ed utilizzando le Equazioni 1, 2, 3 e 4.

Il modello previsionale richiede come input la concentrazione in peso degli elementi chimici che costituiscono la sostanza organica ovvero: carbonio, idrogeno, ossigeno ed azoto.

*Equazione 1. Stechiometria della produzione di biogas*



*Equazione 2. Produzione specifica di biogas*

$$G_{teor} \left[ \frac{\text{biogas Nm}^3}{\text{kg}_{SV}} \right] = \frac{\left[ \left( \frac{4a + b - 2c - 3d}{8} \right) + \left( \frac{4a - b + 2c + 3d}{8} \right) \right]}{12a + b + 16c + 14d} 22,415 = \frac{22,414a}{12a + b + 16c + 14d}$$

*Equazione 3. Frazione di metano nel biogas*

$$f_{CH_4} \left[ \frac{\text{Nm}^3_{CH_4}}{\text{Nm}^3_{\text{biogas}}} \right] = \frac{G_{teor, CH_4}}{G_{teor}} = \frac{4a + b - 2c - 3d}{8a} = \frac{1}{2} + \frac{b}{8a} - \frac{1}{4} \frac{c}{a} - \frac{3}{8} \frac{d}{a}$$

*Equazione 4. Produzione specifica di metano*

$$G_{teor, CH_4} = f_{CH_4} G_{teor}$$

Dalle relazioni precedenti è possibile ottenere la massima quantità di biogas e metano producibili. Tuttavia, va sottolineato che non tutta la sostanza organica è biodegradabile, pertanto il valore reale di produzione è generalmente inferiore a quello teoricamente ricavato.

Le elaborazioni relative alla massima produzione di metano dei singoli rifiuti analizzati sono riportate nella figura 1. Le caratteristiche del nuovo materiale ingegnerizzato, e relative a due mix di fanghi, sono sintetizzate nella tabella 3.

I due mix di fanghi analizzati sono stati denominati rispettivamente Mix 1 e Mix 2. Il Mix 1 è stato proposto dal committente. Il Mix 2 è costituito dai sei fanghi aventi la produzione specifica teorica maggiore.

La produzione teorica massima di metano del Mix 1 è stata calcolata miscelando i fanghi identificati con i seguenti numeri (2-4-5-7-9-10-17). Ciascuno dei rifiuti denominati 2, 5, 7 e 9 costituisce il Mix1 con una percentuale in massa pari al 15 %. Mentre, i fanghi 4- 10 e 17 partecipano alla composizione del materiale di



copertura con una percentuale in peso pari al 10 %. Il 10 % rimanente è costituita da una miscela dei rimanenti fanghi, ognuno con una percentuale in peso pari allo 0,5 %.

La produzione teorica massima di metano del Mix 2 è stata calcolata miscelando i fanghi identificati con i seguenti numeri (8-11-13-14-19-22). I sei fanghi sono miscelati tra loro, ciascuno al 15 % in massa sul totale. Il 10 % rimanente è costituita da una miscela dei rimanenti fanghi, ognuno con una percentuale in peso di poco inferiore al 0,5 %. Qualora tutta la sostanza organica presente nel Mix 2, e costituente il nuovo materiale di copertura ingegnerizzato, fosse biodegradabile tale miscela costituirebbe la più promettente mix da un punto di vista energetico.

*Figura 1. Produzione teorica di metano per i diversi rifiuti presi in esame. Ciascun numero nell'asse delle ascisse corrisponde ad un produttore*

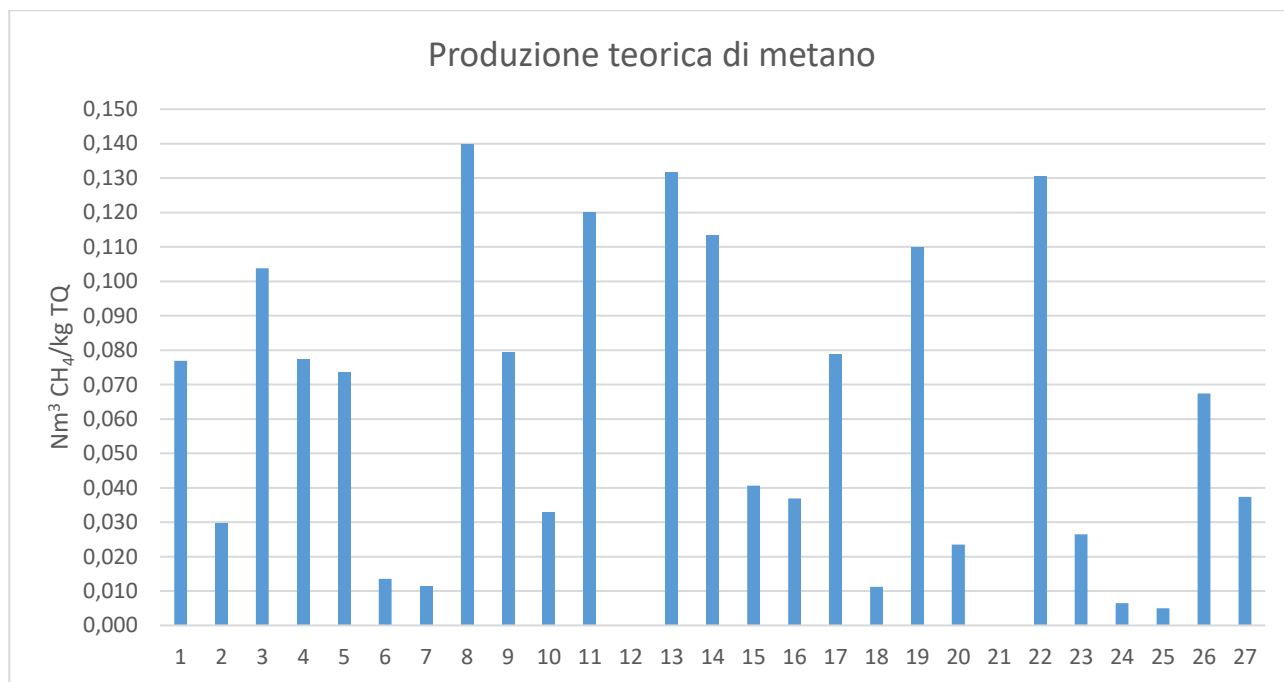




Tabella 3. Caratteristiche del materiale ingegnerizzato per il ricoprimento giornaliero di discariche controllate

Principali caratteristiche materiale da copertura	Metano Nm <sup>3</sup> /kg TQ	Metano Nm <sup>3</sup> /kg SV	ST/TQ	SV/TQ	g COD/g SV	SNV/TQ
Mix 1	<b>0,054*</b>	<b>0,58*</b>	0,53	0,09	1,59	0,44
Mix 2	<b>0,116*</b>	<b>0,57*</b>	0,55	0,20	1,64	<b>0,34</b>

\* Valori teorici ricavati a partire dall'equazione 1, 2 3 e 4

Il modello matematico utilizzato per prevedere la produzione di metano nel tempo segue una cinetica del primo ordine. Per poter utilizzare il modello è necessario definire il numero di substrati (rifiuti) smaltiti in discarica, le relative portate massiche annue, la biodegradabilità anaerobica e le costanti cinetiche dei singoli substrati.

Al fine di procedere all'implementazione del modello sono stati ipotizzati tre substrati:

1. frazione organica di rifiuti stabilizzati (FOS);
2. frazione secca rifiuti dopo trattamento meccanico biologico;
3. nuovo materiale per la copertura giornaliera della discarica.

La formula base del modello matematico, e relativa ad un solo substrato, è la seguente:

*Equazione 5*

$$B(t) = (1 - e^{-kt}) f_b S_0 B_{max}$$

Dove:

$B(t)$  = quantità di Biogas/Metano prodotta al tempo  $t$  [Nm<sup>3</sup>]

$B_{max}$  = massima produzione di Biogas/Metano per tipologia di substrato [Nm<sup>3</sup>/kg SV]

$S_0$  = massa di substrato in discarica al tempo  $t$

$f_b$  = frazione biodegradabile del substrato ( $f_b \leq 1$ )

$k$  = costante cinetica del primo ordine [1/year]

Le ipotesi fatte per l'implementazione del modello sono riportate nella tabella 3, inoltre la vita utile della discarica è stata fissata pari a 12 anni.



*Tabella 4 PSM produzione specifica di metano*

Ipotesi:	SV%	$f_b^*$	PSM [Nm <sup>3</sup> /kgSV]	K [1/y] *
Frazione organica rifiuti stabilizzati	0,5	0,7	0,54	0,06
Frazione secca rifiuti dopo TMB	0	0,0	0	
Materiale ingegnerizzato 1 (mix 1)	0,09	0,7	0,58	0,06
Materiale ingegnerizzato 2 (mix 2)	0,20	0,7	0,57	0,06

*\*Ipotesi necessarie all'implementazione del modello di simulazione*

A partire dai valori riportati nella tabella 3 e dalle ipotesi riportate nella tabella 4 è possibile modellizzare la produzione di metano in discarica e l'incremento percentuale di metano ottenibile con l'ausilio del nuovo materiale.

Prima di procedere alla modellazione cinetica del processo di digestione possono essere effettuate alcune considerazioni di tipo termodinamico. Dopo un tempo infinito, la produzione cumulata di metano di una discarica "tipo" e che utilizza il nuovo materiale di copertura sarà incrementato:

- del 2,4 % (mix 1)
- del 5,2 % (mix 2)

nel rispetto ad un'altra identica e che fa uso di un materiale convenzionale per la copertura giornaliera di una discarica.

Inoltre, avendo supposto che le costanti cinetiche della FOS e della sostanza organica presente nel materiale di copertura sono identiche (vedi tabella 4) la cinetica di produzione del metano avrà un incremento costante nel tempo e pari al 2,4 % mix 1 (vedi figura 2) e 5,2 % per il mix 2 (vedi figura 3).



Figura 2. Modello cinetico di produzione di Metano nel tempo. Mix 1

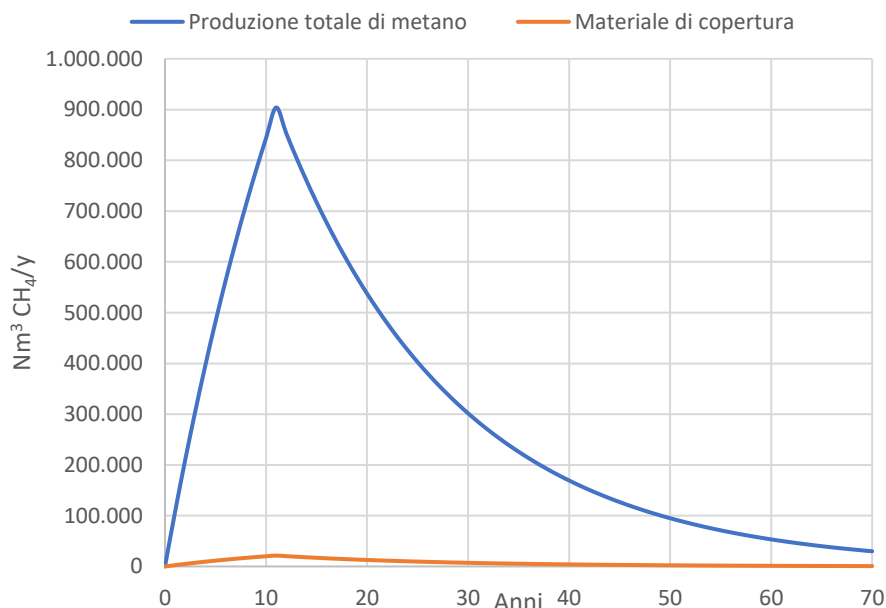
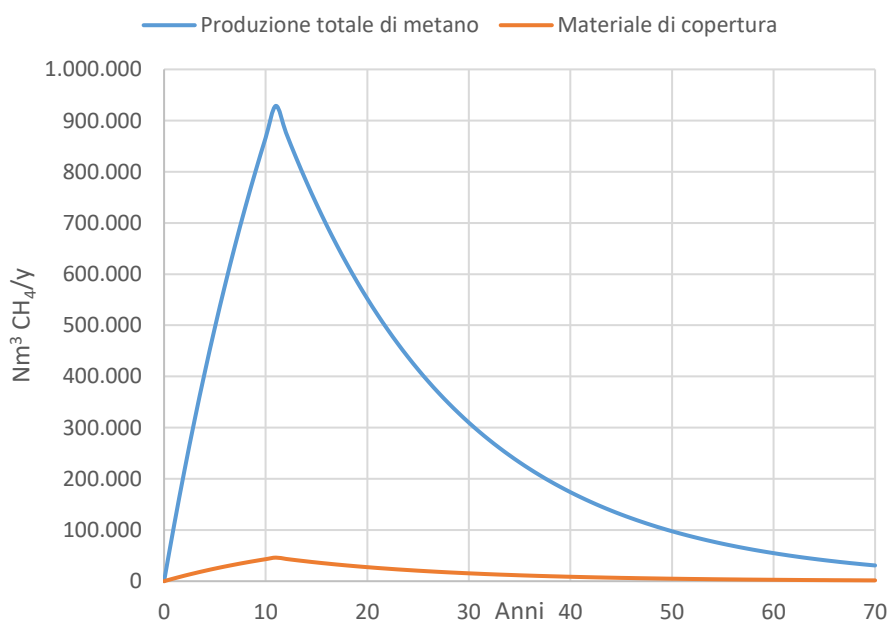


Figura 3. Modello cinetico di produzione di Metano nel tempo. Mix 2







## Bibliografia

*"Ingegneria dei rifiuti solidi"* (2009) George Tchobanoglous, Carlo Noto La Diega, Diego Sirini. McGraw-Hill Education.

*"Modeling biogas production at landfill site"* (1999) L. Manna, M.C. Zanetti, G. Genon. Resources, Conservation and Recycling

*"Model for estimation Methane Production from MSW Organic fraction after Reactivation"* (2013). Deborah Panepinto\*, Giuseppe Genon, and Andrea Borsarelli American Journal of Bioengineering and Biotechnology

*"Aerobic Biostabilization of Old MSW Landfill"* (2008). M.C. Zanetti. American J. of Engineering and Applied Sciences