

## Produzioni di biogas nelle discariche di rifiuti solidi urbani: metodi di misura

Francesco Frondini, Luca Peruzzi

*Il monitoraggio delle emissioni di gas in atmosfera dalle discariche serve per fornire indicazioni più precise sul budget globale del carbonio atmosferico, strettamente correlato all'effetto serra e alle sue variazioni a scala planetaria*

I rifiuti solidi urbani sono composti per la maggior parte da sostanza organica e materiali inerti. I materiali inerti, una volta stoccati nelle discariche, sono soggetti esclusivamente ad un processo di compattazione e di stabilizzazione meccanica, mentre la frazione organica subisce una serie di trasformazioni bio-chimiche e chimico-fisiche che portano alla formazione di percolato e biogas. Il percolato è costituito dal complesso dei liquidi prodotti dalla decomposizione della sostanza organica ad opera dei batteri e dall'estrazione di contaminanti ad opera dell'acqua contenuta nei rifiuti o dell'acqua piovana che può infiltrarsi nel corpo discarica durante le fasi di stoccaggio. Il percolato contiene una vasta gamma di contaminanti in elevate concentrazioni e viene captato ed allontanato dal fondo della discarica per essere sottoposto a trattamenti volti all'abbattimento delle sostanze inquinanti.

Il biogas è una fase gassosa costituita principalmente da metano ( $\text{CH}_4$ ) che si forma per degradazione della sostanza organica ad opera di batteri anaerobici che si sviluppano e crescono all'interno del corpo dei rifiuti. In presenza di ossigeno, libero o disciolto nelle acque, parte del metano può ossidarsi producendo anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ).

Nel biogas sono inoltre presenti piccole quantità di una vasta gamma di sostanze tra le quali si segnalano l'acido solfidrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), l'idrogeno ( $\text{H}_2$ ), l'azoto ( $\text{N}_2$ ), oltre a decine di costituenti in tracce come ad esempio: idrocarburi, alogenati, idrogeno solforato, alcoli, esteri e vapori metallici.

L'elevata quantità di gas combustibili presenti rende il biogas particolarmente adatto ad essere recuperato dal corpo discarica per produrre energia.

### LA PRODUZIONE DEL BIOGAS

I principali problemi connessi con la produzione di biogas in discariche di rifiuti solidi sono legati alla sua fuoriuscita in superficie attraverso i camini di aerazione del corpo della discarica e tramite i livelli più superficiali del terreno. Questo nel caso in cui l'impermeabilizzazione di un sito esaurito non sia efficiente.

L'emissione di gas nell'atmosfera ha ripercussioni sullo stato della vegetazione adiacente la discarica e provoca diffusione dei cattivi odori; inoltre, i principali gas emessi, anidride carbonica e metano, sono gas serra e i quantitativi prodotti dalle discariche possono avere una rilevanza globale sul ciclo del carbonio. Ad esempio, è stato stimato che i processi di trasformazione della parte organica dei rifiuti partecipano con il 32% al budget totale del metano antropico prodotto. Il monitoraggio delle emissioni di gas in atmosfera dalle discariche è importante innanzitutto su grande scala: serve infatti per costituire dati ambientali che possano fornire indicazioni più precise sul budget globale del carbonio atmosferico, strettamente correlato all'effetto serra e alle sue variazioni a scala planetaria.

*Il biogas è una fase gassosa costituita principalmente dal metano che si forma per degradazione della sostanza organica*

Su scala locale, il monitoraggio serve per comprendere e valutare l'eventuale esposizione diretta della popolazione e i riflessi sulle altre matrici ambientali (suolo, falde, corsi d'acqua) e sui cambiamenti degli ecosistemi naturali. Nel lungo periodo, dopo la chiusura dell'impianto, le misurazioni consentono:

- la verifica dell'efficienza del processo di decomposizione (mineralizzazione) della sostanza organica;
- la valutazione, anche economica, attraverso le caratteristiche del biogas (quantità e composizione), dell'opportunità del suo recupero e riutilizzo;
- la verifica dell'esistenza di difetti delle opere di impermeabilizzazione superficiale (capping) del corpo discarica e la perdita da tubazioni di raccolta del percolato.

Il monitoraggio delle emissioni gassose per flusso diffuso dalle discariche di rifiuti solidi urbani in Umbria è un'esperienza molto recente. L'avvio di un programma di monitoraggio in



questo senso si deve, infatti, all'attività prodotta nell'ambito della Convenzione tra la Provincia di Perugia e ARPA Umbria, riguardante il "Progetto per il monitoraggio degli impianti di smaltimento di rifiuti" nell'ambito del "Progetto Cucco 21" (attivazione Agenda 21 locale Parco del Monte Cucco), che ha visto l'Agenzia quale soggetto cofinanziatore e responsabile della redazione della Relazione sullo stato dell'ambiente. Nell'ambito dei suddetti Progetti, attraverso una convenzione tra ARPA Umbria e Dipartimento di Scienze della

un contenitore circolare a volume noto (camera di accumulo) nel quale si accumula il gas che fuoriesce dal suolo. L'incremento di concentrazione nella camera d'accumulo poggiata sul terreno è proporzionale al flusso di gas dal suolo. Nel caso del metano la concentrazione del gas nella camera di accumulo viene analizzata istantaneamente tramite un Flame Ionization Detector (FID). Attraverso un convertitore analogico-digitale (AD) il segnale elettrico viene commutato in un segnale digitale e registrato da un computer palmare (PT)

ri correttivi dipendenti dalla permeabilità del terreno;

- ciascun apparato può essere facilmente trasportato da un operatore e le rilevazioni sono molto rapide (in media 1 minuto/determinazione);
- test condotti in laboratorio rivelano un scarso scostamento rispetto a flussi artificialmente generati ed un'ottima riproducibilità delle misure.

Il limite principale di questo metodo consiste nella necessità di effettuare le misurazioni in condizioni di terreno asciutto in quanto i ter-

Fig. 1 - Schema dell'apparato di misura del flusso di metano ( $\phi\text{CH}_4$ )

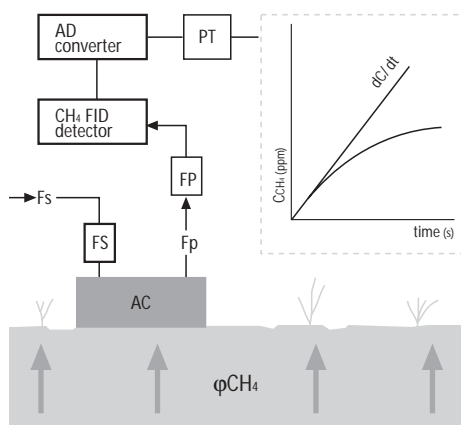


Fig. 2 - Schema dell'apparato di misura del flusso di anidride carbonica ( $\phi\text{CO}_2$ )

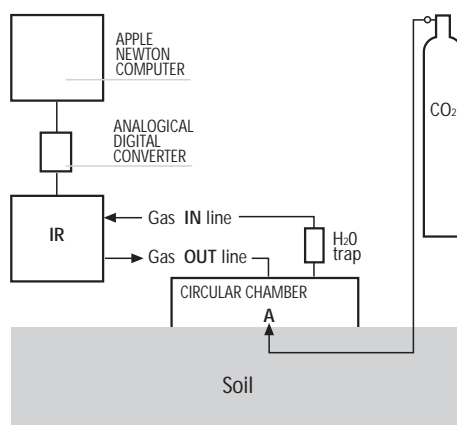
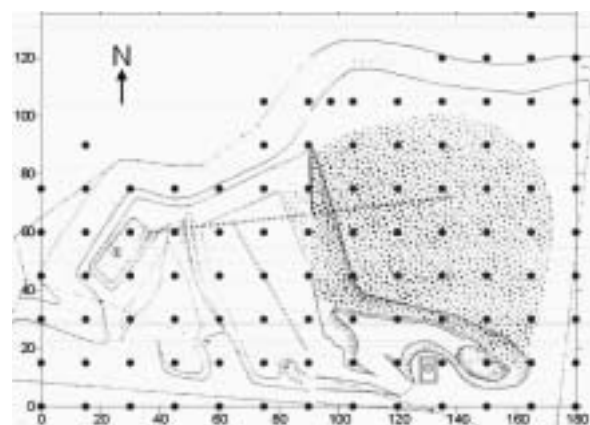


Fig. 3 - Reticolo delle stazioni di misura nella discarica di Sigillo



Terra dell'Università di Perugia, con la consulenza del professor Giovanni Chiodini (Osservatorio vesuviano, Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia), sono state effettuate nel 2002 campagne di misurazione dei flussi di gas dal suolo nelle discariche di Colognola (attiva) e Sigillo (dismessa).

Gli apparati di misurazione utilizzati sono basati sul metodo della camera di accumulo e derivano dalle tecniche da lungo tempo utilizzate per la misurazione dei flussi di anidride carbonica dal suolo nella sorveglianza delle aree vulcaniche attive.


In fig.1 viene proposto un esempio dell'apparato di misurazione utilizzato per calcolare il flusso di metano. Sul suolo viene appoggiato

nel quale viene diagrammato l'incremento di concentrazione in funzione del tempo. Selezionando due punti sulla parte del grafico dove la funzione risulta lineare, un software apposito restituisce e memorizza immediatamente i valori del flusso di metano ( $\phi\text{CH}_4$ ). Con lo stesso metodo, adottando come sensore uno spettrometro IR in luogo del FID (fig. 2), vengono rilevati i valori del flusso di anidride carbonica ( $\phi\text{CO}_2$ ).

Il metodo della camera di accumulo garantisce molteplici vantaggi:

- rende possibile la misurazione della quantità di gas che fuoriesce direttamente e spontaneamente dal terreno e viene riversata in atmosfera senza la necessità di apportare fatto-

reni caratterizzati da un elevato contenuto di acqua tendono a ridurre considerevolmente la loro permeabilità (specialmente se composti da una frazione argillosa importante) e, per tale motivo, possono ingenerare una elevata sottostima dei valori del flusso. Le misurazioni del flusso vengono effettuate sui nodi di reticoli (*grid*) predefiniti (fig. 3), progettati in modo da coprire con un adeguato numero di misure tutta l'area di discarica (comprese sia le parti attualmente in uso che quelle messe in sicurezza). Alcune misure infine cadono all'esterno dell'area di stoccaggio dei rifiuti, in modo da poter definire, in maniera statisticamente significativa, i valori del background naturale. Sui nodi del reticolo, preliminarmente



te segnati sul terreno, vengono effettuate copie di misurazioni ( $\phi\text{CH}_4$  e  $\phi\text{CO}_2$ ).

I dati rilevati nelle varie campagne di misura vengono processati mediante elaborazione geostatistica. Nell'elaborazione si utilizza l'approccio delle simulazioni gaussiane stocastiche sequenziali (SGS). Il metodo si basa sulla simulazione della distribuzione geostatistica dei dati attraverso realizzazioni equiprobabili, ognuna delle quali onora la distribuzione (spaziale e statistica) dei dati originali, essendo vincolata ad essi dal variogramma, dalla distribuzione di frequenza e dalla covarianza spaziale. Ogni simulazione si basa sui dati di partenza e sui dati simulati nelle precedenti realizzazioni. Rispetto ad altri metodi geostatistici la simulazione stocastica permette di evitare la perdita di informazione dovuta allo "smoothing", evidenziando le discontinuità locali legate a variabilità ad alta frequenza. Nei casi studiati per ogni set omogeneo di dati sono state realizzate 100 simulazioni con una maglia quadrata di 2 m di lato. I risultati ottenuti dall'elaborazione, per ciascuna campagna di misura, consentono:

- la stima del flusso totale di gas, ottenuto come media delle 100 realizzazioni;
- la mappa con la distribuzione areale dei valori di flusso.

A titolo esemplificativo, in fig.4 (a, b, c, d) ven-

gono proposte le distribuzioni areali dei valori di  $\phi\text{CH}_4$  e  $\phi\text{CH}_2$ , rilevati nella discarica di rifiuti solidi urbani di Colognola, nel comune di Gubbio. Dalle mappe prodotte risulta possibile osservare (fig.4a e 4b) una grande anomalia di flusso gassoso nella parte centrale della discarica, compresa tra l'area attualmente coltivata e quella messa a riposo.

Il passaggio tra le due aree è marcato da una variazione piuttosto netta dei valori di  $\phi\text{CH}_4$ , mentre i valori di  $\phi\text{CH}_2$  continuano ad essere elevati anche nella porzione orientale dell'area messa a riposo. L'integrazione dei dati ha inoltre permesso la stima dei quantitativi di gas emessi complessivamente dal suolo nella discarica di Colognola (rilevati nel periodo compreso tra il 2 e il 10 ottobre 2002):

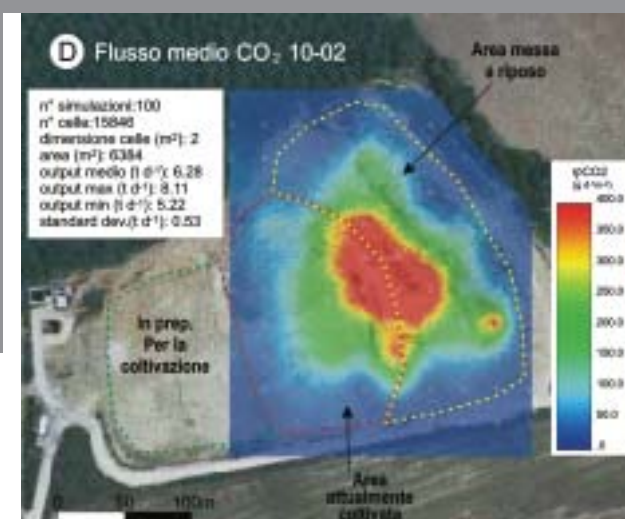
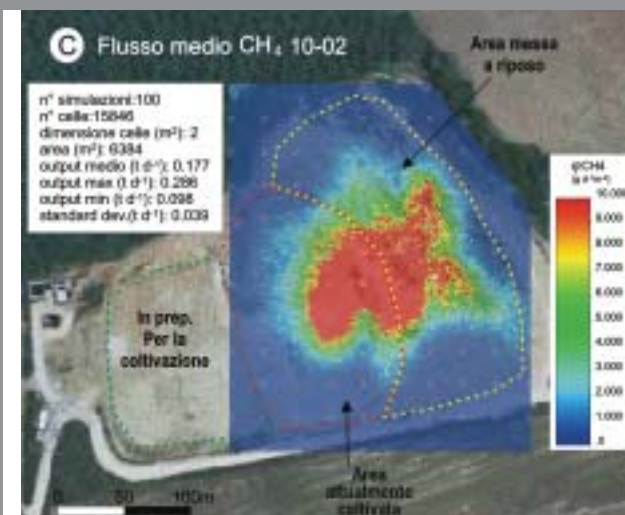
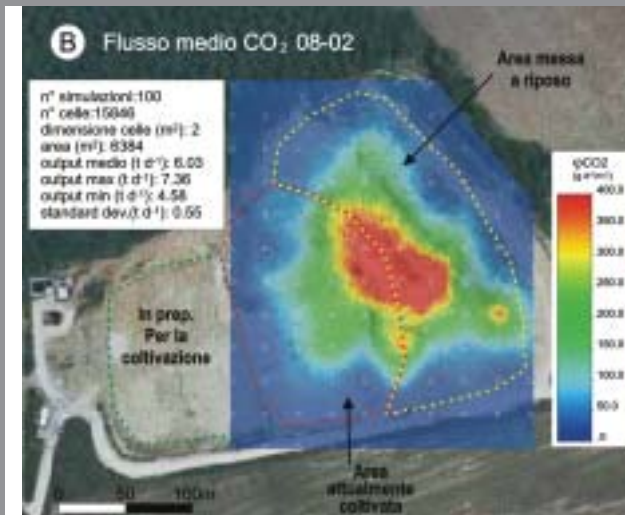
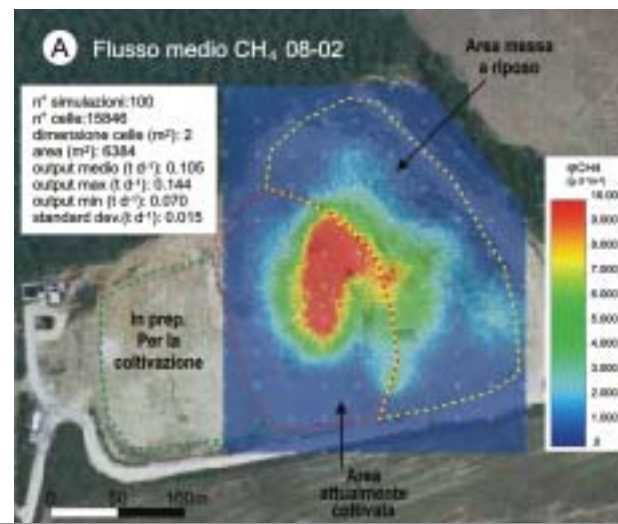
- $\text{CO}_2$  riversata in atmosfera per flusso diffuso dal suolo = 6.28 tonnellate / giorno (5.22–8.11 tonnellate/giorno);
- $\text{CH}_4$  riversato in atmosfera per flusso diffuso dal suolo = 0.177 tonnellate / giorno (0.098 – 0.286 tonnellate/giorno).

Tali quantitativi non costituiscono la totalità del gas riversato dal corpo discarica nell'atmosfera, in quanto gli impianti di smaltimento sono progettati affinché una buona parte del gas prodotto dalla decomposizione della sostanza organica venga allontanato dal corpo discarica mediante vie preferenziali

costituite dai camini di aerazione e da tubazioni di largo diametro, riempite di ghiaia grossolana, che mettono in diretta comunicazione la massa di rifiuti con l'atmosfera. Occorre inoltre considerare il degassamento che avviene nelle vasche di stoccaggio del percolato esposte direttamente all'atmosfera. Un tentativo di stima del flusso diffusivo dai camini di aerazione e dalle vasche di stoccaggio del percolato della discarica di Colognola è stato effettuato in due modi:

- applicazione della camera d'accumulo all'uscita dei camini ed estrapolazione delle misure ottenute a tutta la superficie dei camini e delle vasche;

- calcolo del flusso diffusivo nella direzione z tramite misure di concentrazione di  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  in aria e applicazione della legge di Fick. Entrambi i metodi hanno mostrato dei limiti notevoli che portano ad una sottostima sistematica dei valori di flusso di  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  ed inoltre sono difficilmente applicabili a causa dell'estrema variabilità dei flussi al variare delle condizioni atmosferiche. In particolare la misura dei gradienti di concentrazione di  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  al di sopra dei camini e la successiva applicazione della legge di Fick, sono state possibili solo in pochi casi poiché le condizioni di assenza totale di vento e stabilità barometrica si sono realizzate solo per poche ore



< Fig. 4 - Flussi di  $\text{CH}_4$  e di  $\text{CO}_2$  alla discarica di Colognola. Le figure riportate in a) e b) si riferiscono ai flussi di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  rilevati nei giorni 10, 12, 13 e 14 agosto 2002; le mappe riportate in c) e d) si riferiscono ai flussi di  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$  rilevati nei giorni compresi tra il 2 ed il 10 ottobre 2002. In ogni mappa è anche riportato il sommario dei risultati delle simulazioni e dei principali parametri utilizzati.

in tutto il periodo di lavoro. La necessità di trovare un metodo alternativo per quantificare le emissioni gassose dai camini di aerazione e dalle vasche di raccolta del percolato ha dato l'impulso ad una fase di implementazione di metodi di rilevazione appositamente dedicati. Attualmente l'Osservatorio Vesuviano (INGV), il Dipartimento CFTA dell'Università di Palermo e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Perugia stanno collaborando nella progettazione di nuovi sistemi di misurazione.

Nel corso del 2003 alcune misurazioni del flusso di gas dai camini di aerazione sono state effettuate dal Dipartimento CFTA dell'Università di Palermo accoppiando misure di velocità di uscita del gas con determinazioni gas-cromatografiche delle concentrazioni di  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$ . I primi dati indicano flussi di  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  di un ordine di grandezza superiori a quelli stimati con i metodi precedentemente illustrati.

Tale metodo appare il più efficace tra quelli sperimentati per quantificare le emissioni gassose dai camini di aerazione e dalle vasche di raccolta del percolato. La sua applicazione sistematica a tutti i camini di aerazione in discarica, accoppiata con la misura del flusso diffuso dal suolo, consentirà una stima efficace della quantità di biogas emessa in atmosfera.