



Metodo sperimentale per il monitoraggio delle emissioni diffuse dal capping di discarica

Utilizzando i numerosi modelli per la stima della produzione totale di biogas, è possibile stimare il biogas prodotto annualmente dal corpo di discarica. Utilizzando il bilancio di massa semplificato (Spokas et al., 2006), si ha che:

$$LfG_{model} = LfG_{engine} + LfG_{em.air} + LfG_{gasspy}$$

Dove:

LfG_{model} = Produzione annuale di biogas stimata attraverso appositi modelli (es. Sholl-Canyon)
 LfG_{engine} = Produzione annuale di biogas prodotto che viene annualmente utilizzato per la produzione di energia elettrica o bruciato in torcia
 LfG_{gasspy} = Produzione annuale di biogas che può essere disperso nel terreno limitrofo all'area di discarica come fughe laterali, componente orizzontale del flusso
 $LfG_{em.air}$ = Produzione annuale di biogas che può essere emessa in atmosfera attraverso la copertura, componente verticale del flusso

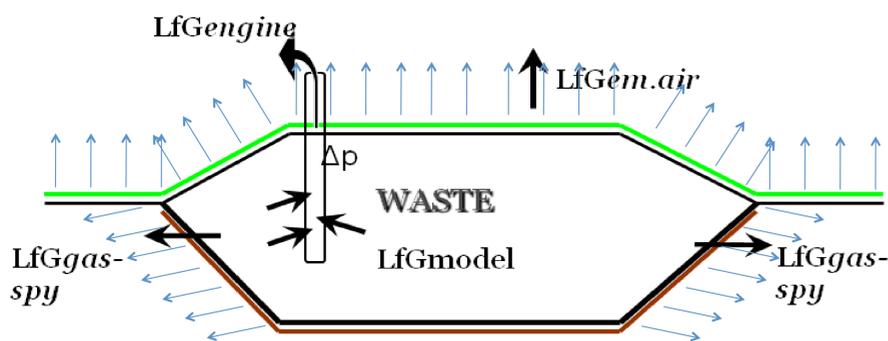


Figura 1. Bilancio Biogas semplificato

In particolare il Dipartimento di Ingegneria Industriale ex-Dipartimento di Energetica "Sergio Stecco" ha sviluppato due metodi sperimentali per la stima delle emissioni laterali e superficiali dal corpo di discarica.

Questi metodi, sono attualmente applicati su diversi impianti di discarica presenti sul territorio della regione Toscana.

Metodologia sperimentale "Gas-Spy"

I Gas-spy rappresentano un interessante strumento qualitativo atto a rilevare accumuli o flussi di biogas che dal punto di vista strumentale rappresenta una soluzione elementare, di basso costo e di semplice realizzazione e manutenzione, avente una notevole efficacia.

Questi dispositivi sono dei presidi fissi, di tipo passivo, all'interno dei quali si accumula il gas interstiziale presente nel terreno su cui è possibile effettuare la misura della concentrazione volumetrica di CH₄ e CO₂.

L'informazione data da questi dispositivi è qualitativa, del tipo on-off, ovvero non forniscono una misura del flusso ma solo l'indicazione di presenza-assenza di inquinanti nel terreno.

Andando ad elencare le componenti del dispositivo si ha:

- Tubo in PVC fessurato con sigillatura in testa filettata, (Φ40, L=250 cm);
- Letto drenante in ghiaia;
- TNT di copertura;
- Strato di copertura in argilla.

Operativamente, una volta scelta un'ideale collocazione viene realizzato uno scavo di dimensioni adeguate all'interno del quale è inserito il tubo in PVC (con posizione perpendicolare al p.c.). In una fase successiva si riempiono di ghiaia i ¾ dello scavo. Ad ultimare la messa in opera si ricopre il letto drenante con tessuto non tessuto e con uno strato impermeabile in argilla, che riduce al minimo le emissioni superficiali del gas, al fine da garantire condizioni semi statiche.

Nel caso siano presenti flussi di biogas, il fluido si accumula negli interstizi della ghiaia (porosità 0,31 vol/vol), e, attraverso le fessure del PVC, entra nel tubo che è stato sigillato in testa. Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche salienti del manufatto.

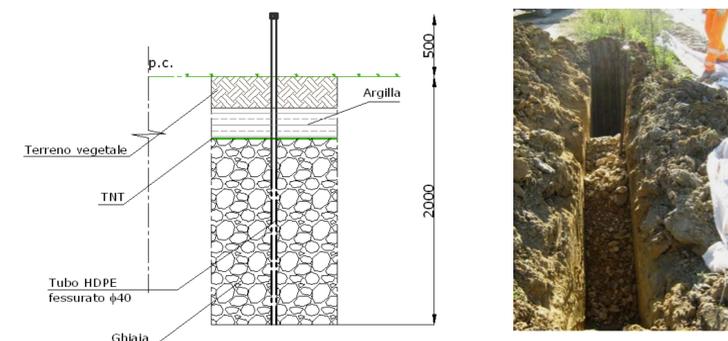


Figura 2. Schematizzazione e particolare costruttivo del dispositivo gas spy

Nel corso della fase di studio fino ad oggi condotta, sono state studiate e messe a punto due diverse tipologie di Gas-spy.

Una prima modalità di "Gas-spy", corrispondenti ai primi realizzati, prevedevano uno sbancamento pressoché cubico di dimensioni 150x150x200 cm. Tale modalità realizzativa che è stata indicata come "Gas-spy puntuale", conferisce al manufatto dimensioni che consentono il corretto funzionamento di sentinella, ma ne limitano il raggio di intercettazione.

A tale prima modalità realizzativa si è aggiunta una ulteriore forma idonea a monitorare una più ampia sezione. Conseguentemente sono stati messi in opera dei "Gas-spy linear", di dimensioni di 50x500x200 cm paragonabili a delle piccole trincee. I dispositivi lineari rispetto ai puntuali sono dotati di una ampia superficie di incidenza e quindi hanno maggior efficacia di rilevamento delle presenze di flussi aventi origine ignota e casuale.

Metodologia sperimentale "Camera di Accumulo"

Il metodo statico della camera di accumulo è preferito rispetto ad altri (Trégourès A. et al., 1999) poiché:

- è in grado di fornire misure di flusso dai suoli a prescindere dalla conoscenza delle caratteristiche dei suoli stessi e dalla conoscenza del regime di flusso stesso. Pertanto, essa non richiede alcun coefficiente empirico (che tenga conto delle caratteristiche del suolo) per trasformare il gradiente di concentrazione misurato in flusso (Tonani e Miele, 1991);
- è sufficientemente rapido, anche rispetto ad altre metodologie;
- può basarsi su strumentazione, ad oggi sufficientemente maneggevole, di facile utilizzo e con buone caratteristiche di portabilità, grazie alla sempre maggiore miniaturizzazione delle sezioni di misura, acquisizione e elaborazione;
- nel confronto fra l'utilizzo del metodo della camera di accumulo (tecnica statica) e della camera dinamica, è stato rilevato che i valori di flusso misurati dal metodo dinamico sono frequentemente superiori - anche di un ordine di grandezza - rispetto a quelli misurati con la camera di accumulo statica (Carapezza and Granieri, 2004).

La strumentazione utilizzata per le campagne di misura è stata progettata e realizzata presso i laboratori del Dipartimento di Energetica, secondo criteri costruttivi e dimensionali elaborati attraverso revisione critica della letteratura scientifica (Tonani and Miele, 1991; Chiodini et al., 1996,) non disponendo di linee guida standardizzate o specifiche normative tecniche di riferimento.

L'attrezzatura si compone di:

- camera di accumulo, prototipo sviluppato dal dipartimento;
- analizzatore del gas, Ecoprobe5 - photo inoization analyzer e infrared analyser ed altri sensori, in grado di analizzare la composizione di biogas in termini di CH₄, CO₂ e H₂S;
- GPS, per il rilevamento delle coordinate gps del punto campionato.

Per la quantificazione del flusso è necessario valutare la derivata α della funzione di dipendenza tra concentrazione di CO₂ e CH₂ tempo (nel tratto iniziale entro cui le condizioni di sistema (o volume di controllo) chiuso sono rispettate).

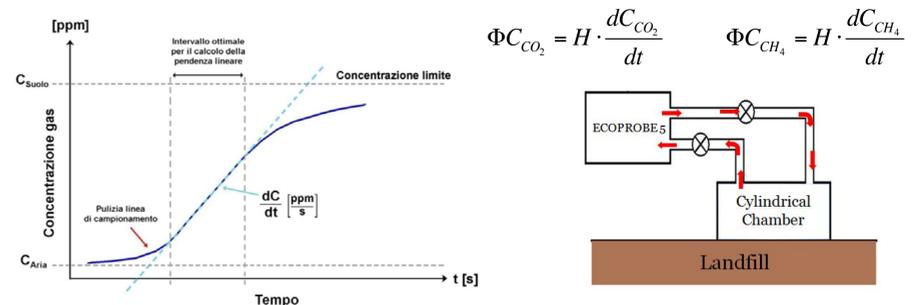


Figure 3. Teoria alla base del metodo

Operativamente per la misurazione dei flussi di anidride carbonica, si è stabilita una specifica procedura (o protocollo) di misura:

- Individuazione del punto da campionare mediante strumento GPS;
- Preparazione della superficie di campionamento per far aderire in modo adeguato la camera di accumulo al terreno al fine di riprodurre un ambiente relativamente chiuso per la camera di accumulo, con ripulitura delle sterpaglie se presenti e riduzione delle asperità relative del suolo;
- Rilevamento e acquisizione per 2-3 minuti della concentrazione (ppm) di CO₂ e di CH₄ nel volume interno alla camera.
- Per ricostruire la maglia regolare in campo (picchettaggio), è stato utilizzato il ricevitore GPS topografico, con il quale sono stati georeferenziati i punti campionati.



Figure 4. Particolari della procedura di campionamento

Data la complessità dei fenomeni diffusivi attraverso i mezzi porosi e la grande variabilità dei parametri di interesse (umidità, porosità e tessitura del terreno), risulta alquanto difficile definire a priori una fascia di rispetto, fuori dal perimetro di discarica, in cui ipotizzare la significatività delle eventuali fughe laterali di biogas, rispetto alla presenza di rischi per la salute umana e per l'ambiente.

Tale criticità può essere superata effettuando un monitoraggio che, data una maglia iniziale, provveda ad una prima valutazione dei flussi al fine della determinazione della coerenza delle scelte effettuate, ovvero al fine di individuare una diversa maglia di monitoraggio diversa in funzione dei valori rilevati in loco. I dati ottenuti con le misure in campo, trattati in post processing, consentono di ottenere una stima quindi della quantità di biogas emesso dalla superficie e una distribuzione spaziale delle zone emissive.

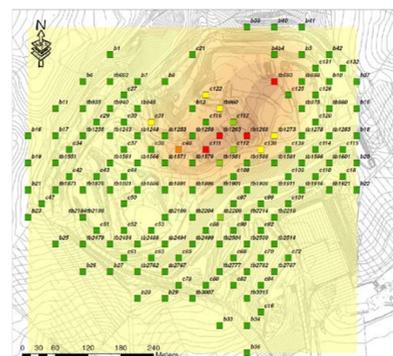


Figure 5. (In alto) Ecoprobe5 analizzatore biogas

Figure 6. (A sinistra) Esempio Carta di Isoflusso

Figure 7. Esempio maglia di monitoraggio



Controllo degli odori e mitigazione dei gas serra attraverso l'uso di "biocoperture attive"

Le emissioni superficiali dalle coperture definitive e giornaliere delle discariche sono un impatto significativo sia a livello globale che a livello locale; semplificando, possiamo individuare come principali cause di questi effetti le emissioni di gas serra e di emissioni odorigene. Questa sperimentazione nasce per capire come sia possibile la loro riduzione mediante sistemi di biofiltrazione.

- Un sistema di copertura dagli agenti atmosferici;
- Un piccolo ventilatore sulla parte alta per favorire l'apporto di ossigeno nel materiale filtrante;
- Un sistema di allontanamento delle acque di reazione e delle eventuali acque meteoriche.

Il sistema di misurazione è costituito da 11 sonde distribuite a diverse altezze a circa 10 cm l'una dall'altra.

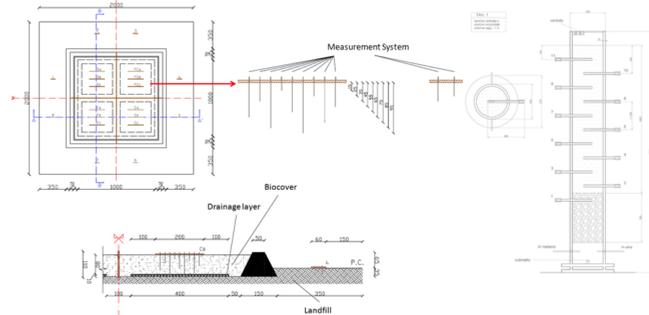


Figura 5. Particolare costruttivo coperture pilota e test in colonna

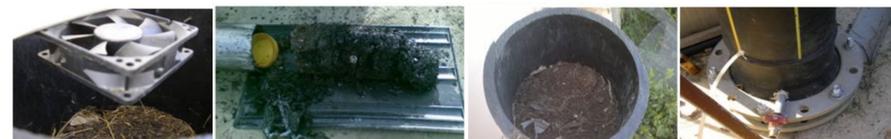


Figura 6. Particolare costruttivo TEST in colonna

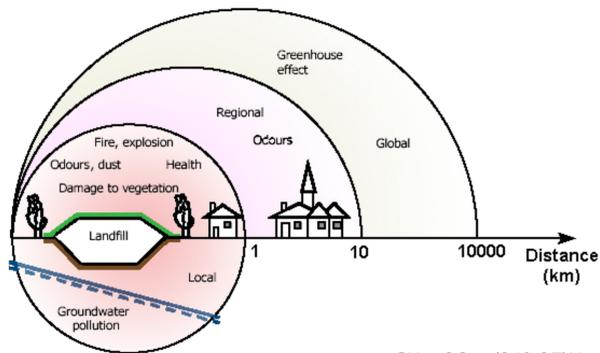
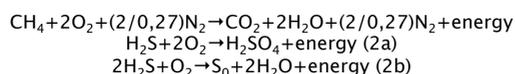


Figura 1. Schematizzazione impatti di un impianto di discarica

Questi sistemi si basano sull'utilizzo di alcune colonie batteriche:

- i batteri metanotrofi, in grado di ossidare efficacemente il metano ad anidride carbonica (gas a minore effetto serra) e biomassa (1);
- I batteri zolfo-ossidanti, in grado di ossidare l'idrogeno solforato, gas tracciante dei composti odorigeni (alternativamente 2a e 2b).



In questa sperimentazione sono state implementate alcuni sistemi, al fine di approfondire:

- Come sviluppare dei sistemi di biofiltrazione sostenibili,
- Quali possono essere i materiali più appropriati per la loro costruzione,
- Quali le condizioni ambientali che ne influenzano la crescita di ceppi batterici coinvolti,
- Quali sono le condizioni ambientali ideali per lo sviluppo di queste specifiche flore batteriche.

In particolare, è stato costruito e monitorato un impianto pilota in vasca di coltivazione di discarica e un test a scala di laboratorio (o test in colonna) per riuscire a studiare con maggior livello di dettaglio i meccanismi di regolazione del processo.

Entrambe queste sperimentazioni sono state sviluppate presso l'impianto di discarica di Podere Casa Rota, gestito da Centro Servizi Ambiente e Impianti S.p.a., nell'ambito del progetto RECORE (Riduzione delle Emissioni di gas serra in discarica mediante COperture REattive). L'obiettivo della ricerca è quello di verificare l'applicabilità di questi sistemi a impianti di discarica reali, sia come biofiltri passivi per il trattamento di biogas povero (con basse percentuali di metano, generalmente per le discariche in fase di post gestione) sia come coperture giornaliere e definitive per discariche ancora attive per il trattamento delle emissioni superficiali.

Test a scala pilota: Biocoperture

Le coperture reattive, ovvero un sistema di copertura con materiale in cui si sviluppano le condizioni ambientali adatte alla crescita delle flore batteriche metanotrofe, sono state costruite direttamente in vasca di coltivazione, direttamente in contatto con il rifiuto conferito.

Sono stati studiate quattro coperture costituite da quattro materiali differenti:

- Compost, proveniente dal compostaggio di frazione organica dei rifiuti urbani raccolta con sistema di raccolta differenziata misciato a sabbia con un rapporto di 5:1;
- FOS (Frazione Organica Stabilizzata), proveniente dalla stabilizzazione della frazione organica dei rifiuti ottenuta dalla selezione meccanica di rifiuto urbano indifferenziato, sempre in un rapporto di 5:1 con sabbia;
- FOS-Compost, una miscela dei due materiali con sabbia, secondo un rapporto volumetrico di 2,5:2,5:1;
- Sabbia, copertura utilizzata come riferimento (test in bianco) per le misure effettuate sulle altre.



Figura 2. Particolare materiali utilizzati, in sequenza: COMPOST, FOS, ghiaia

L'area della sperimentazione, di circa 100 m², è costituita da le quattro coperture divise fra loro da un argine in legno e un'area circostante di circa 20 m² utilizzata come test bianco. Ogni copertura sperimentale, che affossa nel rifiuto per 30 cm circa, è composta da uno strato di circa 10 cm di materiale drenante (ghiaia) e da uno strato di ciascun materiale di 70 cm circa.



Figura 3. Fasi di costruzione dell'impianto pilota

Il sistema di misurazione e di monitoraggio della sperimentazione è composto da numerose sonde di campionamento del gas per ogni copertura, in modo tale da consentire il campionamento del gas a diverse profondità per ciascun materiale utilizzato, costituite da piccoli tubi in HDPE con un diametro interno di 8 mm. In particolare il sistema di campionamento è formato da 27 sonde per ognuna delle quattro coperture e 16 sonde nella zona esterna circostante. Il biogas presente nella copertura può essere campionato in questo modo alla profondità di 15, 25, 35, 45, 55, 65 e 75 cm. Attraverso il metodo sperimentale della "Camera di Accumulo", vengono inoltre effettuate delle misure del flusso superficiale di biogas dalle coperture, al fine di determinare la relativa efficienza di abbattimento di metano.



Figura 4. Sistema di monitoraggio delle biocoperture

Test a scala di laboratorio: Test in Colonna

Per verificare l'efficacia del sistema applicato a scala pilota, utilizzando parte del materiale attivato nelle coperture reattive, viene realizzato un test a scala di laboratorio in cui il flusso di metano in ingresso sia regolabile.

- Un supporto in HDPE con diametro esterno di 25 cm alto circa 170 cm;
- Il vero e proprio materiale filtrante composto per il primo strato da ghiaia per una distribuzione uniforme del gas in ingresso e successivamente, per un'altezza maggiore, dal vero e proprio material biofiltrante;
- Un sistema di alimentazione e regolazione del biogas costituito da una bombola, pressostati e flussimetri;

Strumenti e misure

Per ogni campagna di misura vengono monitorati numerosi parametri per controllare come questi influiscono sull'efficienza dei sistemi di biofiltrazione implementati. In particolare vengono misurati:

- Umidità della copertura, strettamente dipendente dalle condizioni meteorologiche, deve essere compresa fra 7-8% e 70% per non inibire l'attività batterica;
- pH, ottimi i valori prossimi alla neutralità;
- Condizioni atmosferiche, grazie ai dati forniti dalla stazione meteo presente in impianto, in particolare la pressione atmosferica dalla quale dipende la presenza di ossigeno nelle coperture;
- La composizione del biogas in termini di CH₄, e H₂S ma anche di CO₂ e O₂;
- La Temperatura alle differenti profondità;
- Il flusso di biogas dalla copertura misurato attraverso il metodo della "Camera di Accumulo".



Figura 7. Strumenti e parametri monitorati

Alcuni Risultati

Attualmente le biocoperture sono state monitorate per circa un anno ed è stato quindi possibile studiarne il funzionamento nel breve e nel lungo periodo.

In particolare, con la misura della composizione del biogas alle differenti profondità è stato possibile ricostruire l'andamento dei vari gas nonché individuare le profondità con più elevata attività batterica.

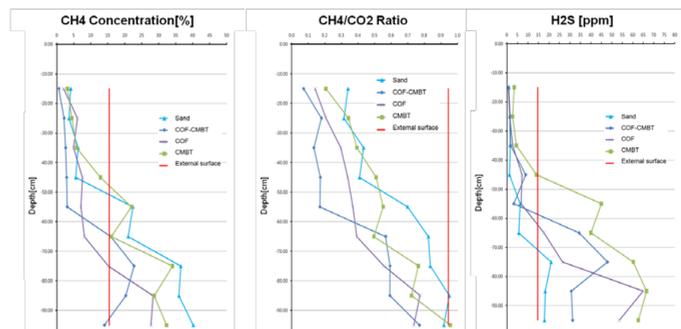


Figura 8. Profili mediati sul primo anno di misure della concentrazione di CH₄, rapporto CH₄/CO₂ e H₂S

I risultati ottenuti dimostrano che in ogni copertura, la concentrazione di metano in uscita alle coperture (basse profondità) risulta per ogni materiale essere minore di quella in ingresso. Inoltre confrontando i valori misurati all'interno delle coperture con quelli misurati nell'area circostante (riga rossa) si nota che concentrazioni misurate nelle coperture sperimentali sono apprezzabilmente più basse. Le performance migliori sono quelle della copertura in FOS e Copost. Considerando quindi le concentrazioni misurate è stato possibile definire un'efficienza di abbattimento 92% del metano e del 96% dell'idrogeno solforato.

Nel lungo periodo il sistema ha dimostrato di essere comunque efficace al fine del trattamento delle emissioni nonostante un'eccessiva umidità delle coperture dovuta ad abbondanti piogge stagionali ha creato problemi nell'utilizzo delle sonde di campionamento più profonde. Inoltre è risultato che l'abbondante vegetazione interferisce con il sistema implementato e che dei lavori di mantenimento della copertura sperimentale sono pertanto necessari.

A conferma dei buoni risultati che il materiale aveva ottenuto nel test a scala pilota, il FOS-Compost è stato utilizzato anche nel test in colonna. Nei numerosi test a cui è stato sottoposto, questo materiale ha dato prova di avere alte efficienze di rimozione. In particolare per un flusso di metano in ingresso pari a 40ml/min (che corrisponde a 1000gCH₄/m²d circa) è stata registrata un'efficienza di rimozione pari all'80% con un rateo specifico di eliminazione di 33gCH₄/m³h.

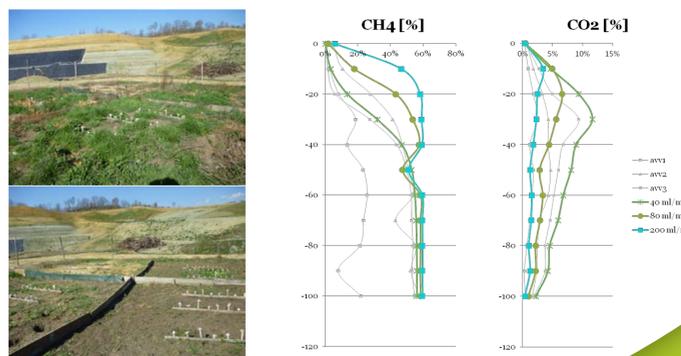


Figura 10. andamenti composizione biogas test in colonna FOS-Compost

Figura 9. Coperture sperimentali nel lungo periodo