

Il modello Gas Sim per l'analisi del rischio da biogas

Gary M. ATTENBOROUGH

Golder Associates (UK) Ltd. – Maidenhead, Gran Bretagna

David H. HALL

Golder Associates (UK) Ltd. – Nottingham, Gran Bretagna

Louise MCGOOCHAN

Agenzia per l'Ambiente (EA) – West Malling, Gran Bretagna

ABSTRACT

E' nota l'azione nociva delle emissioni di biogas provenienti dalle discariche sull'atmosfera (riduzione dello strato d'ozono), sull'ambiente a livello locale (inquinamento, odori e stress per la vegetazione) e sull'uomo.

GasSim valuta i rischi connessi alle emissioni di biogas e la loro entità, tenendo conto dell'incertezza insita nei processi e nei parametri attraverso una simulazione di tipo probabilistico. Questo viene fatto in maniera riproducibile e senza il ricorso a modelli multipli. Inoltre, allo scopo di dimostrare l'idoneità del modello adottato in GasSim, questo è stato confrontato con altri modelli matematici e validato tramite delle misure in situ. I risultati relativi alla produzione di biogas ottenuti impiegando GasSim sono stati confrontati con quelli ottenuti tramite modelli matematici antecedenti, quali il modello HELGA (Gregory et al.; 1999), un modello strutturato a fogli elettronici prodotto per conto dell'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente dell'Inghilterra e del Galles (Agenzia Ambientale), ed il modello LandGem (Pelt et al.; 1998) prodotto per conto dell'USEPA, Agenzia Ambientale statunitense. I risultati della modellizzazione ottenuta con GasSim concordano con quelli ottenuti tramite il modello HELGA (scostamenti entro lo 0.5%); scostamenti maggiori sono invece stati riscontrati rispetto ai risultati del modello LandGem (scostamenti entro il 4%).

PREMESSA

Gli elementi principali alla base dello sviluppo di GasSim sono stati il notevole interesse relativo ai potenziali effetti sulla popolazione che risiede e lavora nelle vicinanze delle discariche, la necessità di verificare tali effetti e di avere a disposizione uno strumento di

gestione che supportasse gli sforzi finalizzati al raggiungimento dei limiti contenuti negli accordi internazionali in termini di riduzione delle emissioni nell'ambiente di gas serra. Una ricerca patrocinata dal governo della Gran Bretagna (Elliott et al.; 2001) ha infatti indicato una relazione statistica tra effetti negativi sulla salute umana e le emissioni da discarica.

Il metano è potenzialmente il secondo più importante gas serra di origine antropica (dopo l'anidride carbonica) e viene emesso in atmosfera dalle discariche in quantità significative. Questi elementi hanno condotto all'introduzione di nuove Direttive Comunitarie (la Direttiva Europea sui rifiuti -EC, 1991-, la Direttiva sulle Discariche -EC, 1999-, la Direttiva sulla Prevenzione e Controllo Integrato dell'Inquinamento -IPPC, EC 1996-) concernenti la produzione e la gestione dei gas generati, e inoltre in Europa è diventata prassi comune la valutazione ed il controllo delle emissioni gassose dalle discariche controllate al fine di minimizzare gli impatti dovuti al biogas.

GasSim è stato sviluppato per fornire una metodologia standard di analisi del rischio e si rivolge agli Enti Pubblici, agli operatori e professionisti del settore. Allo scopo di valutare da un punto di vista quantitativo i rischi connessi ai processi di generazione e migrazione del biogas e l'entità degli impatti conseguenti, GasSim tiene conto dell'incertezza nei parametri in ingresso attraverso il ricorso ad una simulazione di tipo "Monte Carlo". L'incertezza dei parametri viene in tal modo ad essere distribuita secondo uno specifico intervallo di valori per ciascuno dei parametri di ingresso, attraverso l'utilizzo di funzioni di densità di probabilità.

GasSim supporta la valutazione del rischio legata al biogas attraverso la valutazione, in maniera riproducibile e senza il ricorso a modelli multipli, dei processi di generazione, emissione, migrazione/dispersione dello stesso e degli impatti e delle esposizioni generate. GasSim è stato sviluppato utilizzando la struttura base di HELGA (Gregory et al.; 1999), che pure era stato adottato dall'Agenzia Ambientale allo scopo di fornire un modello di valutazione degli effetti sull'ambiente delle diverse opzioni legate alla gestione del biogas.

IL MODELLO CONCETTUALE

Il modello concettuale su cui si basa GasSim (Figura 1) presenta una struttura modulare, in cui ogni modulo può includere gli effetti di processi supplementari.

GasSim è costituito da 4 moduli principali che fanno riferimento al modello concettuale tipico dell'analisi di rischio, di seguito descritti nel dettaglio:

- sorgente
- emissioni
- percorso attraverso le matrici ambientali
- esposizione/impatto dei bersagli.

SORGENTE - Generazione del biogas

Il cuore del modello è rappresentato dal modello di generazione il quale risulta in grado di simulare la produzione di metano, anidride carbonica, idrogeno ed anidride solforica che sono correlabili a diverse caratteristiche dei rifiuti e alla modalità del loro conferimento.

Le frazioni delle diverse tipologie di rifiuti sono definite sulla base della percentuale del materiale soggetto a fenomeni di decomposizione, la proporzione tra cellulosa ed emicellulosa ed il contenuto in umidità.

La definizione dei parametri in ingresso permette al modello di essere altamente flessibile ed adattabile ad ogni discarica, grazie alla possibilità di prendere in considerazione specifiche tipologie di rifiuto, specifici rapporti di riempimento del volume disponibile e condizioni ambientali specifiche del sito.

Nel modello la degradazione metanogenica del carbonio è simulata dividendo i rifiuti di diversa provenienza in tre frazioni specifiche in funzione della loro rapidità di decomposizione (bassa, moderata ed elevata), e in alternativa essa può essere valutata impiegando l'equazione di LandGem (Pelt et al.; 1998), che considera la quantità di carbonio disponibile ed il rapporto tra la quantità di metano e quella di anidride carbonica.

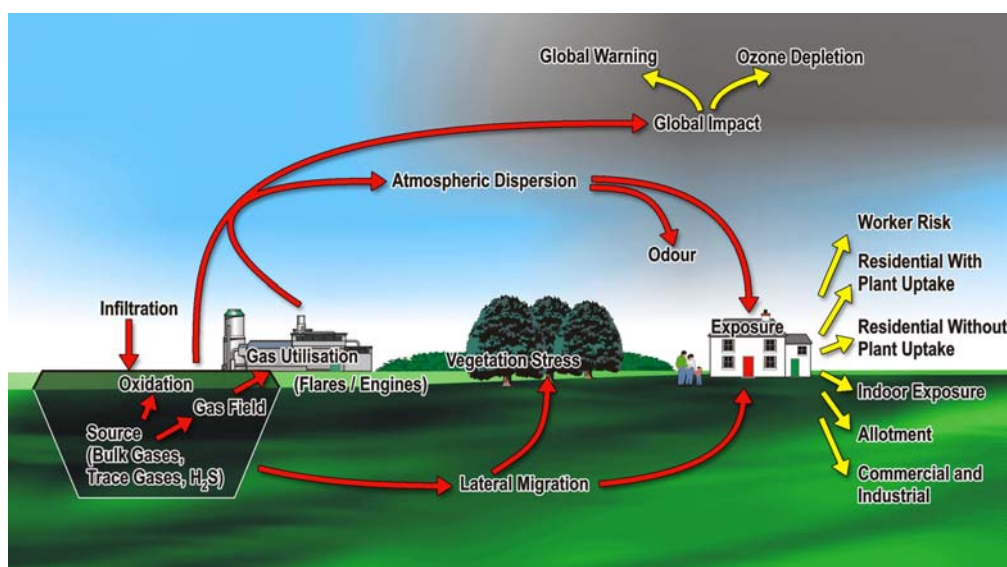


Figura 1. Modello concettuale utilizzato in GasSim

La produzione dei gas in tracce è simulata dall'utente definendo la concentrazione del gas stesso oppure selezionando un valore guida di concentrazione (mg/m^3) in rapporto al valore dei gas in massa. GasSim determina la quantità di gas in tracce generato rapportando le concentrazioni delle singole specie di gas con il tasso di produzione del biogas. Inoltre GasSim consente l'opzione di considerare la riduzione della concentrazione del biogas in tracce nel tempo, utilizzando definite varie cinetiche di decadimento.

Emissioni

Il modello assume che il biogas prodotto e non captato da sistemi appositi, e che pertanto passa attraverso i sistemi di protezione e rivestimento della discarica, sia emesso in uno stato stazionario.

Emissioni dalla combustione controllata ed utilizzo del biogas

La quantità di biogas estratta da un'area di discarica coperta è calcolata utilizzando:

- la capacità dei motori e delle torce
- l'efficienza del sistema di captazione del biogas
- la porzione della discarica che risulta coperta.

L'efficienza di captazione del sistema di gestione del biogas può essere definita dall'utente mentre il modello assume di default che l'efficienza del sistema di captazione non risulti pari a 100%.

Le capacità del recupero energetico e della combustione controllata sono determinate in funzione dei tempi di messa in esercizio e di fermata dei motori e delle torce e della capacità totale disponibile. Le torce sono caratterizzate in funzione di un intervallo di operatività (massima e minima capacità), mentre i motori sono caratterizzati da un unico valore di capacità. Il comportamento dei motori viene simulato ipotizzando che essi operino in condizioni tali che il biogas disponibile sia superiore alla loro capacità nominale, mentre viene ipotizzato che le torce si arrestino nel caso in cui il biogas captato sia inferiore alla loro capacità minima.

Le emissioni dai motori e/o dalle torce sono determinate dalla quantità di biogas estratto e dalle seguenti caratteristiche:

- concentrazioni delle tipologie di gas che compongono il biogas e/o le emissioni dalla combustione
- concentrazioni di gas originali nel biogas che reagiscono per dar luogo ad emissioni
- concentrazione misurate nelle emissioni.

Emissioni di superficie e laterali

GasSim è un modello di simulazione in stato stazionario il quale assume che tutto il biogas generato sia emesso nell'ambiente attraverso un unico percorso; il biogas verrà captato ed usato per alimentare torce e/o motori oppure diffuso in maniera incontrollata attraverso la superficie o il rivestimento della discarica. Le emissioni di superficie vengono determinate in base alla somma delle emissioni provenienti dall'area coperta e da quella in attività (scoperta). In quest'ultima, si considera che il biogas sia emesso direttamente attraverso la superficie, senza un processo di ossidazione del metano.

Il modello assume che il movimento del biogas avvenga secondo una modalità di flusso a pistone e che sia la copertura che il rivestimento siano isotropi ed omogenei, così come assume che i rifiuti costituiscano un insieme omogeneo ed isotropo.

GasSim inoltre permette l'opzione di ridurre le emissioni di metano attraverso la copertura attraverso l'ossidazione biologica del metano stesso, tramite la simulazione della quantità di gas che passa attraverso la copertura stessa rapportata a quella che passa inossidata attraverso le discontinuità. Il modello permette all'utente anche l'uso della metodologia IPCC (IPCC 1996a, 1996b) oppure un approccio definito dall'utente.

PERCORSO - Trasporto attraverso le matrici ambientali

Il trasporto laterale del contaminante attraverso la geosfera è simulato impiegando un'equazione di diffusione-dispersione. La dispersione attraverso l'atmosfera è simulata ipotizzando diverse distribuzioni della velocità dei venti ed il verificarsi di diverse condizioni di stabilità.

Migrazione laterale

Per la determinazione della migrazione del biogas, il cui flusso è assunto unidimensionale, il modulo usa un'equazione di diffusione e dispersione, simile a quella impiegata per la definizione della migrazione di un contaminante nell'acqua sotterranea contenuta in LandSim (Agenzia Ambientale, 2001).

Il contributo dovuto al fenomeno di advezione è determinato in funzione della pressione nella discarica, che risulta proporzionale alla quantità di biogas che migra lateralmente. GasSim ipotizza che la discarica sia in uno stato stazionario, e che quindi la velocità alla quale il biogas esce dalla discarica possa essere determinata. Il fenomeno di dispersione simula il gradiente di concentrazione sulla base della dispersione di un gas in aria, adottando però misure di correzione dovute alla porosità del suolo ed al suo contenuto in umidità.

Dispersione atmosferica

La dispersione atmosferica delle emissioni da motori, torce e dalla superficie è simulata impiegando il modello gaussiano NRPB R91 (NRPB, 1995). Tale modello considera gli effetti dell'innalzamento termico del pennacchio associato alla presenza di torce e motori e simula la rimozione dei gas dall'atmosfera attraverso fenomeni di deposizione secca e umida. GasSim assume che le emissioni dalla discarica rappresentino una sorgente puntuale.

Il modulo simula la dispersione dei gas impiegando dati meteorologici, quali ad esempio la rosa dei venti, la frequenza di diverse condizioni di stabilità di Pasquill, la media delle velocità del vento e delle altezze dello strato di mescolamento per ognuna delle condizioni di stabilità individuate.

BERSAGLI - Impatto/esposizione

L'impatto delle emissioni può essere determinato in quattro modalità diverse, tramite il calcolo di:

- potenziale di riscaldamento globale e potenziale di riduzione dell'ozono (GWP e ODP)
- stress della vegetazione ad una data distanza
- ubicazione della soglia di odore in funzione della distanza dalla discarica, e
- esposizione dei lavoratori nell'impianto ed esposizione umana in ambienti chiusi ed aperti al di fuori del sito.

Cambiamento climatico

Il contributo di una discarica in termini di cambiamenti climatici è determinato calcolando il GWP e l'ODP, in funzione delle emissioni da motori, torce ed attraverso la superficie.

Stress della vegetazione

Il modello può simulare l'impatto del metano e dell'anidride carbonica emessa da una discarica sulla vegetazione locale, impostando o lasciando di default i limiti delle concentrazioni nocivi per la vegetazione.

Odore

L'impatto dell'odore viene valutato con due modalità diverse, la prima delle quali determina il punto in corrispondenza del quale la concentrazione delle diverse specie di odori risultano inferiori al valore limite, mentre la seconda metodologia simula l'emissione di "Unità Odorimetriche" standard provenienti da aree non coperte o coperte e dalle discontinuità.

Esposizione

L'impatto del biogas sulla salute umana è determinata per una serie di scenari secondo i soggetti e gli ambienti che possono essere esposti all'azione del biogas.

GasSim esegue in primo luogo una valutazione dell'esposizione seguendo l'approccio utilizzato nel modello CLEA (Agenzia Ambientale, 2002), a cui sono stati apportati alcuni aggiustamenti.

IMMISSIONE DI DATI E VERIFICA DEL MODELLO

La verifica del modello comprende il confronto tra l'equazione multi-fase di GasSim con l'equazione della struttura di HELGA e LandGem, ipotizzando diversi scenari di conferimento e diversi tassi di decadimento, per un periodo di 5 anni. Il modello ottenuto con GasSim risulta del tutto confrontabile con quello a fogli di calcolo di HELGA (scostamenti entro lo 0.5%) e LandGem (scostamenti entro il 4%).

In aggiunta l'equazione di fase singola di GasSim è stata confrontata con LandGem per il medesimo scenario, utilizzando i dati in ingresso di default di LandGem CAA e AP42, impiegando il biogas totale per tonnellata generato nel corso della durata della simulazione (150 anni). I modelli sono risultati corrispondenti entro un margine pari al 2.6%.

VALIDAZIONE DEL MODELLO

Affinché un modello risulti affidabile è essenziale che sia rappresentativo delle condizioni reali. E' stata pertanto condotta una serie di test di validazione, alcuni dei quali sono qui riportati di seguito.

Verifica della produzione di biogas in celle campione

La sorgente di biogas in massa è stata verificata tramite i dati di produzione di biogas raccolti dall'Università di Strathclyde, utilizzando celle campione denominate "celle Auchencarroch". Le celle sono state sottoposte ad una serie di trattamenti e successivamente il quantitativo di biogas prodotto in 2 e 3 anni dopo il riempimento è stato impiegato per la verifica del modello (Figura 2).

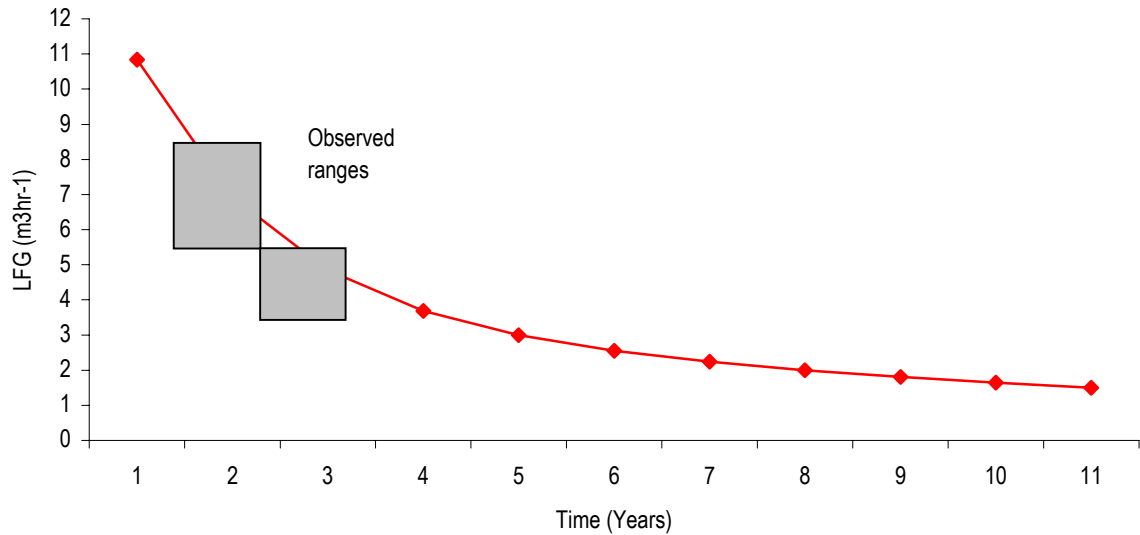


Figura 2. Celle campione “Auchencarroch”: dati derivanti dal modello plottati rispetto agli intervalli osservati

Verifica della produzione di biogas in una discarica in Gran Bretagna

Il modulo di produzione del biogas in massa è stato inoltre verificato su un sito di discarica in Gran Bretagna, ove sono stati depositi 2 milioni di tonnellate di rifiuti urbani per un periodo di 8 anni, di cui 200.000 t/anno nei primi 4 anni, 260.000 t/anno per i successivi due anni e 333.000 t/anno per gli ultimi due anni. I dati di simulazione sono stati confrontati con i dati del monitoraggio ottenuti nel periodo compreso tra 18 e 20 anni dopo l’inizio del riempimento.

Le produzioni di biogas monitorato sono state plottate sulla curva di produzione di biogas attesa (Figura 3). I risultati indicano che la produzione di biogas attesa (simulata) è contenuta entro l’intervallo di valori reali del monitoraggio.

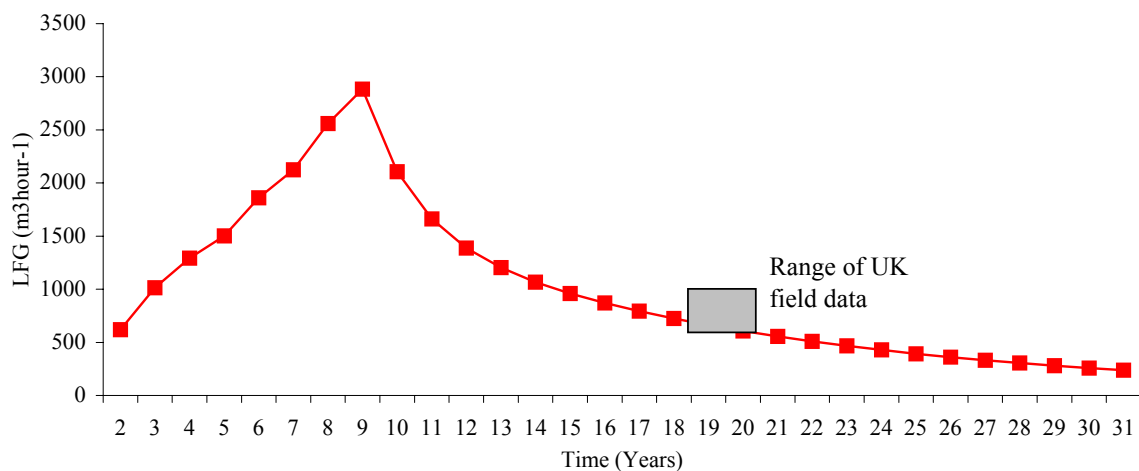


Figure 3. Discarica in Gran Bretagna: dati derivanti dal modello plottati rispetto la variazione osservata in situ

CONCLUSIONI PER LA VALIDAZIONE DEL MODELLO

Il modello su cui si basa GasSim permette una valutazione dei rischi per l'uomo e per l'ambiente correlati alla presenza di biogas e quindi può essere un'utile supporto in tutte le fasi di vita di una discarica (dalla progettazione alla post-gestione), riuscendo a simulare anche i diversi progetti di copertura e varie combinazioni torcia/motore.

In aiuto dell'utente vi è inoltre la possibilità di inserire diversi dati sito-specifici per simulare le condizioni particolari della discarica e la disponibilità di dati generici per coprire una serie di informazioni di cui in genere gli operatori non dispongono (le concentrazioni di gas in tracce, la compromissione dell'efficienza delle torce, la composizione dei diversi flussi di rifiuti, ecc.)

I test di validazione hanno dimostrato che il modello utilizzato in GasSim fornisce risultati che concordano con quelli ottenuti tramite altri modelli (LandGem e HELGA). Tali test inoltre indicano che il modello di simulazione della produzione di biogas risulta in accordo con la realtà. Le emissioni dalla superficie della discarica, quelle dalle torce e dai motori ed i modelli di migrazione laterale e di dispersione atmosferica sono al momento in via di validazione ufficiale.

RINGRAZIAMENTI E LIMITAZIONI

L'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente dell'Inghilterra e del Galles, ha costituito un fondo per lo sviluppo di un modello in grado di condurre l'analisi del rischio connesso alla presenza di biogas in grado di determinare un impatto su potenziali recettori nella fase di pianificazione e gestione dei siti di discarica, in qualità di strumento di supporto alle decisioni. Le opinioni espresse nel presente intervento sono quelle degli autori e non necessariamente rappresentano quelle dell'Agenzia.

RIFERIMENTI

- EC, 1991, "Council Directive 75/442/EEC on waste, as amended by Council Directive 91/156/EEC concerning The Framework Directive on Waste". Official Journal of the European Communities.
- EC, 1996. "Council Directive 96/61/EC of 24 September 1996 concerning Integrated Pollution Prevention and Control". Official Journal of the European Communities.
- EC, 1999. "Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste". Official Journal of the European Communities.
- Elliott, P., Morris, S., Briggs, D., de Hoogh, C., Hurt, C., Jensen, T.K., Maitland, I., Lewin, A., Richardson, S, Wakefield, J., and Jarup, L., "Birth outcomes and selected cancers in populations living near landfill sites". Report to the Department of Health by the Small Area Health Statistics Unit (SAHSU), Department of Epidemiology and Public Health, Imperial College, London, 2001.

- Gregory, R. G., Revans, A. J., Hill, M. D., Meadows, M. P., Paul, L. and Ferguson, C. C., 1999, “A framework to assess the risks to human health and the environment from landfill gas”, Environment Agency Technical Report P271, under contract CWM 168/98.
- Environment Agency, 2001, “LandSim, Landfill Performance Simulation by Monte Carlo Simulation”, Environment Agency R&D Publication 120.
- Environment Agency, “The contaminated land exposure assessment model (CLEA): Technical basis and algorithms2”, Document prepared by the National Groundwater and Contaminated Land Centre of the Environment Agency R&D Publication CLR10, 2002.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996a “Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, Chapter 6”.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996b. “IPCC Expert Group on Waste, Topical Workshop on Carbon Conversion and Methane Oxidation in Solid Waste Disposal Sites”, Argonne National Laboratory, Chicago, USA, 25 October 1996.
- NRPB, 1995. “Methodology for assessing the radiological consequences of routine releases of radionuclides to the environment”, Report EUR 15760, Luxembourg, European Commission.
- Pelt R., White C., Blackard A., Bass R. L., and Burklin C., and Heaton R.E., “User's Manual Landfill Gas Emissions Model”, U.S. Environmental Protection Agency Contract 68-D1-0117, EPA, 1998.