

ALMA MATER STUDIORUM - UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA

in

Ingegneria delle Materie Prime

**Analisi di rischio applicata ad una discarica di rifiuti mediante
lo studio del codice GasSim**

CANDIDATO:
Giuseppe Brogna

RELATORE:
Chiar.mo Prof. Alessandra Bonoli

CORRELATORE:
Dott. ing. Andrea Forni

Anno Accademico 2007/08
Sessione III

INTRODUZIONE.....	3
1 L'analisi di rischio.....	6
1.1 I concetti base della valutazione del rischio	6
1.2 La procedura utilizzata: concetti generali e livelli di approfondimento	7
1.2.1 Il principio di conservatività.....	7
1.2.2 Il modello RBCA.....	7
1.2.3 Il modello concettuale del sito (MCS).....	11
2 Procedura di analisi di rischio applicata alle discariche.....	13
2.1 Introduzione del Sistema Discariche e schema applicativo.....	13
2.1.1 La formulazione del problema.....	15
2.1.2 Sviluppo del Modello Concettuale del Sito applicato alle discariche ..	16
2.1.3 I dati necessari in ingresso	17
2.1.4 I principali software utilizzati nella modellizzazione delle discariche	25
2.2 La gestione del Rischio calcolato	30
2.2.1 Calcolo della portata di esposizione	31
2.2.2 La caratterizzazione del Rischio	32
2.2.3 Il calcolo del Rischio e condizioni di accettabilità	33
2.3 Calcolo del rischio dovuto a più vie d'esposizione e caratterizzazione del recettore umano.....	37
3 Il software GasSim analisi del codice.....	40
3.1 Presentazione del programma.....	40
3.2 La schermata principale.....	41
3.3 Le caratteristiche della discarica.....	43
3.3.1 Modalità d'inserimento dei dati.....	47
3.3.2 I dettagli delle celle.....	50
3.3.3 Modalità e tempi di conferimento dei rifiuti.....	52
3.3.4 Ossidazione biologica del metano	56
3.3.5 Rifiuti in ingresso, tipologia e costanti di degradazione.....	58
3.3.6 Composizione del rifiuto	61
3.3.7 Ultime voci analizzabili della schermata " <i>caratteristiche della discarica</i> "	63
3.4 Torce e motori installati.....	64
3.5 Il livello 1 dell'analisi di rischio: lo screening	67
3.5.1 Ulteriori parametri definibili dall'utente: i recettori.....	73
3.5.2 Tabella conclusiva della fase di screening.....	77
3.6 Il livello 2 dell'analisi di rischio: la dispersione atmosferica	80
3.6.1 I dati meteorologici	83
3.6.2 Avvio della simulazione "dispersione atmosferica"	87
3.7 L'impatto globale.....	91
3.8 La migrazione laterale del gas di discarica.....	95
3.8.1 I risultati della simulazione.....	98
3.9 Il rischio per l'esposizione "off site"	101
3.9.1 Gli scenari d'esposizione	102
3.9.2 I risultati dell'esposizione.....	107
3.10 Tabella riassuntiva dei risultati forniti dal GasSim	111
3.11 Tabella riassuntiva dei parametri necessari per una simulazione.....	112
4 Studio di un caso reale.....	117

4.1	Ubicazione e caratteristiche geometriche della discarica	117
4.2	Metodologia di coltivazione	119
4.3	Dettagli copertura definitiva e temporanea.....	121
4.4	Dettagli dei rifiuti conferiti in discarica.....	123
4.5	Dettagli tecnici dell'impianto di aspirazione e combustione.....	124
4.6	Ultimi parametri necessari per avviare la fase di screening del sito.....	126
4.7	Dettagli dei recettori scelti	128
4.8	Procedimento e risultati	129
4.8.1	Risultati screening.....	131
4.8.2	Dispersione atmosferica.....	142
4.8.3	Impatto globale	145
4.8.4	Migrazione laterale	146
4.8.5	Risultati esposizione	147
4.9	Conclusioni e sviluppi futuri.....	151
5	Appendice	153
6	Bibliografia.....	155

INTRODUZIONE

L'obiettivo che quest'elaborato si propone è di approfondire i concetti legati all'analisi di rischio che costituisce lo strumento più avanzato di supporto nelle decisioni di fattibilità di progetti che determinano alterazioni della qualità ambientale poiché consente di valutare, in via quantitativa, i rischi per la salute umana connessi alla presenza di inquinanti nelle matrici ambientali.

In particolare si analizza il rischio connesso alla diffusione in atmosfera delle sostanze chimiche contenute nei gas generati da una discarica e si applica per condurre questo studio il software inglese GasSim, sviluppato dalla Golder Associates, ad un sito di abbancamento rifiuti situato nel nord est Italia per cercare di dimostrare l'effettiva applicabilità di questo programma ai criteri metodologici stabiliti dalla normativa italiana e favorire quindi la possibile utilizzazione di questo ausilio informatico per velocizzare questo tipo di indagine. La tesi è stata svolta sotto la supervisione della Prof. A. Bonoli e dell'ing. Andrea Forni.

Nel primo capitolo si introdurranno generalmente i concetti legati all'analisi di rischio: definizioni e normative che introducono questo metodo operativo nelle valutazioni d'impatto ambientale, per arrivare a delineare le linee guida che serviranno per elaborare il modello concettuale del sito (MCS) e i vari livelli di dettaglio a cui un'analisi di rischio può arrivare.

Il secondo capitolo sottolinea l'applicazione del metodo ad un sito di raccolta rifiuti estendendo i concetti analizzati nel primo capitolo in via teorica ad una discarica. In questa fase si pone l'accento su tutti i parametri che un tecnico deve valutare per definire il modello concettuale del sito e per caratterizzare i dati di ingresso che definiscono la sorgente, il percorso e il bersaglio in modo da stabilire univocamente i parametri necessari per la valutazione del rischio alle sostanze inquinanti e quando il rischio cancerogeno e non cancerogeno all'esposizione umana è considerato accettabile dalle normative.

Il terzo capitolo descrive il codice GasSim, come si utilizza il software, le potenzialità di calcolo che offre e i risultati che è in grado di fornire. I punti deboli del programma e le difficoltà che l'utente italiano può trovare dovendo operare con un software sviluppato in una nazione diversa da quella in cui lo applica. Si cercherà di dimostrare se tali differenze,

dovute alle differenti normative e metodologie progettuali, sono superabili e possono consentire la diffusione dell'applicativo anche in Italia.

Il quarto capitolo applica ad un caso reale tutti i metodi e le tecniche analizzate nei capitoli precedenti e si valuta il rischio connesso al benzene in traccia contenuto nel gas proveniente dalla discarica ai recettori umani che risiedono intorno al sito analizzato, si presenta la procedura utilizzata per arrivare ai risultati e si giustificano di volta in volta le scelte dei dati d'ingresso in base al progetto autorizzato in possesso.

1 L'analisi di rischio

L'analisi di rischio (*risk assessment*) può essere definita come la caratterizzazione dei potenziali effetti negativi in conseguenza dell'esposizione ad agenti inquinanti. Lo studio si basa:

1. sulla caratterizzazione delle componenti ambientali;
2. sui processi di trasporto e di trasformazione;
3. sulla caratterizzazione dell'esposizione;
4. sul numero e la sensibilità degli esposti;
5. sulla caratterizzazione della dose assorbita;
6. sulla valutazione di studi epidemiologici, clinici e tossicologici;

1.1 I concetti base della valutazione del rischio

La metodologia utilizzata nell'analisi di rischio permette di:

1. giudicare la gravità dello stato di contaminazione di uno specifico sito;
2. fissare gli obiettivi di un'eventuale azione di bonifica.

In sostanza, la valutazione del rischio si propone di giudicare la contaminazione di un sito sulla base del rischio che esso effettivamente comporta per la salute umana e per l'ecosistema che vi grava intorno tenendo conto, oltre che dei contaminanti presenti, anche di altri fattori locali, quali le vie di migrazione a disposizione degli stessi contaminanti, le modalità di esposizione del ricettore sensibile, il tipo di recettore presente nella zona, etc.

Per procedere ad una analisi di rischio occorre quindi conoscere:

1. la presenza, la concentrazione e le caratteristiche fisico-chimiche e tossicologiche delle sostanze contaminanti;
2. le caratteristiche del sito;
3. le potenziali vie di migrazione delle sostanze;
4. i potenziali recettori.

Il collegamento tra la fonte della contaminazione e i possibili bersagli o recettori individuati avviene con la definizione del cosiddetto Modello Concettuale del Sito.

1.2 La procedura utilizzata: concetti generali e livelli di approfondimento

1.2.1 Il principio di conservatività

Una delle caratteristiche fondamentali di una corretta procedura di valutazione del rischio è il principio di cautela o conservatività, che caratterizza ogni fase del processo di analisi e che deve sempre ispirare la scelta dei dati di partenza su cui basare tale valutazione (parametri sito-specifici, parametri di esposizione, dati di tossicità). L'analisi di rischio effettuata, quindi, garantisce che i limiti di concentrazione accettabili, determinati sulla base di un livello di rischio definito accettabile, siano effettivamente protettivi per la salute dei bersagli considerati (vedi doc. 1). Il principio di cautela è stato ripreso anche dal Manuale "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio ai siti contaminati" elaborato dal Gruppo di lavoro APAT-ARPA/APPA-ICRAM-ISPEL-ISS dell'agosto 2006 (rev. 1) per la procedura di analisi di rischio sanitario, dove sono ricordati i principi fondamentali su cui si basa la valutazione del rischio ovvero:

1. principio del caso peggiore ("*worst case*") che riguarda in generale tutte le fasi di applicazione della procedura d'analisi assoluta di rischio e deve sempre guidare la scelta tra alternative possibili;
2. principio dell'esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia "*Reasonable Maximum Exposure*"), che prevede in relazione ai parametri di esposizione l'assunzione di valori ragionevolmente conservativi al fine di pervenire a risultati cautelativi per la tutela della salute umana.

1.2.2 Il modello RBCA

La procedura di valutazione del rischio è generalmente basata su tre livelli aventi successivi gradi di approssimazione nelle elaborazioni (livello 1, 2 e 3).

Non è possibile, infatti, implementare immediatamente una valutazione approfondita in presenza di un qualsiasi evento o situazione in cui si sospetti una contaminazione dei suoli, poiché le informazioni necessarie richiedono disponibilità economiche e tecniche per l'esecuzione d'indagini in sito e di laboratorio che potrebbero non risultare giustificate

dalla gravità degli eventi. Si preferisce, quindi, operare per successivi approfondimenti dell'indagine qualora il precedente livello di approssimazione lo rendesse necessario.

La procedura utilizzata nell'analisi di rischio è denominata RBCA (*Risk Based Corrective Actions*) che rappresenta il criterio decisionale più noto a livello internazionale ed è schematizzata figura uno.

RBCA è una norma ASTM (*American Society for Testing and Materials*) pubblicata come E1739 nel 1995 per guidare gli interventi di risanamento sui siti contaminati da idrocarburi. In seguito, nel 1998 la norma è stata aggiornata ed integrata dalla guida PS104 che riguarda più in generale i rilasci di sostanze chimiche. Come già accennato la norma RBCA, prevede tre livelli di approfondimento e ha gettato le basi per estendere questa metodologia operativa sulle valutazioni di siti contaminati e fattibilità di progetti che implicano un rischio ambientale:

LIVELLO 1: utilizzato per eseguire un primo *screening* del sito in esame. La connotazione tipicamente preliminare di questo livello d'indagine implica l'adozione di parametri (geometria della contaminazione, tempo e durata dell'esposizione, ecc.) estremamente conservativi e, in generale, non specifici del sito. In questa fase le informazioni sul sito a disposizione sono estremamente limitate. Nell'analisi di livello 1, i punti di esposizione sono ipotizzati coincidenti con le sorgenti di contaminazione, non si tiene quindi conto di fenomeni di attenuazione dovuti alla diffusione dei contaminanti nello spazio e nel tempo. Nel livello 1 della procedura RBCA sono calcolati i valori RBSL (*Risk Based Screening Levels*) ovvero i criteri di qualità delle matrici ambientali che non utilizzano parametri sito specifici. Il Livello 1 prevede quindi il confronto delle concentrazioni misurate sul sito con i RBSL calcolati: qualora si evidenzino dei superamenti dei criteri di qualità si può procedere con la bonifica, previa valutazione del rapporto costi/benefici, oppure procedere ad un Livello 2 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.

LIVELLO 2: rappresenta una valutazione sito-specifica. I parametri ed i punti di esposizione considerati sono noti sulla base delle indagini condotte sul sito in esame e conducono quindi alla definizione di concentrazioni ammissibili di contaminanti più realistiche, definite SSTL (*Site Specific Target Levels*). In questa fase vengono utilizzati dati sito-specifici (contenuto di carbonio organico, permeabilità, porosità, geometria della sorgente, ecc.) e vengono considerati i relativi scenari di migrazione della contaminazione dalla sorgente. Le equazioni utilizzate, di tipo analitico, sono, generalmente, le stesse del Livello 1. Il Livello 2 prevede il confronto delle concentrazioni misurate in sito con gli SSTLs

calcolati: in caso di superamento di tali valori si può decidere di procedere alla bonifica o alla via libera per la fattibilità di un progetto, dopo avere valutato attentamente i rapporti costi/benefici o di procedere ad un livello 3 di analisi, dopo un approfondimento delle indagini.

LIVELLO 3: prevede l'utilizzo di modelli di calcolo più complessi introducendo valutazioni di tipo probabilistico ed impiegando sofisticati modelli matematici revisionali delle modalità di trasporto dei contaminanti nelle varie matrici ambientali interessate. L'applicazione di tali modelli richiede un maggiore investimento di risorse nelle attività di caratterizzazione allo scopo di aumentare il numero, il dettaglio e l'accuratezza dei dati.

L'applicazione del Livello 3 di analisi di rischio consente il calcolo di nuovi SSTLs basati su una conoscenza dettagliata ed approfondita di tutte le caratteristiche del sito, tuttavia il dettaglio di caratterizzazione richiesto per l'applicazione di un livello 3 di analisi ha dei costi molto elevati che possono risultare poco sostenibili. Pertanto, nella maggior parte dei casi ci si limita a condurre analisi di Livello 2.

In sostanza, quindi, viene affrontato un percorso graduale, dal livello 1 (più generale) al livello 3 (più approfondito), dove sono considerati i seguenti aspetti:

- il numero e la qualità dei dati necessari per le elaborazioni aumenta;
- le risorse da impiegare aumentano;
- i tempi di realizzazione dell'analisi aumentano;
- le assunzioni conservative introdotte nei calcoli diminuiscono;
- l'efficacia degli interventi di risanamento aumenta, poiché si effettuano valutazioni più specifiche e mirate.

Il procedimento sopra descritto è il cosiddetto "metodo diretto" (*forward analysis*), che consente la stima quantitativa del rischio. Il suo inverso, il "metodo indiretto" (*backward analysis*) consente, imponendo un rischio accettabile, di definire

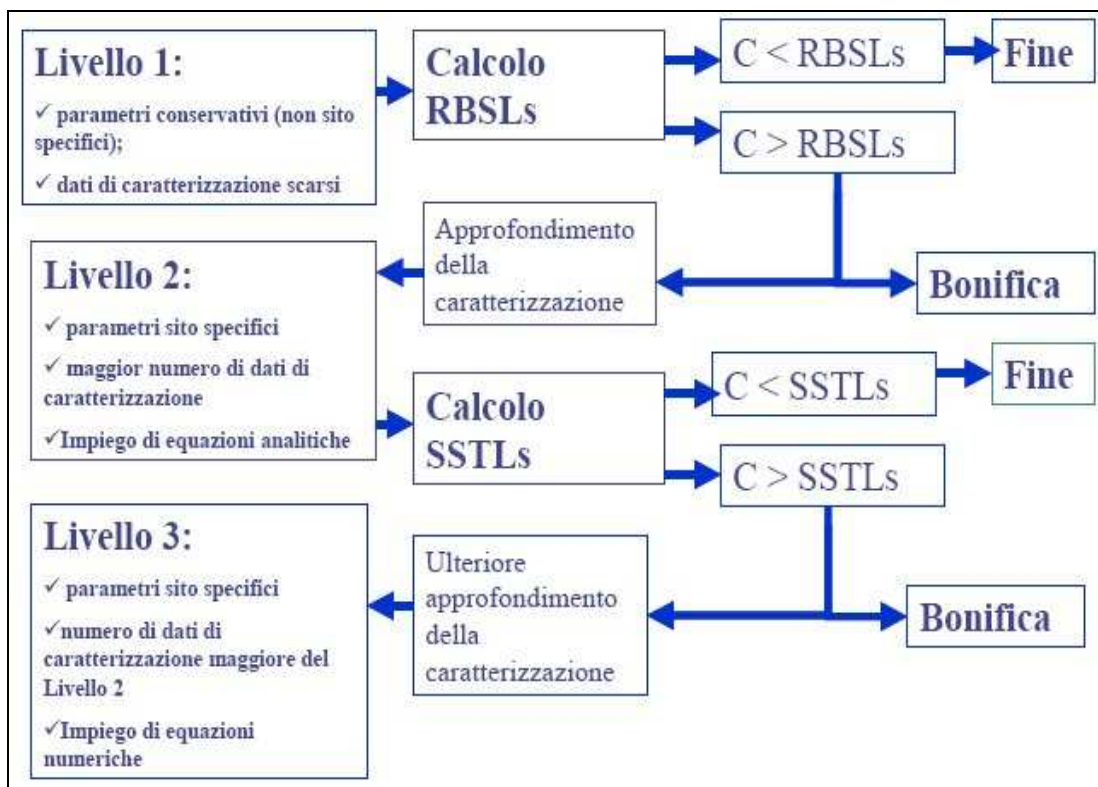


Figura 1: (Schema applicativo della procedura RBCA)

concentrazioni alla sorgente accettabili da un punto di vista del rischio sanitario e rappresenta un utile strumento nella definizione di obiettivi di bonifica sito-specifici.

I due distinti risultati derivano dall'applicazione della procedura secondo le due distinte modalità (vedi figura 2) ed in particolare:

1. la modalità diretta (*forward mode*) permette il calcolo del rischio associato al recettore esposto derivante da una sorgente di contaminazione di concentrazione nota;
2. la modalità inversa (*backward mode*) permette il calcolo della massima concentrazione ammissibile in sorgente compatibile con il livello di rischio ritenuto accettabile per il recettore.

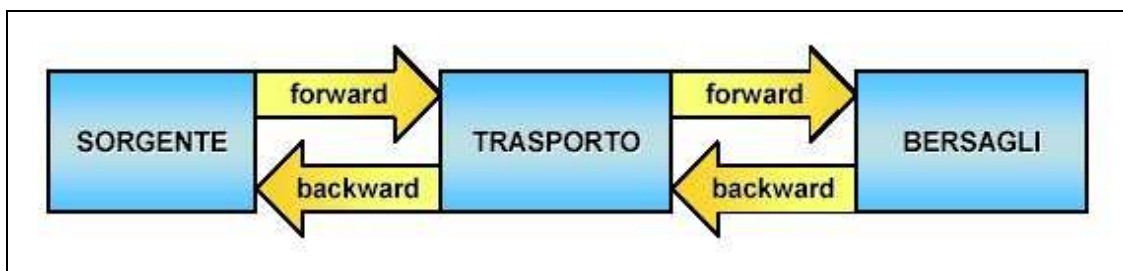


Figura 2 (Differenza fra il metodo diretto e l'inverso)

Differenze sostanziali nell'utilizzo dei due metodi operativi sopra citati non ce ne sono poiché portano entrambi allo stesso risultato operativo: la valutazione del superamento degli inquinanti al recettore

1.2.3 Il modello concettuale del sito (MCS)

Il Modello Concettuale del Sito sistemizza le caratteristiche specifiche del sito attraverso l'identificazione degli elementi che lo caratterizzano ai fini di un'Analisi di Rischio, ovvero: Sorgente, Percorso, Bersaglio. Bisogna, quindi, individuare nell'effettuare queste valutazioni:

- presenza di fonti di contaminazione (Sorgente);
- migrazione dei contaminanti dalle sorgenti ai bersagli potenzialmente interessati, ovvero popolazione e ambiente (Percorso);
- grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito e dell'ambiente esterno da questo influenzato (Bersaglio);

Si rende opportuno stabilire delle procedure operative da seguire per stabilire, in ogni situazione, in maniera univoca, tutti i possibili fenomeni che portano alla formazione del contaminante, alle vie utilizzate per la propagazione e tutti i fenomeni fisici-attenuativi per calcolarne il livello al recettore.

Qui di seguito, si riporta in tabella una descrizione delle possibili vie di migrazione (vedi. tab. 1) e delle principali modalità di esposizione relative ad esse.

Vedi migrazione	Descrizione
Suolo superficiale	Livello più superficiale di sottosuolo. Generalmente tale livello, così come assunto dalla maggior parte degli <i>standard</i> e dei modelli esistenti, s'intende compreso tra il piano campagna (p.c.) ed 1,0/1,5 m di profondità
Suolo profondo	Livello di sottosuolo compreso tra la base dello strato più superficiale (-1,0/-1,5 m dal p.c.) e le massime profondità indagate
Acqua sotterranea	Falda direttamente interessata dalla presenza di terreno inquinato oppure le acque sotterranee riceventi percolamento di sostanze inquinanti da livelli di terreno insaturo
Acqua superficiale	Acque superficiali direttamente interessate da versamenti inquinanti oppure da apporti di sostanze dall'immissione di acque sotterranee in corpi idrici superficiali
Aria indoor	Porzione di ambiente aeriforme in cui le possibili "evaporazioni" d'inquinanti restano confinate comunque in ambienti chiusi
Aria outdoor	Porzione di ambiente aperto, aeriforme, ove si possono avere "evaporazioni" di sostanze inquinanti provenienti dai livelli più superficiali di sottosuolo

Tabella 1: (Possibili vie di migrazione)

Si evidenzia che ad ogni sorgente di contaminazione possono corrispondere più vie di esposizione, e pertanto in siti diversi si possono avere combinazioni diverse, a seconda della situazione fisico-antropica del sito stesso. Le modalità con cui può avvenire il contatto tra l'inquinante ed il bersaglio della contaminazione variano in funzione della via di esposizione. Ad esempio, per un recettore umano che viene a contatto con un contaminante sottoforma gassosa a diverse vie tramite le quali, la sostanza nociva entra nel suo ciclo biologico, fra queste ricordo l'ingestione, l'inalazione e il contatto dermico.

2 Procedura di analisi di rischio applicata alle discariche

2.1 Introduzione del Sistema Discariche e schema applicativo

Nel caso delle discariche la definizione del Modello Concettuale del Sito assume l'identificazione di connotazioni specifiche che possono essere e che vanno contestualizzate in modelli che trattano in dettaglio i parametri, le informazioni e i dati necessari, nonché le relazioni matematiche e le formule di calcolo che intercorrono tra le varie grandezze.

In generale, ogni valutazione di rischio dovrebbe essere condotta ad un livello di complessità che è proporzionale al potenziale rischio ambientale indotto dallo specifico sito, al livello di incertezza e quindi alla verosimiglianza che si verifichino i rischi attesi.

<i>fase della discarica</i>	<i>elementi principali richiesti</i>	<i>livello dell'analisi di rischio</i>
<i>pianificazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>localizzazione del sito</i>• <i>dati di base (ad es. tipi di rifiuti, capacità totale)</i>	<i>livello 1</i>
<i>progettazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>dati fondamentali costruttivi e gestionali</i>	<i>livello 2</i>
<i>autorizzazioni ambientali</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>dati dettagliati costruttivi, gestionali e di monitoraggio</i>	<i>livello 2 o 3 (esame di tutti i percorsi e impatti)</i>
<i>gestione</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>dati dettagliati costruttivi, gestionali e di monitoraggio</i>	<i>livello 2 o 3</i>
<i>interventi di recupero ambientale e bonifica</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>dati dettagliati costruttivi, gestionali e di monitoraggio</i>	<i>livello 1 (per il censimento)</i>
		<i>livello 2 o 3 (per la progettazione)</i>
<i>chiusura e post-chiusura</i>	<ul style="list-style-type: none">• <i>dati costruttivi, gestionali e di monitoraggio</i>	<i>livello 1 o 2</i>

Tabella 2: (Livelli di analisi di rischio nelle varie fasi di rischio evolutive della discarica fonte APAT)

Per quanto riguarda l'applicazione alle discariche, la tabella 2 (estratta dal manuale APAT *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche*) riassume indicativamente i livelli di analisi di rischio tipicamente richiesti per le differenti fasi di sviluppo di un impianto di discarica, in considerazione della relativa scala di interesse.

La valutazione del rischio applicata alle discariche va eseguita dal secondo livello in poi poiché, da quanto previsto dalle norme italiane (DM 471/99), qualora nell'indagine di screening (Livello 1) si dimostri la non fattibilità di un progetto perché si superano i limiti per la salute umana, il progetto non può essere attuato. In particolare le norme prescrivono che la fattibilità di un progetto sia stabilita nel rispetto dei livelli preliminari a costi sostenibili.

Indifferentemente dal livello, la procedura di analisi di rischio si compone di varie fasi, elencate di seguito e sviluppate nei capitoli successivi, le quali naturalmente richiedono più o meno dettaglio a seconda della complessità del problema e della valutazione condotta:

1. formulazione del problema;
2. analisi di rischio applicata alle discariche:
 - 2.1. sviluppo del MCS:
 - 2.1.1. caratterizzazione della sorgente;
 - 2.1.2. caratterizzazione dei percorsi e delle possibili vie di esposizione;
 - 2.1.3. individuazione dei relativi bersagli o recettori;
 - 2.2. risultati dell'analisi di rischio, ovvero caratterizzazione dei bersagli tramite una valutazione del grado di inquinamento nel tempo;
3. analisi di rischio relativa alla caratterizzazione e gestione del rischio sanitario-ambientale:
 - 3.1. sviluppo del MCS
 - 3.1.1. individuazione e caratterizzazione dei relativi bersagli e recettori umani/risorse idriche sotterranee;
 - 3.1.2. valutazione dell'esposizione;
 - 3.2. caratterizzazione e gestione del rischio sanitario ambientale sia per i ricettori umani sia per le risorse idriche sotterranee.

La fase successiva, usualmente la finalità stessa dell'Analisi del Rischio, la *gestione del rischio* riguarda la soluzione delle problematiche identificate in relazione al controllo dei possibili rischi esistenti in sede di progettazione o di esercizio della discarica, oppure in sede di valutazione o di progettazione degli interventi di bonifica attraverso la definizione di misure correttive che possono intervenire su uno o più degli elementi del modello concettuale.

L'analisi di rischio applicata alle discariche presenta complessità e specificità in qualità di termine sorgente tali che la modellistica della trattazione viene suddivisa in due fasi:

- una specifica del sito e del percorso inquinante-bersaglio;
- una finalizzata all'identificazione del rischio ambientale-sanitario;

La prima delle quali a sua volta, per quel che riguarda i software maggiormente utilizzati in ambito europeo, prevede trattazioni separate (ovvero diversi software) per l'analisi di rischio del percolato e del biogas.

I dati di output provenienti dalla suddetta modellistica specifica per le discariche divengono perciò a loro volta dati d'input della successiva modellistica di più ampio respiro sanitario-ambientale che può effettuarsi con i software di analisi RBCA generici.

2.1.1 La formulazione del problema

L'obiettivo iniziale della fase di formulazione del problema, propedeutico a tutte le fasi di cui si compone un'analisi di rischio, è quello di comprendere le problematiche specifiche, di proporre il livello di valutazione che è necessario condurre e quindi di indicare il set di dati occorrenti per l'elaborazione della procedura vera e propria.

La *formulazione del problema* consiste di tre stadi:

- uno studio preliminare dei dati disponibili, con eventuale sopralluogo in situ, propedeutico alla definizione di un modello concettuale preliminare della discarica;
- definizione ed esecuzione di un piano d'investigazioni, comprendenti indagini, ulteriori sopralluoghi, monitoraggi ambientali ed analisi specifiche, finalizzato a verificare e rifinire il modello preliminare;
- sviluppo del modello concettuale del sito (MCS).

In riferimento ai tre stadi sopra definiti, gli obiettivi della formulazione del problema sono quindi:

- raccogliere tutte le informazioni disponibili rilevanti a caratterizzare il sito e l'ambiente circostante dalla letteratura, dagli elaborati di progetto, dalla documentazione pubblica e da un'esplorazione del sito;
- sviluppare, sulla base delle informazioni raccolte e disponibili, un modello concettuale preliminare della discarica, in modo da selezionare preventivamente i possibili percorsi attivi e valutare la vulnerabilità dei potenziali bersagli esistenti. In tale fase si potranno

anche elaborare mappe, planimetrie, sezioni trasversali, diagrammi schematici e simili, che permettano una facile comprensione del contesto ambientale;

– qualora sia necessario, determinare, usando il modello concettuale preliminare, delle ulteriori investigazioni del sito ed analisi, al fine di reperire dati ed informazioni mancanti per verificare il modello preliminare e sviluppare quello definitivo, con l'obiettivo di garantire una sufficiente confidenza ed un adeguato sviluppo della procedura;

– sviluppare, infine, un definitivo MCS, che sia robusto, validato e rifinito sulla base dei dati specifici raccolti dalle investigazioni condotte.

2.1.2 Sviluppo del Modello Concettuale del Sito applicato alle discariche

Lo sviluppo di un modello concettuale parte, più dettagliatamente, dall'esame del progetto, delle modalità costruttive e delle procedure operative di una discarica e quindi dalla natura delle sue condizioni ambientali di base.

Nel caso della discarica, il MCS cambia in funzione del tempo durante tutta la vita dell'impianto, dal momento che variano le caratteristiche della discarica, quale termine sorgente. Ad esempio, durante la gestione operativa, la volumetria e quindi le dimensioni della discarica, si modificano in relazione al flusso dei rifiuti in ingresso e di conseguenza variano le caratteristiche quali-quantitative delle emissioni. In particolare, la qualità delle emissioni (percolato e biogas) è legata al decorso temporale dei processi chimici di degradazione della materia, i quali, a loro volta, variano in funzione di altri fattori concomitanti (condizioni di temperatura ed umidità nell'ammasso di rifiuti, quantità di materia organica disponibile alla biodegradazione, presenza di nutrienti per i batteri, ecc.).

Ancora, a seguito della chiusura della discarica, con la realizzazione della copertura superficiale, varieranno le caratteristiche generali con ulteriori modifiche delle emissioni, dal punto di vista quantitativo in virtù della presenza della barriera di contenimento superficiale (la copertura superficiale da un lato riduce l'infiltrazione delle acque meteoriche diminuendo quindi i volumi di percolato prodotti, dall'altro contiene le perdite incontrollate di biogas dalla superficie) e dal punto di vista qualitativo, soprattutto a causa della cessazione dell'attività di conferimento dei rifiuti.

Pertanto, durante tutta la vita della discarica, un MCS già sviluppato potrà essere continuamente aggiornato sulla base delle informazioni e dei dati dell'evoluzione del

termine sorgente, se non si sono registrate ulteriori modifiche per gli altri elementi del modello stesso.

A tal fine, i dati e le informazioni necessari potranno essere forniti dal monitoraggio ambientale, condotto con regolarità durante tutta la vita della discarica.

Le indagini ed analisi da svolgersi riguardano i seguenti ambiti:

- storia della discarica e caratteristiche costruttive e impiantistiche;
- morfologia e topografia del sito e dell'ambiente ad esso circostante;
- tipologia dei rifiuti e caratteristiche quali-quantitative delle emissioni liquide e gassose della discarica;
- geologia;
- idrogeologia, idrologia e idrogeochimica;
- climatologia;
- ecologia e popolazione locale.

2.1.3 I dati necessari in ingresso

I dati raccolti attraverso le suddette indagini/analisi rappresentano quindi l'input del programma che si utilizzerà per l'applicazione della modellistica RBCA alla discarica in oggetto. Proprio a causa dell'utilizzo informatico dei dati in discussione, si è qui deciso di svolgerne la trattazione attraverso un'esposizione in formato tabellare, metodologia che risulta aderente alla pratica lavorativa degli operatori del settore.

Si fa qui notare come la colonna effetti presente nelle successive tabelle sia di rilevante importanza nel raggiungimento di un'intima comprensione del MCS; comprensione che nella pratica lavorativa risulta necessaria ogni qualvolta ci si trovi in una situazione al di fuori dei canoni del modello proposto dai creatori dei diversi software presenti sul mercato. Ad esempio, la forma geometrica delle discarica (vedi tab. 4) utilizzata dai maggiori software utilizzati è quella di un trapezoide, con superficie del fondo superiore a quella sommitale mentre nella realtà delle cose, soprattutto per quel che riguarda discariche irregolari, le forme sono varie. La conoscenza dell'utilizzo del dato all'interno del modello concettuale, espresso come detto sopra dal contenuto della colonna "effetti", permette in questo caso di apporre delle correzioni ai dati in entrata; ad es. se la superficie sommitale

reale risultasse inferiore a quella del fondo, si può procedere ponendovi valore uguale a quella del fondo, modificando però conseguentemente il valore dell'infiltrazione effettiva in discarica, in maniera da non influenzare il risultato del percolato prodotto e dell'emissione di gas.

Nota: le tabelle di questo paragrafo sono estratte dal documento APAT Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di rischio alle discariche.

<i>dati</i>		<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>
<i>durata della gestione operativa</i>		<i>periodo di tempo compreso tra l'inizio e la fine dei conferimenti dei rifiuti</i>	<i>corrisponde al periodo di maggior impatto potenziale, in virtù dell'instaurarsi dei processi di degradazione dei rifiuti e della loro esposizione ai vettori di trasporto delle emissioni (aria/acqua di infiltrazione)</i>
<i>periodo di chiusura</i>		<i>data o periodo di tempo di completamento della copertura superficiale finale</i>	<i>influisce sulle caratteristiche quali-quantitative delle emissioni</i>
<i>durata della gestione post-operativa</i>		<i>periodo di tempo successivo alla chiusura, nel quale prosegue il controllo e il monitoraggio della discarica</i>	<i>incide sul periodo totale di controllo delle emissioni e sullo sviluppo degli impatti generati a lungo termine</i>
<i>varie</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>suddivisione in lotti e sub-lotti</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>lotti sono le vasche idraulicamente e fisicamente indipendenti in cui è suddivisa la discarica</i> • <i>sub-lotti sono suddivisioni interne dei lotti in virtù della configurazione del sistema di drenaggio e raccolta del percolato</i> 	<i>influisce sulle modalità gestionali di coltivazione e quindi sulle caratteristiche quali-quantitative delle emissioni</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • <i>informazioni storiche</i> 	<i>usi del suolo e altre attività precedenti alla discarica</i>	<i>possono segnalare eventuali rischi pregressi ed aggiuntivi, in virtù del tipo e delle proprietà chimico-fisiche dei contaminanti</i>

Tabella 3 (Dati riguardanti la storia della discarica fonte APAT)

Nella valutazione del rischio connesso alla dispersione in atmosfera del biogas conoscere i parametri riguardanti la storia della discarica è importante per calcolare la quantità d'inquinanti che sfugge attraverso il capping dell'impianto d'abbancamento dei rifiuti.

<i>dati</i>	<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>
<i>superficie del fondo</i>	<i>impronta areale del fondo di discarica</i>	<i>influisce sulla stima del flusso di percolato attraverso il fondo di discarica</i>
<i>superficie sommitale</i>	<i>area esposta all'infiltrazione meteorica</i>	<i>influisce diversi fattori quali, ad esempio, la quantità di infiltrazione all'interno del corpo discarica, la superficie emittente di gas, ecc.</i>
<i>profondità dell'invaso rispetto al piano campagna</i>	<i>intero spessore compreso tra il piano di posa dell'impermeabilizzazione del fondo e il piano campagna</i>	<i>influisce nella stima del fattore di lisciviazione</i>
<i>volume totale o capacità autorizzata</i>	<i>volume netto di rifiuti</i>	<i>influisce sulla stima di produzione delle emissioni (percolato e biogas)</i>

Tabella 4 (Dati relativi alle caratteristiche geometriche della discarica fonte APAT)

<i>dati</i>	<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>	
<i>caratteristiche qualitative quantitative</i>	<i>tipologia di rifiuti</i>	<i>suddivisione del flusso di rifiuti per macrocategorie</i>	<i>influisce sulla quantità e sulla qualità delle emissioni prodotte (percolato e biogas)</i>
	<i>flusso di rifiuti</i>	<i>quantitativi annuali di rifiuti in ingresso durante tutta la coltivazione della discarica</i>	<i>influisce sulla quantità e sulla qualità delle emissioni prodotte (percolato e biogas)</i>
	<i>composizione merceologica</i>	<i>composizione di dettaglio dei flussi di rifiuti</i>	<i>influisce sulla quantità e sulla qualità delle emissioni prodotte (percolato e biogas)</i>
<i>parametri geometrici</i>	<i>spessore dei rifiuti (attuale e finale)</i>	<i>altezza dei rifiuti, variabile sia in funzione del tempo che della morfologia della discarica</i>	<i>incide nel definire il volume di rifiuti che partecipa alla produzione di emissioni (percolato e biogas)</i>
	<i>densità di abbancamento</i>	<i>peso dell'unità di volume dei rifiuti abbancati</i>	<i>influisce indirettamente nella produzione di emissioni poiché implica la disponibilità di vuoti a lasciarsi attraversare da liquidi e gas</i>
<i>parametri idraulici</i>	<i>porosità efficace</i>	<i>percentuale dei vuoti sul totale presenti nell'ammasso rifiuti in cui può essere contenuta acqua libera di circolare</i>	<i>influisce nel moto delle emissioni liquide e gassose nel corpo discarica</i>
	<i>capacità di campo</i>	<i>quantità di acqua che rimane quando tutta l'acqua gravitazionale è defluita</i>	<i>influisce sui processi di percolazione all'interno dell'ammasso di rifiuti, infatti nel caso di assenza di apporto idrico esterno è tale contenuto di acqua che garantisce un certo contenuto di umidità</i>
	<i>contenuto di umidità</i>	<i>volume di acqua presente nel volume di rifiuti abbancati</i>	<i>influisce sui processi di mineralizzazione dei rifiuti</i>

Tabella 5 (Dati relativi alla tipologia e alle caratteristiche dei rifiuti fonte APAT)

Le modalità di degradazione dei rifiuti cambiano in base al livello d'ossigeno e acqua che s'infiltra attraverso la superficie e che danno vita ai processi di idrolisi, acidogenesi, acetogenesi e metanogenesi già descritti nei precedenti paragrafi.

Per massimizzare la produzione del metano, bisogna isolare l'ammasso il prima possibile dall'ossigeno presente nell'aria. La divisione in lotti e la realizzazione di vasche idraulicamente indipendenti con una copertura idonea è la soluzione economicamente più vantaggiosa per arrivare all'obiettivo.

Conoscere tutti i parametri che si riferiscono alla geometria della discarica e alla caratterizzazione del rifiuto, invece, comportano la possibilità di calcolo dei tempi di degradazione della materia organica che compone l'ammasso e la dinamica dei flussi gassosi e dei sottoprocessi chimici che portano alla formazione oltre ai "principali" gas di discarica anche delle sostanze inquinanti presenti in tracce all'interno del LFG (Landfill, gas).

<i>dati</i>	<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>	
<i>chimico-fisici</i>	<i>concentrazioni nel biogas captato (per discariche controllate)</i>	<i>dati del biogas captato, campionato ed analizzato</i>	<i>costituiscono la concentrazione iniziale, quale sorgente secondaria</i>
	<i>peso molecolare</i>	<i>peso di una molecola</i>	<i>incide nella stima dei prodotti di combustione del biogas</i>
	<i>coefficienti di diffusione in aria</i>	<i>indica la tendenza del composto gassoso ad essere trasportato in atmosfera</i>	<i>influenza nel percorso di diffusione-disperione in atmosfera</i>
	<i>costante di Henry</i>	<i>rapporto tra la pressione parziale di un composto in aria per la sua concentrazione in acqua all'equilibrio</i>	<i>indica la ripartizione del gas tra fase liquida e fase gassosa</i>
	<i>viscosità del gas</i>	<i>esprime la resistenza interna della massa aeriforme</i>	<i>incide nei processi di diffusione</i>
	<i>costante di decadimento del primo ordine</i>	<i>indica la quantità di materia organica che si degrada nel percorso di migrazione laterale nel suolo insaturo superficiale</i>	<i>influisce sulla concentrazione nel percorso di migrazione laterale nel suolo insaturo superficiale</i>

Tabella 6 (Dati relativi alla caratterizzazione del biogas fonte APAT)

In tabella sei sono riportati i parametri necessari per conoscere le modalità di diffusione del gas di discarica attraverso la zona insatura del terreno e l'atmosfera. Conoscere questi valori permette l'applicazione delle leggi che governano quei meccanismi che portano il biogas fino al recettore e stabilire le quantità e i livelli con cui si può venire a contatto. Si sottolinea l'attenzione sul gas di discarica poiché la valutazione del rischio connesso a

questo fattore è l'argomento principale della tesi. Ricordo che la caratterizzazione del sito con queste tabelle generali redatte dall'APAT è valida per tutte le tipologie di analisi del rischio. La tabella in figura sette, pone l'accento sull'importanza di conoscere le caratteristiche della copertura che viene realizzata sul sito per stabilire, nel caso del biogas, la quantità di gas che sfugge dalle pareti laterali della discarica e dalla superficie che dipendono strettamente dal materiale utilizzato per realizzare la copertura e l'isolamento del rifiuto dal resto del terreno.

<i>dati</i>		<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>
<i>generali</i>	<i>superficie coperta della discarica</i>	<i>area provvista di copertura definitiva</i>	<i>incide sulla stima del flusso di emissioni incontrollate di biogas dalla superficie della discarica</i>
	<i>superficie scoperta della discarica</i>	<i>area sprovvista di copertura definitiva</i>	<i>incide sulla stima del flusso di emissioni incontrollate di biogas dalla superficie della discarica</i>
<i>comuni al generico strato</i>	<i>materiali</i>	<i>tipo di materiale, naturale (terreno, ghiaia, ecc) o artificiale</i>	<i>incidono nelle interazioni chimico-fisiche con i contaminanti che attraversano lo strato</i>
	<i>spessore</i>	<i>altezza dello strato</i>	<i>determina la lunghezza del percorso del contaminante nella barriera</i>
	<i>conducibilità idraulica</i>	<i>capacità di un dato spessore di lasciarsi attraversare dal liquido per unità di superficie</i>	<i>influisce sul moto di infiltrazione attraverso la barriera e quindi sul tempo di arrivo all'interno della zona non satura</i>
<i>specifici per lo strato minerale</i>	<i>densità</i>	<i>peso per unità di volume dello strato</i>	<i>incidono sul percorso del contaminante nella barriera</i>
	<i>contenuto di umidità</i>	<i>volume di acqua presente nell'unità di volume del materiale naturale</i>	<i>incide sui processi di infiltrazione delle emissioni liquide e di dispersione delle emissioni gassose</i>
	<i>dispersività longitudinale</i>	<i>indica la natura dispersiva del moto</i>	<i>influisce sul moto di infiltrazione del contaminante liquido</i>
	<i>fattore di ritardo</i>	<i>tiene conto di vari processi fisico-chimici di riduzione della quantità di contaminante</i>	<i>influisce sui fenomeni di attenuazione delle emissioni liquide e gassose della discarica</i>
	<i>coefficiente di decadimento del primo ordine</i>	<i>tiene conto di processi di biodegradazione</i>	<i>influisce sui fenomeni di attenuazione delle emissioni liquide e gassose della discarica</i>
<i>specifici per strato sintetico</i>	<i>densità dei difetti</i>	<i>quantità di microfori, fori e strappi presenti nell'unità di superficie</i>	<i>influisce sulle quantità di emissioni liquide che attraversano il materiale artificiale</i>
	<i>area dei difetti</i>	<i>superficie di microfori, fori e strappi presenti</i>	<i>influisce sulle quantità di emissioni liquide che attraversano il materiale artificiale</i>

Tabella 7 (Dati riguardanti la caratterizzazione delle barriere di rivestimento fonte APAT)

In tabella otto sono riportati, invece, tutti i sistemi di gestione del solo biogas. Il recupero energetico del metano è importante per l'aspetto economico che ne consegue. Dal punto di vista della valutazione del rischio comporta, invece, la sottrazione di gas proveniente dalla degradazione del rifiuto e la trasformazione e diffusione in atmosfera di sottoprodotti della combustione. Quindi, operativamente nel totale delle sostanze inquinanti provenienti da un sito di abbancamento rifiuti si vanno ad aggiungere particolari elementi chimici nocivi provenienti dalla combustione e l'esaltazione di emissioni di specie chimiche responsabili dell'effetto serra come l'anidride carbonica emessa in seguito alla valorizzazione energetica del gas combustibile.

<i>dati</i>	<i>definizioni</i>	<i>effetti</i>	
<i>pozzi e tubazioni</i>	<i>posizione e raggio di influenza</i>	<i>localizzazione all'interno del corpo discarica</i>	<i>influiscono sulla quantità di biogas captato</i>
	<i>caratteristiche geometriche</i>	<i>diametro, altezza, lunghezza, ecc</i>	<i>influiscono sulla quantità di biogas captato</i>
	<i>efficienza di captazione</i>	<i>rapporto percentuale tra biogas captato e biogas prodotto</i>	<i>influisce sulla quantità di biogas inviato a trattamento/recupero e sulla determinazione delle emissioni residue tra biogas prodotto e quello captato</i>
<i>impianto di combustione/trattamento e recupero</i>	<i>numero torce/motori</i>	<i>numero delle torce/motori presenti e/o utilizzate</i>	<i>influiscono sulla potenzialità del sistema di bruciare/trattare biogas</i>
	<i>date di inizio attività e dismissione</i>	<i>definiscono la durata di impiego delle torce/motori</i>	<i>influiscono sul funzionamento del sistema</i>
	<i>caratteristiche geometriche dl condotto di uscita dei fumi</i>	<i>diametro, altezza</i>	<i>influiscono nel determinare il punto di immissione nell'ambiente esterno</i>
	<i>portata biogas combusto /trattato</i>	<i>quantità di biogas che viene combusto/trattato</i>	<i>influisce nel determinare le emissioni residue tra il biogas captato e quello combusto/trattato</i>
	<i>capacità minima, massima e nominale</i>	<i>quantità minima, massima e nominale di biogas combusto/trattato</i>	<i>influiscono sulla potenzialità del sistema di bruciare/trattare biogas e quindi sulla determinazione delle emissioni residue</i>
	<i>temperatura di combustione</i>	<i>temperatura alla quale avvengono i processi di combustione/ trattamento</i>	<i>incide sulla formazione di alcuni gas presenti nelle emissioni</i>
	<i>rapporto aria/ combustibile</i>	<i>volume di aria fornito per la combustione in rapporto al volume unitario di combustibile</i>	<i>incide sulla formazione di alcuni gas presenti nelle emissioni</i>
	<i>efficienza di distruzione del gas nelle torce/motori</i>	<i>rapporto percentuale tra gas ante e post trattamento</i>	<i>influisce nel determinare le quantità di emissioni gassose, quali fumi di combustione</i>

Tabella 8 (Dati riguardanti la caratterizzazione del sistema di gestione del biogas fonte APAT)

La diffusione in atmosfera degli inquinanti è valutata dalle leggi di diffusione – dispersione dei gas attraverso il plume atmosferico. Calcolare questo “condotto” ideale che trasporta il gas ai recettori è possibile conoscendo i parametri meteorologici riassunti in tabella nove.

dati		definizioni	effetti
<i>parametri meteo-climatici</i>	<i>temperatura atmosferica</i>	<i>temperatura dell'aria</i>	<i>influisce sui fenomeni di diffusione e dispersione dei contaminanti</i>
	<i>gradiente termico verticale</i>	<i>variazione della temperatura in funzione della altezza</i>	<i>permette di valutare l'altezza della zona di miscelazione</i>
	<i>densità dell'aria</i>	<i>peso dell'unità di volume dell'aria</i>	<i>influisce sul moto di diffusione e dispersione dei contaminanti</i>
	<i>direzione e velocità del vento</i>	<i>in funzione della direzione si riportano anche i dati di velocità</i>	<i>influiscono sul moto di diffusione e dispersione dei contaminanti e sui tempi di arrivo al recettore</i>
	<i>classi di stabilità di Pasquill</i>	<i>indicano le condizioni atmosferiche di stabilità o instabilità</i>	<i>influiscono sul moto di diffusione e dispersione dei contaminanti, sulle quantità e sui tempi di arrivo al recettore</i>
<i>parametri diffusivi</i>	<i>altezza della zona di miscelazione</i>	<i>porzione di atmosfera a diretto contatto con la superficie terrestre, nel cui interno avvengono intensi fenomeni di rimescolamento convettivo</i>	<i>influisce nei fenomeni di diffusione e dispersione dei contaminanti incidendo sulle condizioni di stabilità</i>
	<i>coefficienti di dispersione trasversale e verticale</i>	<i>quantificano i fenomeni diffusivi</i>	<i>influisce nei fenomeni di diffusione e dispersione dei contaminanti</i>
<i>parametri geometrici</i>	<i>estensione della discarica nella direzione prevalente del vento</i>	<i>dimensione lineare della discarica nella direzione prevalente del vento</i>	<i>influisce sulla determinazione del plume di contaminante</i>
	<i>estensione della discarica nella direzione ortogonale a quella prevalente del vento</i>	<i>dimensione lineare della discarica nella direzione ortogonale a quella prevalente del vento</i>	<i>influisce sulla determinazione del plume di contaminante</i>
	<i>area della discarica</i>	<i>superficie esposta della discarica nella direzione prevalente del vento</i>	<i>influisce sulla determinazione del plume di contaminante</i>
<i>altri parametri</i>	<i>tempo medio di durata dei flussi di vapore</i>	<i>misura la durata di esposizione ai flussi di vapore</i>	<i>influenza la stima dell'esposizione alle specie gassose emesse dalla discarica</i>
	<i>portata di particolato emessa per unità di superficie</i>	<i>indica la quantità di polveri emesse per unità di superficie e di tempo</i>	<i>influenza la stima dell'esposizione alle specie gassose emesse dalla discarica</i>

Tabella 9 (Dati riguardanti la caratterizzazione della dispersione atmosferica fonte APAT)

Solo così si può costruire una rosa dei venti che permette di arrivare a calcolare i livelli di gas a livello zero (livello del suolo) su tutta la superficie intorno alla sorgente che immette nell'aria tali sostanze.

Volutamente ho ommesso nell'esposizione del problema, nonostante il livello ancora generale della trattazione, per la caratterizzazione del sito di discarica, le tabelle relative alla gestione del percolato e dell'acquifero. Conoscere i valori e gli aspetti fisico chimici e idrogeologici dell'acquifero, interessa infatti, maggiormente coloro che vogliono intraprendere una valutazione del rischio connesso allo sversamento in falda d'inquinanti e alle conseguenze sulla salute umana che questo comporta. Per focalizzare il problema sulla gestione del rischio sul gas di discarica, ricordo che la gestione e la caratterizzazione del percolato interessa parzialmente solo per conoscere i livelli di biogas prodotto poiché l'umidità dei rifiuti, la presenza di sistemi di ricircolo e il battente idraulico dello stesso influisce su processi di degradazione dell'ammasso. Gli ultimi parametri necessari per la caratterizzazione completa del problema e la soluzione di qualsiasi valutazione relativa al rischio ambientale per quanto riguarda la conoscenza del sito di discarica, riguardano la caratterizzazione della zona insatura del terreno intorno, elenco i parametri principali necessari alla valutazione del rischio connesso al gas:

- soggiacenza della falda;
- porosità efficace del terreno;
- spessore della zona insatura;
- granulometria;

La conoscenza dei dati riassunti nelle precedenti tabelle sono necessari per l'utilizzo dei programmi creati per questo tipo di analisi. In accordo con la procedura RBCA si riesce a stabilire i livelli d'inquinanti ai recettori. Qui sono necessari altre procedure e altri dati per stabilire le reazioni umane all'esposizione alla sostanza nociva e le quantità che in diverse modalità entrano nel proprio ciclo biologico.

2.1.4 I principali software utilizzati nella modellizzazione delle discariche

LandSim: è un software sviluppato dalla Golder Associates su commissione dell' "Environmental Agency" inglese nel 1996. Serve per modellizzare e simulare la produzione di percolato da parte di una discarica e la migrazione attraverso le barriere contenitive fino all'arrivo in falda nella quale avviene la diluizione e il trasporto verso i recettori.

Utilizza il metodo Monte Carlo per scegliere in maniera casuale dei valori fra quelli possibili delle distribuzioni di probabilità che accetta in ingresso. LandSim consente ad operatori e legislatori in materia di discarica di considerare il rendimento ambientale di diverse barriere di fondo-discarica e sistemi di raccolta del percolato, attraverso l'analisi di diversi regimi geologici e idrogeologici.

Il LandSim fornisce output di tipo idraulico (battente del percolato, flussi e perdite nell'impianto di trattamento del percolato, eventuali tracimazioni, diluizione e flusso nell'acquifero), chimico (Concentrazioni di inquinante dalla sorgente all'acquifero) e del tempo di trasporto dell'inquinante al bersaglio.

GasSim: è il software che modella e simula il trasporto in atmosfera degli inquinanti che costituiscono il gas di discarica fino ai recettori. Al suo utilizzo è dedicato l'intero capitolo tre di questa tesi. Il software è stato sviluppato dalla Golder Associates su commissione dell' "Environmental Agency" nel 2002 e da allora sta diventando un punto di riferimento per la trattazione di questo tipo di problematiche.

Il modello concettuale del codice GasSim: il programma presenta una struttura modulare, ogni modulo interagisce con il precedente ed il successivo tramite uno scambio di dati e risultati. Le varie iterazioni fra i moduli sono visibili in figura uno. Il limite di tale schematizzazione consiste nell'evidenza che per avviare la simulazione di un modulo dipendente da un altro si debba per forza simulare il modulo che nella cascata risulta precedente.

Il modello della discarica è suddiviso in:

- Modulo sorgente
- Modulo delle emissioni
- Modulo della dispersione atmosferica

- Modulo della migrazione laterale
- Modulo dell'esposizione umana

Ogni modulo ha dei parametri in ingresso e fornisce dei risultati in uscita. Per il modulo sorgente, i parametri in ingresso sono: la quantità, tipologia e le modalità di abbancamento temporali dei rifiuti.

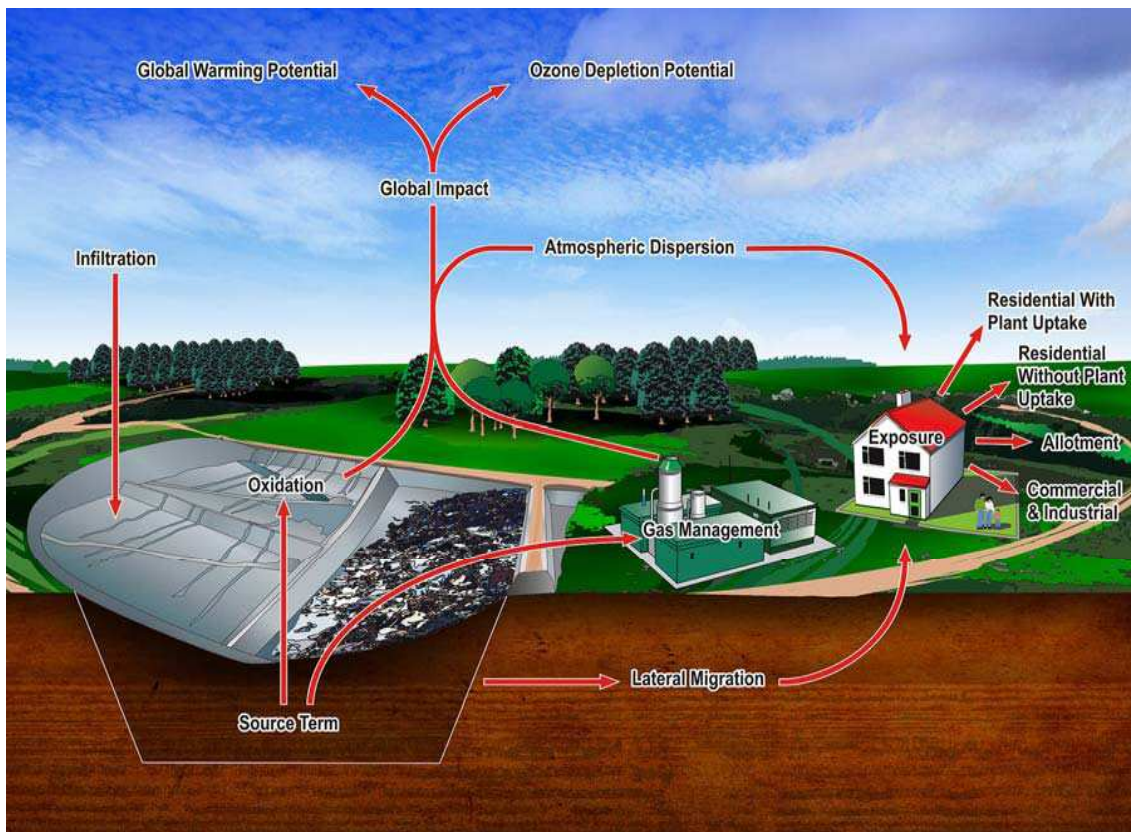


Figura 1 (Il modello concettuale del GasSim da manuale GasSim)

Il rifiuto subisce una degradazione che nel tempo comporta l'emissione del gas di discarica (LFG, landfill gas), tali emissioni sono simulate dal "modulo delle emissioni" che utilizzando parametri fisici e chimici della composizione del rifiuto e parametri fisici sulle caratteristiche del sito di discarica (infiltrazione, copertura, etc.) calcola la quantità di gas prodotto negli anni di simulazione (tempo di funzionamento della discarica e anni successivi alla chiusura).

Il gas totale sfuggendo dalla superficie della discarica e dalle aperture della copertura laterale finisce in atmosfera o migra attraverso la geosfera ai bersagli. E' compito dei moduli "migrazione laterale" e "dispersione atmosferica" calcolare, in base ai dati meteo a

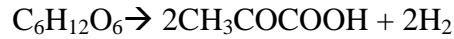
disposizione, alle caratteristiche del terreno intorno al complesso progettato, le quantità degli inquinanti contenuti nel gas che arrivano alle varie distanze dal termine sorgente. I moduli “impatto globale” ed “esposizione umana” riassumono i risultati necessari per un’analisi di rischio. Riportano rispettivamente il “peso” che l’opera ha nei confronti dell’inquinamento su scala globale, in termini di riduzione della fascia d’ozono e dell’effetto serra, e il rateo dell’esposizione ai vari inquinanti contenuti nel gas che sono assunti quotidianamente dagli abitanti nei pressi del sito di discarica. Il tutto utilizzando il principio cautelativo del “*worst case*”. Il modello di dispersione dei gas prevede anche la presenza di eventuali dispositivi per il recupero energetico del gas proveniente dall’ossidazione anaerobica dei rifiuti. La trasformazione energetica mediante combustione comporta reazioni chimiche che cambiano le quantità e le tipologie di specie chimiche presenti nella totalità dei sottoprodotti gassosi provenienti dal sito di abbancamento rifiuti. Il risultato è un software capace di modellare il rischio dell’esposizione umana, ai principali gas di discarica e alle tracce dei gas prodotti da questo tipo di attività, considerando le “strade” con le quali arrivano fino ai recettori. Il capitolo tre è dedicato ad un’analisi esaustiva del funzionamento e l’uso del GasSim, per completezza riporto le principali reazioni ossidative simulate dal software e le capacità di calcolo del programma (vedi capitolo 3 per maggiori dettagli).

Le principali reazioni di ossidazione considerate nel modulo sorgente :le principali reazioni considerate dal software e che portano alla produzione del gas di discarica sono dovute principalmente al carbonio totale presente all’interno dell’ammasso di rifiuti, che ossidandosi con il passare del tempo produce principalmente metano e anidride carbonica. Il GasSim modella anche 102 gas prodotti in tracce dai processi ossidativi che avvengono all’interno dell’ammasso di rifiuti. Per ragioni di spazio riporto le principali reazioni chimiche e i processi considerati dal software e che risulteranno utili per comprendere il funzionamento descritto nel successivo capitolo. Con l’idrolisi le molecole organiche complesse contenute nei rifiuti vengono scisse in molecole più semplici: monosaccaridi, acidi grassi e amminoacidi che subiscono i seguenti processi di degradazione:

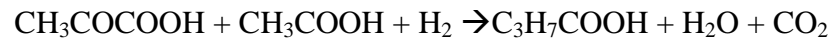
Acidogenesi: Processo biochimico aerobico, nel quale i batteri degradano la materia organica presente nel rifiuto e che portano alla formazione di acido acetico, acido piruvico e butirrico come sottoprodotti della degradazione che ne consegue. Il successivo passo di degradazione è l’acetogenesi.



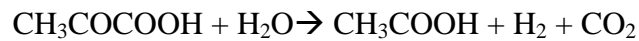
Glucosio *acido acetico*



Glucosio *acido piruvico*

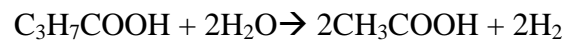


Acido piruvico *acido acetico* *acido butirrico*



Acido piruvico *acido acetico*

Acetogenesi: Processo anaerobico ad opera di batteri che trasformano l'acido butirrico e l'acido piruvico principalmente in acido acetico, il successivo passo e la metano genesi.

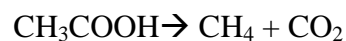


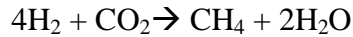
Acido butirrico *acido acetico*



Acido propanoico *acido acetico*

Metanogenesi: Processo di degradazione della materia organica da parte di batteri metanogeni che utilizzano l'acido acetico e il biossido di carbonio come accettore finale di elettroni secondo le relazioni riportate di seguito. La degradazione metanogenica del rifiuto avviene in assenza di ossigeno una volta eseguita la copertura della discarica.

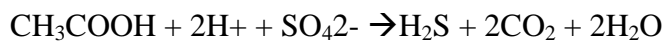
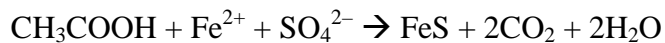




Ossidazione biologica del metano: Processo secondario da parte dei batteri metanotrofi che ossidano il metano secondo le seguenti reazioni.



Produzione di solfuro d'idrogeno: Processo secondario che partendo dal solfato di calcio, ferro e carboni presente nel rifiuto produce solfuro d'idrogeno.



Le “capacità” di calcolo del GasSim :il GasSim è in grado di calcolare e considerare nella simulazione:

- L'umidità presente all'interno dell'ammasso di rifiuti all'interno della discarica provocato dall'infiltrazione efficace e da eventuali impianti di ricircolo del percolato;
- Il Gas prodotto dall'abbancamento dei rifiuti negli anni, sia in traccia e sia i principali gas di discarica (CO_2 , CH_4 e H_2);
- Calcolare il Gas prodotto sia in tracce e sia in grandi quantità dagli organi di recupero energetico del LFG (landfill gas);
- Simulare l'ossidazione biologica del metano
- Calcolare la migrazione laterale del gas attraverso la zona insatura della geosfera;
- Determinare lo stress potenziale della vegetazione adiacente all'impianto di discarica;
- Calcolare la dispersione atmosferica del gas proveniente dalla torcia, dal motore o dalla superficie della discarica;
- Calcolare la diffusione degli odori e verificarne l'impatto sulla qualità dell'aria;

- Simulare la produzione di solfuro d'idrogeno partendo dal solfato di calcio, carbonio e ferro depositato all'interno dell'ammasso;
- Stimare la quantità dei maggiori inquinanti introdotti in atmosfera;
- Calcolare l'impatto globale dell'opera nei confronti del riscaldamento terrestre e della riduzione della fascia d'ozono;
- Stimare la quantità d'inquinante assunta giornalmente dal recettore/umano più sensibile tramite ingestione, inalazione e contatto dermico;
- Calcolare i livelli d'inquinamento alle varie distanze dalle sorgenti;

2.2 La gestione del Rischio calcolato

La modellistica che ci accingiamo a trattare prende in carico i risultati forniti dal MCS specifico di discarica e li elabora ai fini della caratterizzazione del rischio ed è composta anch'essa di quei processi che abbiamo affrontato per la modellistica riguardante la discarica (intendendo con ciò l'analisi delle tre componenti sorgente-trasporto-bersaglio), sono ora applicati assumendo come sorgente i bersagli della modellistica di discarica, e come bersagli fanno ora la loro comparsa gli esseri umani. Il meccanismo applicato è lo stesso che abbiamo affrontato nei paragrafi precedenti per cui affronteremo nei rimanenti paragrafi quella parte che non è affrontata dalla modellistica di discarica: la valutazione dell'esposizione ai contaminanti.

La valutazione dell'esposizione procede solitamente nelle seguenti fasi:

- identificazione degli scenari di esposizione (ingestione acqua contaminata, inalazione gas, ecc.);
- caratterizzazione dei parametri occorrenti (proprietà e concentrazioni dei contaminanti, caratteristiche generali fisiche del sito e caratteristiche della popolazione);
- quantificazione dell'esposizione.

Nei paragrafi che si riferiscono alla caratterizzazione del bersaglio "uomo" sono stati illustrati gli scenari di esposizione in riferimento alla contaminazione da percolato e da biogas e, per ognuno di essi, sono stati definiti i relativi percorsi di migrazione e le vie di esposizione necessari alla valutazione dell'esposizione.

2.2.1 Calcolo della portata di esposizione

L'esposizione rappresenta l'assunzione cronica giornaliera della sostanza contaminante. Questo fattore è dato dal prodotto tra la concentrazione, calcolata in corrispondenza del punto di esposizione CPOE (espressa in mg/l), e la portata effettiva di esposizione EM (espressa in l/kg·d), che può rappresentare la quantità di suolo ingerita, di aria inalata o di acqua contaminata bevuta al giorno per unità di peso corporeo:

$$E = \text{CPOE} \cdot \text{EM} \quad (1.0)$$

La valutazione della portata effettiva di esposizione EM si traduce nella stima della dose giornaliera, che può essere assunta dai recettori umani identificati nel modello concettuale, della matrice ambientale considerata.

La stima della portata effettiva di esposizione EM ha, generalmente, carattere conservativo secondo il principio dell'esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia "Reasonable Maximum Exposure"). L'RME rappresenta il valore che produce il più alto grado di esposizione atteso nel sito. Ogni RME è specifico del percorso di esposizione e per comprendere il vero significato di RME è necessario conoscere i concetti di limite superiore e inferiore. Tali limiti rappresentano, rispettivamente, il valore maggiore o minore riferito ad una via espositiva, quindi, nel caso in cui il parametro in questione sia direttamente proporzionale all'esposizione, l'RME coinciderà con il limite superiore, altrimenti con il limite inferiore. Il motivo per cui è utilizzato il RME è quello di trovare un valore che, pur rispettando un caso conservativo, non sia al di fuori del possibile intervallo di variazione dei fattori espositivi.

L'equazione generica per il calcolo della portata effettiva di esposizione EM (espressa in mg/kg d) è la seguente:

$$EM = \frac{CR \cdot EF \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (1.1)$$

- CR è il fattore di contatto, ovvero la quantità di ciascun mezzo ambientale ingerito, inalato o con cui si è venuti a contatto per unità di tempo o evento.
Viene espresso in m³/d per l'acqua e l'aria e in mg/d per il suolo;

- EF è la frequenza di esposizione, misurata solitamente in giorni/anno;
- ED è la durata dell'esposizione, espressa in anni;
- BW è il peso corporeo durante il periodo di esposizione, espresso in kg;
- AT è il tempo medio di esposizione di un individuo ad una sostanza, espresso in giorni.

In particolare, nella determinazione del parametro AT per le sostanze cancerogene, l'esposizione è calcolata sulla durata media della vita ($AT = 70$ anni), mentre per quelle non cancerogene è mediata sull'effettivo periodo di esposizione ($AT = ED$). Ne consegue che il rischio per sostanze cancerogene è relativo non al periodo di tempo della diretta esposizione, bensì a tutto l'arco della vita.

2.2.2 La caratterizzazione del Rischio

La caratterizzazione del rischio costituisce la fase finale del processo di analisi di rischio, dal momento che essa provvede a:

- rielaborare, allo stesso tempo, le informazioni ottenute dalla caratterizzazione degli elementi del MCS della discarica e dalla valutazione dell'esposizione;
- descrivere il rischio per le matrici ambientali e per la popolazione in termini di natura, durata ed entità dei potenziali effetti dannosi identificati;
- comunicare i risultati della valutazione del rischio agli enti di programmazione e controllo, progettisti e gestori della discarica;
- fornire una chiave d'informazione al pubblico per la comunicazione del rischio individuato per la discarica specifica.

Mentre le prime due fasi costituiscono la caratterizzazione vera e propria del rischio, determinando l'esito della procedura applicata sulla discarica, gli ultimi due prevedono conclusa la fase di analisi di rischio e sono propedeutiche alla gestione del rischio identificato.

Come già evidenziato nei precedenti paragrafi la procedura di analisi di rischio assoluta può avere un duplice obiettivo finale: stimare quantitativamente il rischio per la salute umana connesso ad uno specifico sito, in termini di valutazione delle conseguenze legate

alla sua situazione qualitativa, ed individuare dei valori di concentrazione accettabili nel suolo, nella falda e in atmosfera vincolati alle condizioni specifiche del singolo sito.

Si ritiene opportuno ricordare i principi fondamentali su cui si basa la procedura suddetta, validi in caso di applicazione sia della modalità diretta che inversa:

- principio del caso peggiore che riguarda in generale tutte le fasi di applicazione della procedura d'analisi assoluta di rischio e deve sempre guidare la scelta tra alternative possibili;
- principio dell'esposizione massima ragionevolmente possibile (RME, ossia 'Reasonable Maximum Exposure'), che prevede in relazione ai parametri di esposizione l'assunzione di valori ragionevolmente conservativi al fine di pervenire a risultati cautelativi per la tutela della salute umana.

Inoltre, l'analisi di rischio assoluta è rivolta alla valutazione dei rischi cronici o a lungo termine associati ai siti contaminati, piuttosto che rischi in condizioni di esposizione acuta. Nei successivi paragrafi sono descritti i criteri per il calcolo del rischio, secondo l'applicazione del metodo diretto, e i criteri di accettabilità del rischio. Tali criteri sono ripresi conformemente a quanto indicato nella procedura di analisi di rischio assoluta applicata ai siti contaminati [APAT, "Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi di rischio assoluta ai siti contaminati" 2055], poiché una volta valutata l'esposizione al bersaglio, il procedimento di calcolo del rischio per le discariche è analogo a quello generico dei siti contaminati.

2.2.3 Il calcolo del Rischio e condizioni di accettabilità

Il rischio, generalmente, viene definito come il prodotto della probabilità di accadimento di un evento dannoso per l'entità del danno provocato dall'evento stesso.

Nel caso di siti inquinati, la probabilità di accadimento dell'evento è conclamata e pari a 1, mentre l'entità del danno è costituita dal prodotto tra il fattore di pericolosità e il fattore di contatto. La pericolosità è data dalla tossicità dell'inquinante T (espressa in $1/(mg/kg-d)$) ed il fattore di contatto è espresso in funzione della portata effettiva di esposizione E

(espressa in mg/kg·d), per cui il rischio (R) derivante da un sito contaminato è dato dalla seguente espressione generale:

$$R = E \cdot T \quad (1.2)$$

Al fine di decidere se esistano o no condizioni in grado di causare effetti sanitari nocivi, il valore di R è confrontato con i criteri di accettabilità individuali e cumulativi del rischio sanitario.

Nel termine di esposizione (E) che si tiene conto delle probabilità che si verifichi l'evento dannoso. Nella valutazione della portata effettiva di esposizione, o esposizione (EM) si considerano le possibilità di accadimento di determinati scenari di esposizione con relative modalità, mentre nel termine di concentrazione al punto di esposizione (CPOE) vengono valutate le incertezze di tutte le variabili in gioco nel MCS della discarica, in primo luogo del parametro di concentrazione rappresentativa alla sorgente.

Calcolo della dose massima assunta giornalmente: una volta ottenuti i dati di concentrazione in prossimità del ricettore finale occorre passare alla stima del rischio, ovviamente tenendo conto dell'esposizione del ricettore a tale concentrazione.

In altre parole, occorre conoscere, sulla base:

- della concentrazione stimata dal modello (o dai modelli) presso il ricettore,
- dell'esposizione del ricettore considerato a tale concentrazione,

la dose massima assunta giornalmente (MDI "Maximun Daily Intake") da un recettore umano presente nel sito in esame. A questo proposito, per ogni via di esposizione considerata sono utilizzate formule validate a livello internazionale.

Qui di seguito, a titolo esemplificativo è proposta la formula relativa al calcolo dell'MDI per l'inalazione indoor di vapori provenienti dal suolo.

$$MDI = \frac{V_{si} \times B_i \times EF}{BW \times 365} \quad (1.4)$$

1. MDI: Dose massima giornaliera (mg/kg/giorno)
2. B_i : Tasso di inalazione indoor (m³/giorno)
3. EF : Frequenza di esposizione (giorni)
4. BW : Peso corporeo (kg)

5. V_{si} : Concentrazione di vapori indoor dal suolo (mg/m^3) – valore di output del modello utilizzato.

Calcolo del rischio per sostanze non cancerogene: Sulla base della dose massima assunta giornalmente possiamo calcolare il rischio per le sostanze non cancerogene che viene espresso come HI (“Hazard Index”):

$$HI = MDI / TDI \quad (1.5)$$

- MDI: dose massima assunta giornalmente (“Maximun Daily Intake”) da un recettore umano presente in sito
- TDI: costituisce il parametro tossicologico per le sostanze non cancerogene e sta per dose tollerabile giornaliera (“Tolerable Daily Intake” indicato anche con la sigla RfD Reference Dose ed espresso in $\text{mg}/\text{kg}/\text{giorno}$ v. doc. 1).

In particolare, RfD è ricavato partendo dal parametro sperimentale NOAEL (No Observable Adverse Effect Level, ossia "dose che non comporta alcun effetto avverso osservabile") e riducendo questo di un ordine di grandezza (ossia 10) per ognuno dei fattori d'incertezza di seguito elencati:

1. Variabilità nella popolazione, per tener conto di sub-popolazioni sensibili
2. Variabilità nell'estrapolazione dai risultati della sperimentazione animale all'uomo
3. Stima del NOAEL cronico da studi sub-cronici
4. Stima del NOAEL dal LOAEL (Lowest Observed Adverse Effect Level, ossia "dose minima che comporta un effetto avverso osservato").

Pertanto, il valore della dose di riferimento (RfD) che entra nel calcolo del rischio non cancerogeno è ridotto grandemente per l'introduzione di questi fattori d'incertezza, e determina una stima del rischio notevolmente conservativa. A livello internazionale, si è assunto come livello massimo di rischio accettabile per le sostanze non cancerogene la condizione in cui $HI = 1$.

Questo valore significa che l'assunzione massima giornaliera di contaminante (MDI) è pari a quella tollerabile (TDI), che è stabilita dagli organismi internazionali di salvaguardia della salute umana.

Ovviamente, nel caso in cui si verifichi la presenza di più sostanze occorrerà verificare che la sommatoria di tutti gli HI relativi ad ogni sostanza sia inferiore a uno. Tale condizione ($HI = 1$) è quella indicata:

1. dal Manuale APAT;
2. dall'allegato 1 Criteri generali per l'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica al Titolo V del decreto legislativo n. 152/06 Norme in materia ambientale.

Calcolo del rischio per sostanze cancerogene: Per le sostanze cancerogene il rischio rappresenta la probabilità di assumere forme di cancro nel corso della durata di una vita e viene calcolato, in termini di "Rischio", tramite la relazione:

$$\text{Rischio} = \text{CDI} * \text{Sf} \quad (1.6)$$

CDI: Dose cronica assunta giornalmente ("Chronical Daily Intake") da un recettore umano presente in sito. Tale valore viene ricavato dal MDI (v. par. precedente): ad esempio, per lo scenario industriale si utilizza la formula $\text{CDI} = (\text{MDI} * \text{ED}) / \text{AT}$

Dove: ED = durata dell'esposizione (anni); AT = durata media della vita (anni). Si evince, pertanto, che per le sostanze cancerogene l'esposizione è calcolata sulla durata media della vita (70 anni), mentre per quelle non cancerogene è mediata sull'effettivo periodo di esposizione (ED=AT). Ne consegue che il rischio per sostanze cancerogene è relativo non al periodo di tempo della diretta esposizione, bensì a tutto l'arco della vita.

Sf: "Slope Factor" o fattore di pendenza (mg/kg/giorno)⁻¹: costituisce il parametro tossicologico per le sostanze cancerogene e rappresenta il coefficiente angolare della retta che interpola, nella zona delle basse dosi, i risultati derivanti dai test effettuati in laboratorio.

In sostanza, il numero calcolato finale che rappresenta il Rischio dovuto alle sostanze cancerogene è espresso come la probabilità che un individuo contragga il cancro in seguito ad un'esposizione cronica alla sostanza considerata.

A livello internazionale, esistono tre fasce di giudizio riguardante il rischio carcinogenico, derivate da valori forniti in letteratura per casi reali di applicazione dell'analisi di rischio. In particolare, per valori di:

- Rischio $< 10^{-6}$: il rischio viene giudicato tollerabile e quindi non viene richiesta alcuna azione (il rischio incrementale è per un individuo su un 1.000.000 ovvero la probabilità che un individuo contragga il cancro è di una su un milione);
- Rischio compreso tra 10^{-4} e 10^{-6} : sono necessarie specifiche valutazioni al fine di giudicare la necessità e la tipologia di interventi sul sito (rischio incrementale da $1/1.000.000$ a $1/10.000$);
- Rischio $> 10^{-4}$: il rischio non è considerato tollerabile e occorre intervenire con un azione di bonifica al fine di riportare il valore di rischio entro l'intervallo di accettabilità. L'intervento in particolare può essere focalizzato sulle sorgenti (ad es.: rimozione, attenuazione) e/o sui percorsi (ad es.: interruzione, minimizzazione) e/o sui bersagli (ad es.: allontanamento, monitoraggio).

La condizione operativa per la gestione del rischio e ripresa anche nel manuale APAT e riportata di seguito:

- INDIVIDUALE debba essere INFERIORE O UGUALE A 10^{-6} ;
- CUMULATIVO debba essere INFERIORE O UGUALE A 10^{-5} .

Nell'allegato 1 Criteri generali per l'analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica al Titolo V del decreto legislativo n. 152/06 si "propone 1×10^{-5} come valore di rischio incrementale accettabile nel corso della vita come obiettivo di bonifica nei riguardi delle sostanze cancerogene."

2.3 Calcolo del rischio dovuto a più vie d'esposizione e caratterizzazione del recettore umano.

Prima di analizzare il software utilizzato per la valutazione del rischio connesso al gas di scarica bisogna caratterizzare ancora il bersaglio umano e specificare i parametri necessari per conoscere i livelli delle sostanze, cancerogene e non cancerogene, che finiscono nell'organismo per valutare il superamento delle "quote" di guardia.

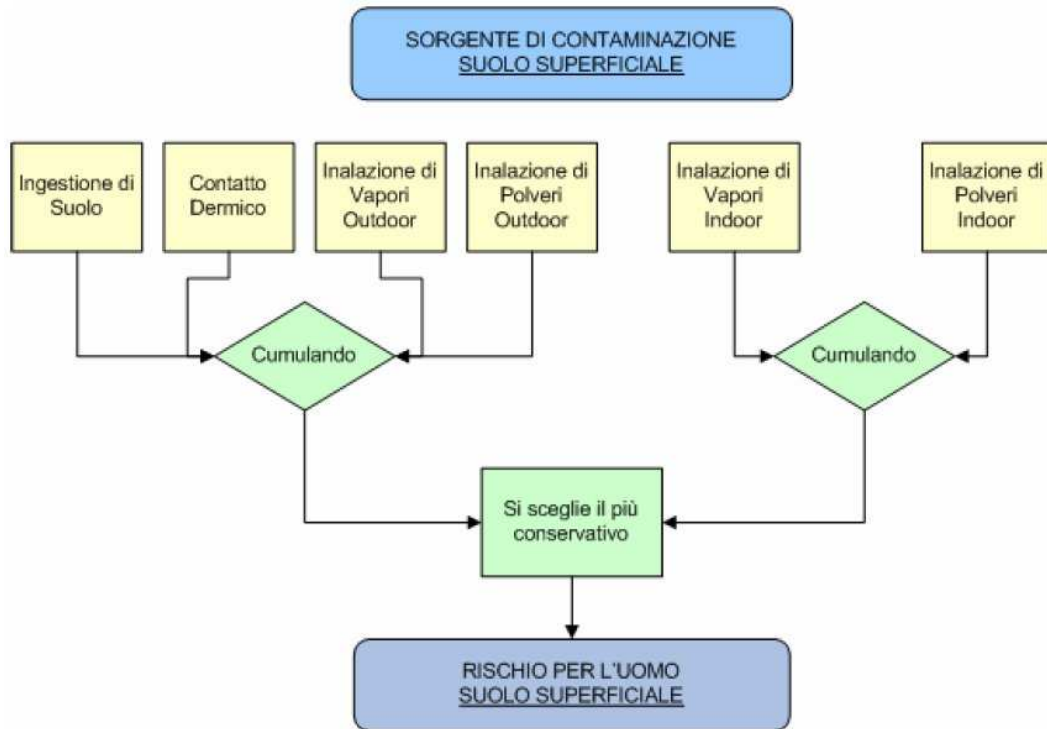


Figura 2 (Metodo di valutazione dei livelli nell'organismo fonte APAT)

In figura due è riportato un diagramma che riassume il metodo utilizzato per valutare tutte le possibili vie d'esposizione a cui un organismo è soggetto. Per conoscere il valore cumulativo si sommano tutti i valori calcolati, con i metodi già descritti nei precedenti paragrafi, è valutare quale fra le tipologie di persone esposte è la più sensibile al bioaccumulo delle sostanze nocive. Questo in accordo con il principio del "worst case". Per questi recettori umani, si controlla il non superamento dei parametri. In linea generale, per quanto riguarda il biogas da discarica, le principali vie d'esposizione sono l'inalazione (in casa, sul luogo di lavoro o fuori casa), l'ingestione con l'alimentazione e il contatto dermico. Sono necessari, quindi, parametri riguardanti la tecnologia costruttiva dell'abitazione/industria (per conoscere i livelli d'inquinanti che entrano nell'aria respirata), dati relativi alle abitudini alimentari (valori mediati sull'intera popolazione per conoscere la quantità, tipologia di frutta e verdura ingerita), valori di peso, altezza, superficie della pelle esposta e tempi di permanenza dei soggetti "in-door" e "out-door". Sono parametri aleatori descrivibili tramite funzioni di distribuzione di probabilità più idonee, che sono desunti da un'analisi condotta sull'intera popolazione di uno Stato, per rilevare qual è il soggetto più debole all'esposizione e le sue caratteristiche fisiche, comportamentali e le abitudini di vita. La complessità dell'argomento non permette una trattazione generale che entri maggiormente nel dettaglio. Ci si limita a riportare una

tabella riassuntiva dei principali dati richiesti per caratterizzare il problema per quanto riguarda l'esposizione al biogas e riserva una trattazione specifica delle modalità operative utilizzate dal GasSim per affrontare l'argomento della sistematizzazione del recettore umano stabilito dal ministero della salute inglese.

Fattore d'esposizione	Simbolo	Unità di misura	Residenziale		Ricreativo		Com/Ind
			adulto	bambino	adulto	bambino	adulto
Fattori comuni a tutte le modalità d'esposizione							
Peso corporeo	BW	Kg	70	15	70	15	70
Tempo medio d'esposizione alle sostanze cancerogene	ATc	anni	70	70	70	70	70
Tempo medio d'esposizione alle sostanze non cancerogene	AT	anni	ED	ED	ED	ED	ED
Inalazione di aria indoor							
Durata d'esposizione	ED	anni	24	6	/	/	25
Frequenza d'esposizione	EF	g/anno	350	350	/	/	250
Frequenza giornaliera d'esposizione indoor	EFgi	ore/g	24	24	/	/	8
Inalazione Indoor	Bi	m ³ /h	0,9	0,7	/	/	0,9
Inalazione di aria outdoor							
Durata d'esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza d'esposizione	EF	g/anno	350	350	350	350	250
Frequenza giornaliera d'esposizione outdoor	EFgo	ore/g	24	24	3	3	8
Inalazione outdoor	Bo	m ³ /h	0,9	0,7	3,2	1,9	2,5
Contatto dermico con suolo							
Durata d'esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza d'esposizione	EF	g/anno	350	350	350	350	250
Superficie di pelle esposta	SA	cm ²	5700	2800	5700	2800	3300
Ingestione di suolo							
Durata d'esposizione	ED	anni	24	6	24	6	25
Frequenza d'esposizione	EF	g/anno	350	350	350	350	250
Frazione di suolo ingerita	Fi	Adm.	1	1	1	1	1
Tasso d'ingestione suolo	IR	mg/g	100	200	100	200	50

Tabella 10 (Principali parametri utilizzati, estratta e adattata alla trattazione del biogas dal manuale APAT)

3 Il software GasSim analisi del codice

3.1 Presentazione del programma

Il software GasSim nasce da un progetto finanziato dal governo inglese e sviluppato dall'Environment Agency in Inghilterra per analizzare l'impatto ambientale causato dal conferimento dei rifiuti in discarica. Lo scopo del progetto è di studiare gli effetti del gas prodotto dall'abbancamento dei rifiuti in modo da avere, sia un valido supporto per quantificare il rischio sulla salute umana delle persone direttamente esposte a questo tipo di attività e sia di poter conoscere i valori di emissioni gassose direttamente responsabili dell'effetto serra, della riduzione della fascia d'ozono, dello stress della vegetazione e dell'inquinamento in generale.

La possibilità di poter effettuare delle simulazioni sull'andamento temporale delle emissioni gassose, conoscendo i parametri caratteristici della discarica e i parametri temporali di conferimento dei rifiuti, dà la possibilità, a chi utilizza il software, di poter rispondere a diverse domande sulla fattibilità di un progetto quali:

1. se si superano i parametri previsti dal proprio ordinamento legislativo in materia di emissioni di determinati gas;
2. il peso che l'opera ha sulle emissioni dei gas serra (protocollo di Kyoto);
3. in che misura è possibile installare organi per il recupero energetico del metano da digestione anaerobica e le emissioni degli stessi;

L'esigenza di questa guida nasce per far fronte ad alcune lacune presenti nel manuale fornito con l'applicativo e per superare alcuni inconvenienti tecnici che l'utente italiano può affrontare durante l'utilizzo del programma, dovuti in larga parte all'evidenza che il software è stato sviluppato per la realtà inglese e in seguito adattato per altri tipi di mercato.

Si sottolineeranno tutti gli aspetti riguardanti l'organizzazione, le schermate, l'immissione dei dati e si accennerà o tralascieranno del tutto aspetti meramente più tecnici come: metodo di simulazione, algoritmi matematici utilizzati, normative ambientali, per l'approfondimento dei quali si rimanda al capitolo sei del più completo manuale in inglese fornito con l'acquisto del software.

Per completezza il sistema operativo richiesto per l'installazione del GasSim è Windows Xp professional service pack 2, ma è stato testato anche sul più recente Windows Vista e i requisiti minimi per l'installazione sono: Pentium 4, almeno 512 Mb di Ram e 2 Gb liberi sull'hard disk. Il software è commercializzato dalla britannica Golder Associates, ottimizzato per la risoluzione video 1024x768 e scritto in Visual Basic e C++.

3.2 La schermata principale.

Prima di iniziare è necessario cambiare le “*opzioni internazionali e della lingua*” del proprio computer da italiano in inglese. Seguendo questa procedura: start→pannello di controllo→opzioni internazionali e della lingua, selezionando appunto inglese. In questo modo imposteremo il GasSim alla corretta gestione del separatore decimale evitando errori di calcolo in fase di simulazione.

Una volta installato e avviato il programma che risulterà copiato nella sottocartella GasSim2 della cartella programmi apparirà la schermata iniziale di figura uno.

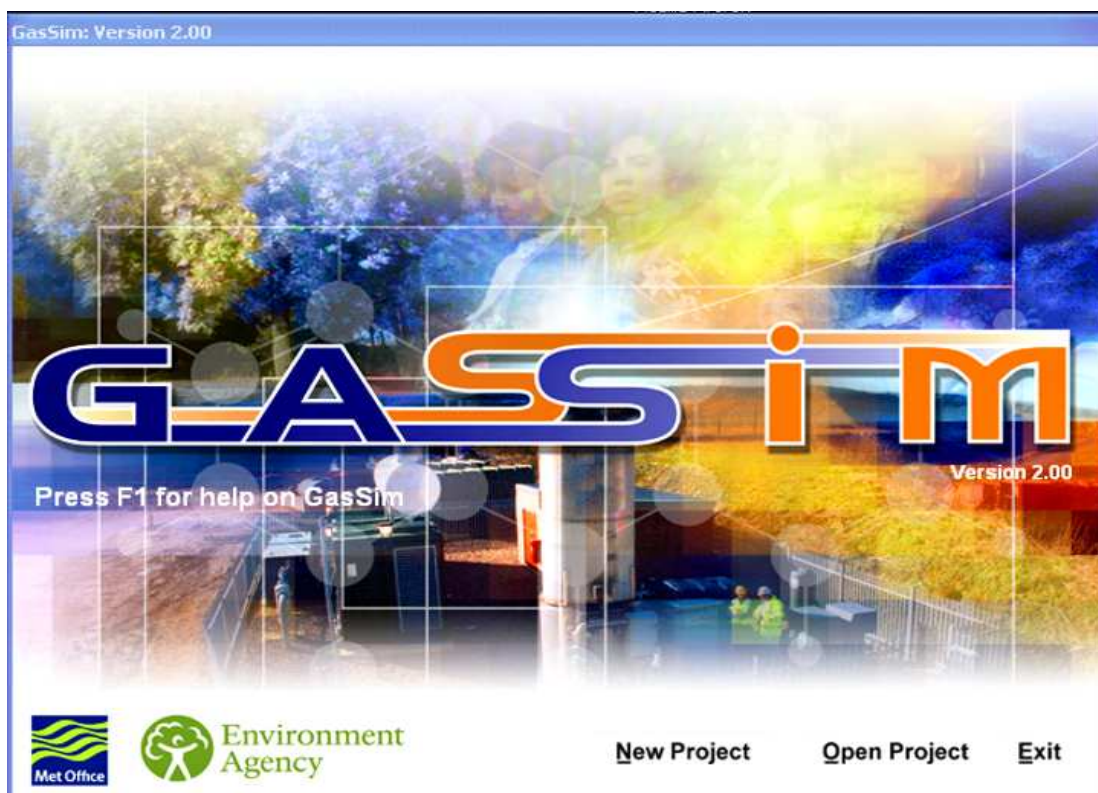


Figura 1 (Schermata iniziale del software GasSim)

La schermata abbastanza intuitiva, riporta le opzioni “*nuovo progetto*”, “*progetto salvato*”, “*uscita*” nonché la possibilità con F1 di richiamare la guida interna con brevi

descrizioni alle varie opzioni del software. I file salvati avranno estensione “.gss”. Selezionando l’opzione “nuovo progetto”, GasSim richiederà l’inserimento del nome con il quale lo identificheremo all’interno del PC (Fig. 2) e si predisporrà nella schermata principale (Fig. 3).

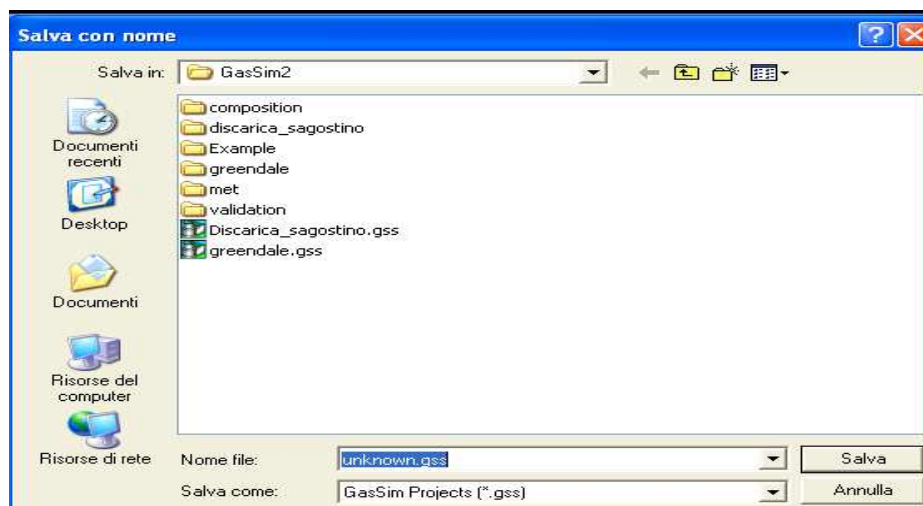


Figura 2 (Schermata di salvataggio del software GasSim)



Figura 3 (Schermata principale del software GasSim)

La schermata principale è organizzata seguendo il criterio dell'analisi di rischio su più livelli, secondo il grado di dettaglio che la simulazione dovrà raggiungere. I vari passaggi da un livello all'altro saranno possibili se e solo se saranno completati e simulati i livelli precedenti. Una tabella riassuntiva dei parametri mancanti (lista degli errori) comparirà ogni volta che, nella compilazione dei parametri richiesti, non saranno inseriti alcuni valori (figura 3a). Abbiamo quindi un valido supporto che nell'utilizzo del programma ci ricorderà, di volta in volta, i valori necessari e le sezioni del programma da simulare per arrivare al terzo livello d'analisi che GasSim consente. I risultati parziali e totali saranno memorizzati in file interni al programma per poter essere richiamati in seguito dall'utente o dal programma stesso per completare la simulazione.

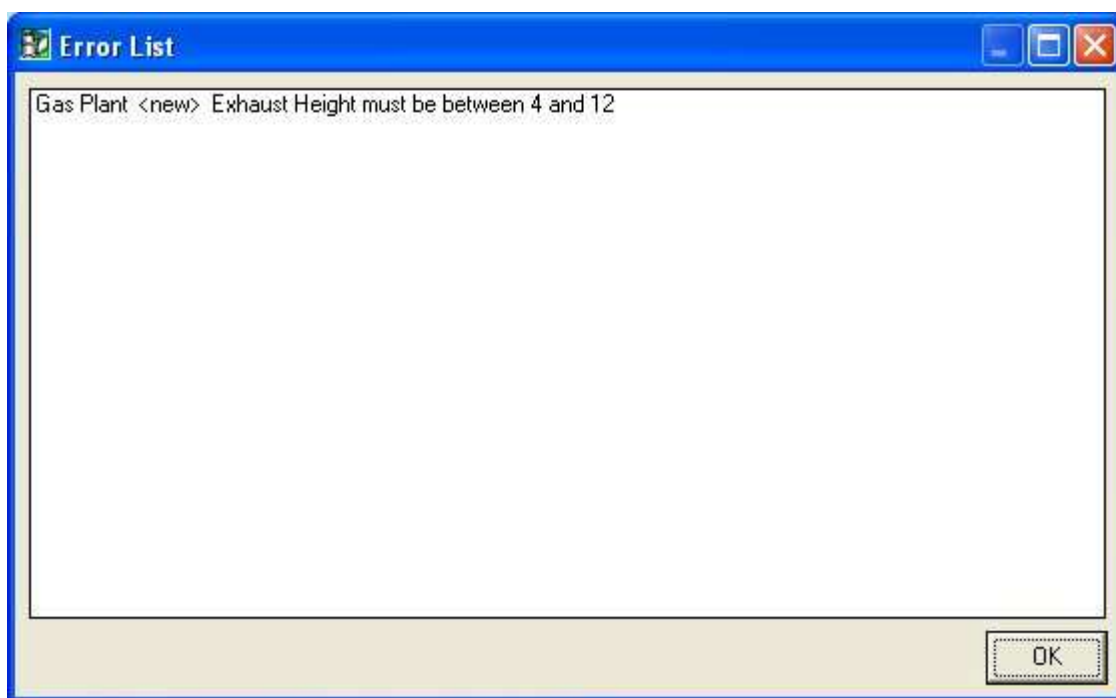


Figura 3a (Lista degli errori)

3.3 Le caratteristiche della discarica

Cliccando sull'icona "*caratteristiche della discarica*", rappresentata sulla schermata principale da un disegno che la schematizza, il programma ci da la possibilità di disegnare i confini della discarica e di definirne le "celle". Le celle, rappresentano le lottizzazioni che il sito di conferimento rifiuti può subire per essere riempite in anni successivi al suo

funzionamento, fino ad esaurimento della sua volumetria. GasSim da importanza al modo e ai tempi in cui i rifiuti sono conferiti poiché tale parametro influenza la degradazione e la conseguente produzione di gas degli stessi.

In figura quattro si vede la schermata che si sta analizzando e in basso ingrandito il menù delle possibilità che questa porzione di programma ci offre (fig. 4a) ed un esempio di schematizzazione della discarica con le lottizzazioni in celle (fig. 4b). L'inserimento dei parametri caratteristici in ogni cella sarà spiegato in seguito con maggiore dettaglio.

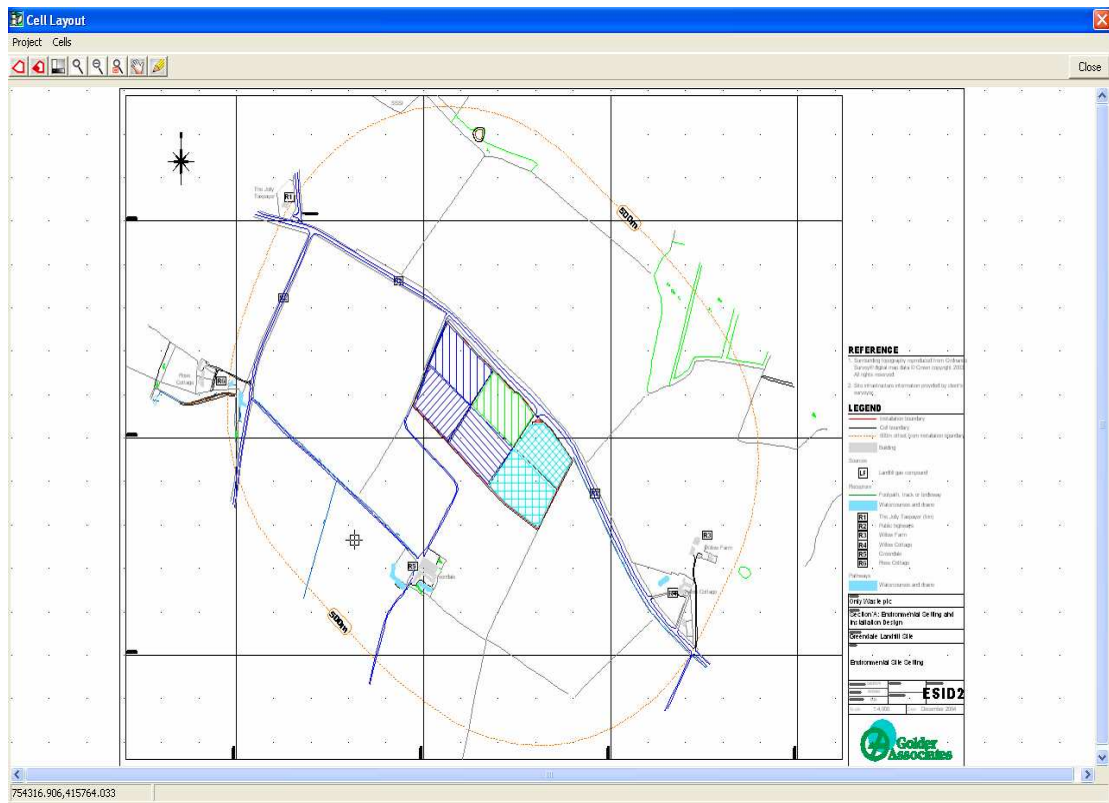


Figura 4a (La schermata delle caratteristiche della discarica)

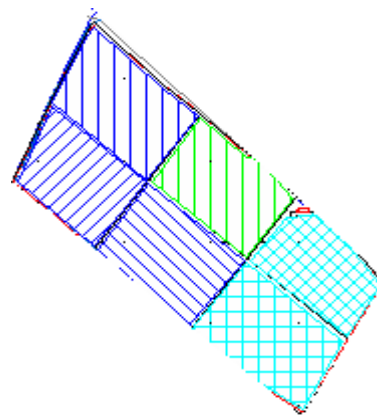
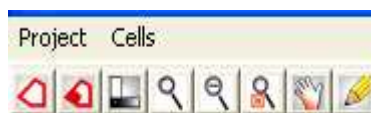


Figura 4a (menù delle opzioni ingrandito)

Figura 4b (esempio di lottizzazione)

Il software ci permette cliccando sull'icona rappresentata da una matita del menù soprastante di specificare la mappa in formato “.dxf” del sito sul quale verrà ubicata il sito di raccolta di rifiuti. Tale immagine apparirà come sfondo ed ha come unico scopo quello di contestualizzare la discarica sul territorio.

Non ha nessuna valenza ai fini della simulazione, ma può venirci in aiuto nel disegnare i confini totali del sito, per permettere di visualizzare i limiti geografici dell'impianto e in un secondo momento, definire i bersagli/recettori significativi per l'analisi di rischio. Ricordo che in formato DXF è convertita l'intera cartografia catastale italiana. Le prime due icone delle otto opzioni che il menù ci mette a disposizione permettono di disegnare rispettivamente i confini totali del sito e le celle di conferimento in cui temporalmente la discarica è stata suddivisa. Nell'esempio, la discarica è stata suddivisa in sei celle che saranno riempite a distanza di qualche anno le une dalle altre. E' possibile tratteggiare in modo diverso, le varie celle, per permettere una migliore distinzione visiva.

Una volta definito il confine totale della discarica non è possibile, con i confini delle celle, uscire al di fuori di questo parametro, pena l'impossibilità di avviare la simulazione. Per disegnare lo schema ci viene in aiuto una griglia che il GasSim visualizza nel layout del disegno e che ha un passo di 50 metri. La possibilità di importare una mappa e la griglia sono gli unici aiuti visivi che il programma mette a disposizione perciò la schematizzazione della discarica non potrà mai avere una precisione alta ma cercare di rappresentare con buona approssimazione il sito. Per completezza una volta specificate le celle, cliccando con il tasto destro del mouse sopra di esse, è possibile un'approssimazione più sensibile dei confini agendo sulle coordinate cartesiane che le definiscono. La 4,5,6,7a opzione del menù in analisi ci permettono di ingrandire e spostarci sul disegno per permettere una più agevole visualizzazione del lavoro svolto. Cliccando sulla terza opzione disponibile è possibile ubicare sul sito schematizzato le posizioni e le caratteristiche di eventuali torce o motori per il recupero energetico del biogas prodotto dalla degradazione dei rifiuti.

I parametri inseriti in questa fase sono fondamentali per una corretta simulazione. Apparirà la procedura d'inserimento (figura 5) nella quale è possibile digitare tutti i valori necessari ad una corretta gestione degli organi di recupero previsti dal progetto all'interno della discarica ed eventualmente la composizione del biogas prodotto qualora monitorata da

opportuni strumenti garantendo un grado di precisione maggiore rispetto alla simulazione. I valori progettuali considerati in questa fase sono:

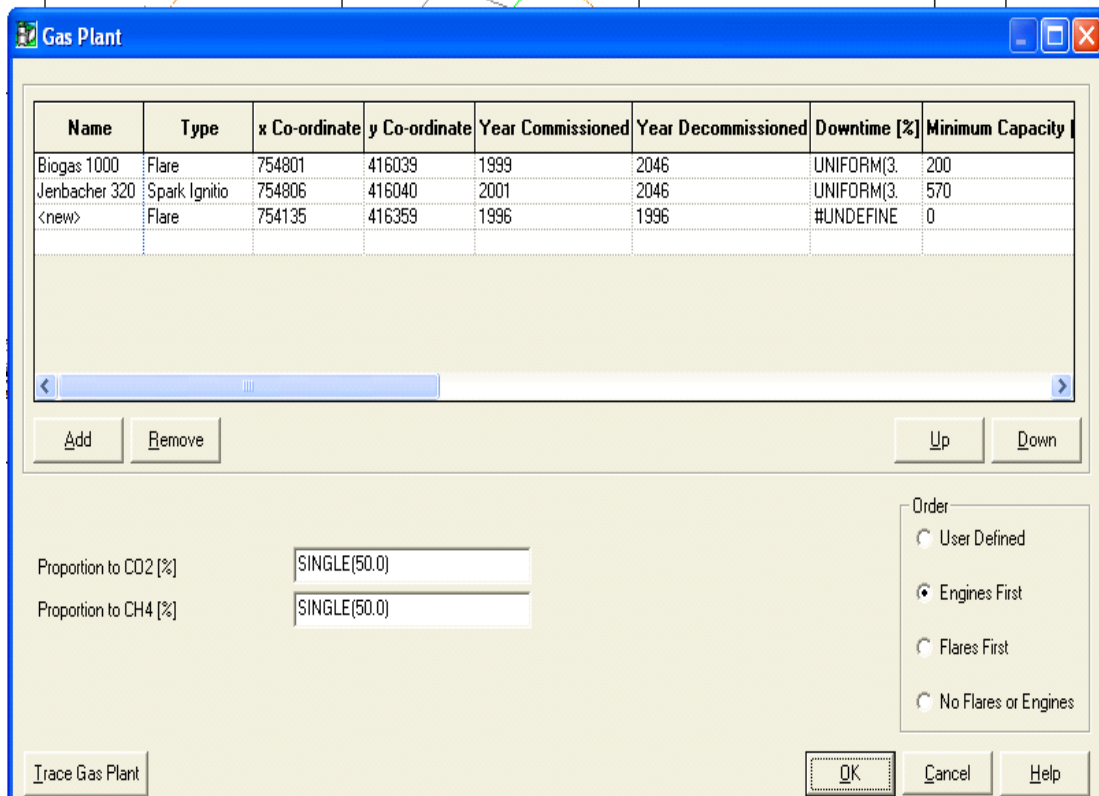


Figura 5 (Le caratteristiche degli organi per il recupero del gas di discarica da Manuale GasSim)

- Nome dell'organo installato
- Tipo (torcia, motore etc.)
- Coordinate che ne rappresentano la posizione
- Anno di inizio funzionamento
- Anno di fine funzionamento
- Percentuale di tempo in cui risulta spento nell'arco di un anno
- Minima capacità in m³/h di gas di discarica bruciato
- Massima capacità in m³/h di gas di discarica bruciato
- Altezza camino
- Diametro camino
- Rapporto aria/combustibile
- Proporzioni fra CO₂ e CH₄ del gas di discarica

- Efficienza di combustione d' idrogeno e metano(default 99%)

Alcuni parametri sono dati di default e sono provenienti dalla letteratura di gestione delle discariche disponibile fino ad oggi. Sulla mappa che costituisce lo schema la torcia sarà rappresentata da un rettangolo disposto verticalmente mentre il motore sarà rappresentato da un rettangolo posto orizzontalmente. Una volta inseriti tutti questi valori abbiamo interamente completato la schematizzazione e non ci resta che passare al passo successivo.

3.3.1 Modalità d'inserimento dei dati.

Il software accetta diverse modalità d'inserimento dei dati e diverse tipologie di dato. Il seguente capitolo sarà dedicato all'approfondimento di questi aspetti che saranno utili continuamente anche in altre parti del programma e in tempi diversi della simulazione. Le tipologie di dato che possiamo inserire all'interno del GasSim possono essere divise in due classi:

1. distribuzioni di probabilità
2. valori singoli.

Per valori singoli intendiamo dati puntuali di cui conosciamo con certezza il valore. Tali tipologie di dato possono essere inseriti all'interno delle "cellette" digitando il numero che lo rappresenta e confermando con invio o cliccando sulla freccetta che compare a destra ogni volta che è selezionata una celletta. Si seleziona "single" e s'inserisce il valore nella campitura che ne segue confermando con ok (Fig. 6 a, b).

Degradation Rates for Waste Moisture Conditions (y-1)	Dry	Average	Wet	Saturated
Slow	SINGLE(0.013)	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.013)
Moderate	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.046)
Fast	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.694)	SINGLE(0.076)

Use Defaults

Figura 6a (Modalità d'inserimento dati da Manuale GasSim)

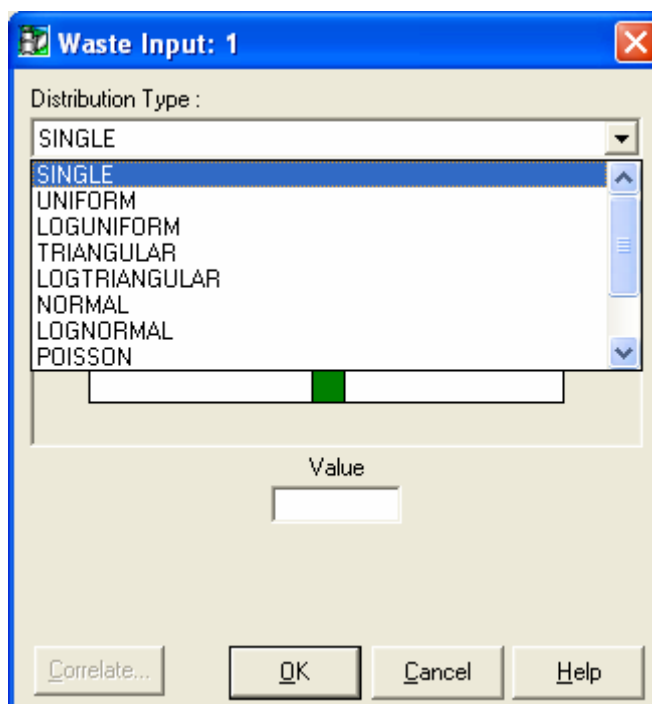


Figura 6b (Finestra di selezione della tipologia di dato)

Con la stessa modalità è possibile specificare una distribuzione di probabilità rappresentativa del dato. Alcuni dati necessari per una corretta simulazione, infatti, non possono essere rappresentati da un solo valore poiché non direttamente misurabile o essendo di per sé aleatori. Si possono scegliere diverse distribuzioni di probabilità che sono messe a disposizione dal programma, secondo le necessità.

Per semplicità tali distribuzioni sono state riassunte nella tabella uno, con le abbreviazioni e la sintassi con cui è possibile richiamarle all'interno delle cellette.

Distribuzione	Abbreviazioni (sintassi)
Valore singolo	Basta inserire il valore e confermare
Uniforme	UN (min, max)
Triangolare	TR (min, più probabile, max)
Normale	NO (media, deviazione standard)
Lognormale	LOGN (media, deviazione standard)
Loguniforme	LOGU (min, max)
Logtriangolare	LOGT (min, più probabile, max)
Binomiale	BI (probabilità)

Esponenziale	EX (media)
Poisson	PO (media)

Tabella 1 (Distribuzioni gestite dal GasSim)

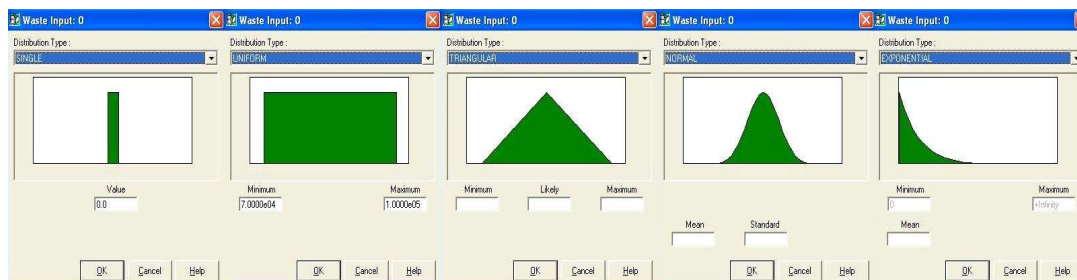


Figura 7 (Distribuzioni di probabilità selezionabili)

In figura sette sono visualizzate alcune delle distribuzioni di probabilità disponibili all'utente. La scelta della distribuzione di probabilità idonea a rappresentare il parametro richiesto dal programma ha ripercussioni sui risultati della simulazione. Il software utilizza il metodo Monte Carlo per selezionare valori casuali all'interno della distribuzione scelta. Il numero d'iterazioni di Monte Carlo da far eseguire alla routine di simulazione, è selezionabile dall'utilizzatore del software in base all'intervallo di confidenza che si vuole ottenere. La tabella due riassume i valori minimi d'iterazioni richieste per l'intervallo di confidenza voluto.

Livello di confidenza %	Numero iterazioni richieste (minime)
1	1001
5	201
10	101
50	21
90	101
95	201
99	1001

Tabella 2 (Iterazioni di Monte Carlo minime teoriche in funzione del percentile)

Il numero d'iterazioni eseguibili è selezionabile dal menù edit della schermata principale, selezionando dettagli progetto. Seguendo tale procedura: edit→dettagli progetto dalla schermata principale apparirà la finestra riportata in figura otto.

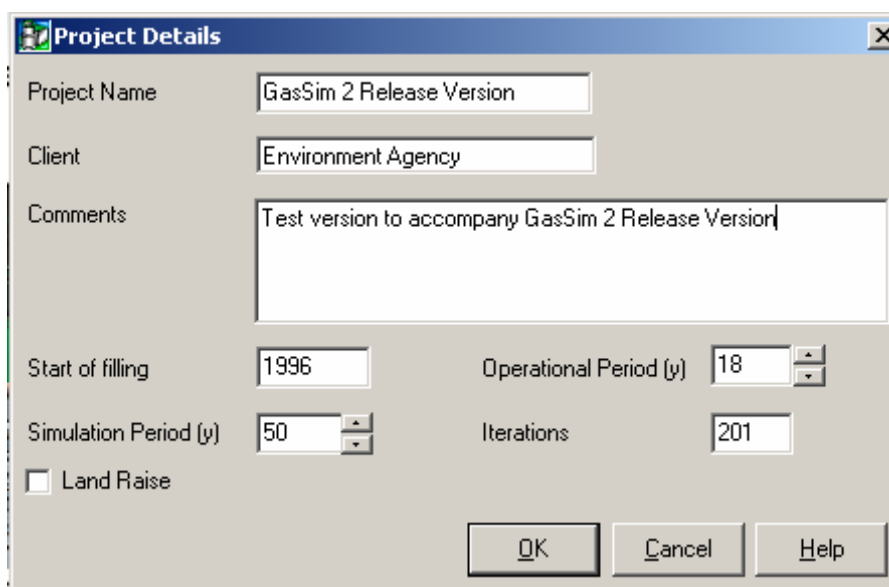


Figura 8 (Schermata dettagli progetto)

In questa finestra è possibile aggiungere dettagli aggiuntivi sul progetto, quali il nome, il committente, un commento di poche righe contenente delle note. Alcuni parametri sono indispensabili per la simulazione e caratterizzeranno le schermate successive, come la data d'inizio conferimento dei rifiuti all'interno del sito, il periodo di utilizzo per l'abbancamento del sito, il numero di anni successivi alla data d'inizio conferimento per cui s'intende simulare gli effetti del gas prodotto dalla discarica (LFG, *landfill gas*) sull'ambiente circostante. Per ultimo le iterazioni da far eseguire al programma per stabilire il grado di attendibilità dei risultati forniti dalla simulazione (vedi tabella 2).

3.3.2 I dettagli delle celle

Una volta disegnato i confini della discarica e suddivisa la stessa in celle otteniamo dei mini siti di conferimento che in anni successivi saranno riempiti dal rifiuto. Per chiarezza, è come se suddividessimo la discarica in tante mini sottodiscariche idraulicamente indipendenti. Ogni cella avrà una data d'inizio conferimento e fine conferimento, fino all'esaurimento della sua volumetria.

La tecnica della suddivisione in celle è utilizzata frequentemente nella gestione delle discariche. Solo così si può massimizzare la produzione di metano permettendo al rifiuto di essere “isolato” il prima possibile dall’ossigeno e consentendo l’installazione di un impianto per il recupero di questo gas. Concettualmente il programma tratta queste celle indipendentemente le une dalle altre e simula le emissioni superficiali risultanti (“*bulk gases*”) come contributo somma delle emissioni di ogni singola cella che avrà un proprio percorso temporale di degradazione del rifiuto.

Per ogni cella, quindi, si devono inserire alcuni parametri che analizzerò nel dettaglio. Formalmente i dati inseriti fino a questa fase sono dati riguardanti l’intero sito di discarica e per lo più descrittivi, in questa fase si entra nel vivo dei parametri utilizzati per la simulazione. L’utilizzo di valori non idonei o eventuali errori d’inserimento possono portare a risultati completamente errati.

Per ogni cella è possibile inserire i dati caratteristici tramite tasto destro del mouse sulla cella stessa. Compare il relativo menù a tendina dal quale è possibile selezionare la voce “*dettagli cella*” oppure in maniera simile dal layout “*dettagli discarica*” di figura 4a, selezionando cella→dettagli cella.

Comparirà la finestra di figura nove, dove è possibile specificare un nome identificativo da attribuire alla cella, il tipo di tratteggio per una migliore distinzione visiva e le coordinate dei vertici di confine della cella stessa sulla mappa. Automaticamente il software calcolerà l’area della cella. Tramite delle opzioni da spuntare è possibile selezionare la possibilità del software di considerare nella simulazione le iterazioni fra le celle, l’emissioni fuggitive (attraverso la copertura superficiale e laterale quando realizzata), le emissioni da combustione e la possibilità di simulare la formazione del solfuro d’idrogeno e di specificare le costanti di degradazione del rifiuto per questo gas, la quantità di solfuro di calcio e ferro nel percolato, qualora particolari caratteristiche nella composizione dell’ammasso non rendessero idonei i valori di forniti dal software di default.

Nota bene: nel disegnare approssimativamente il sito di discarica l’importante è, che in questa fase l’area delle celle calcolata automaticamente dal software, risulti in linea con i dati del progetto.

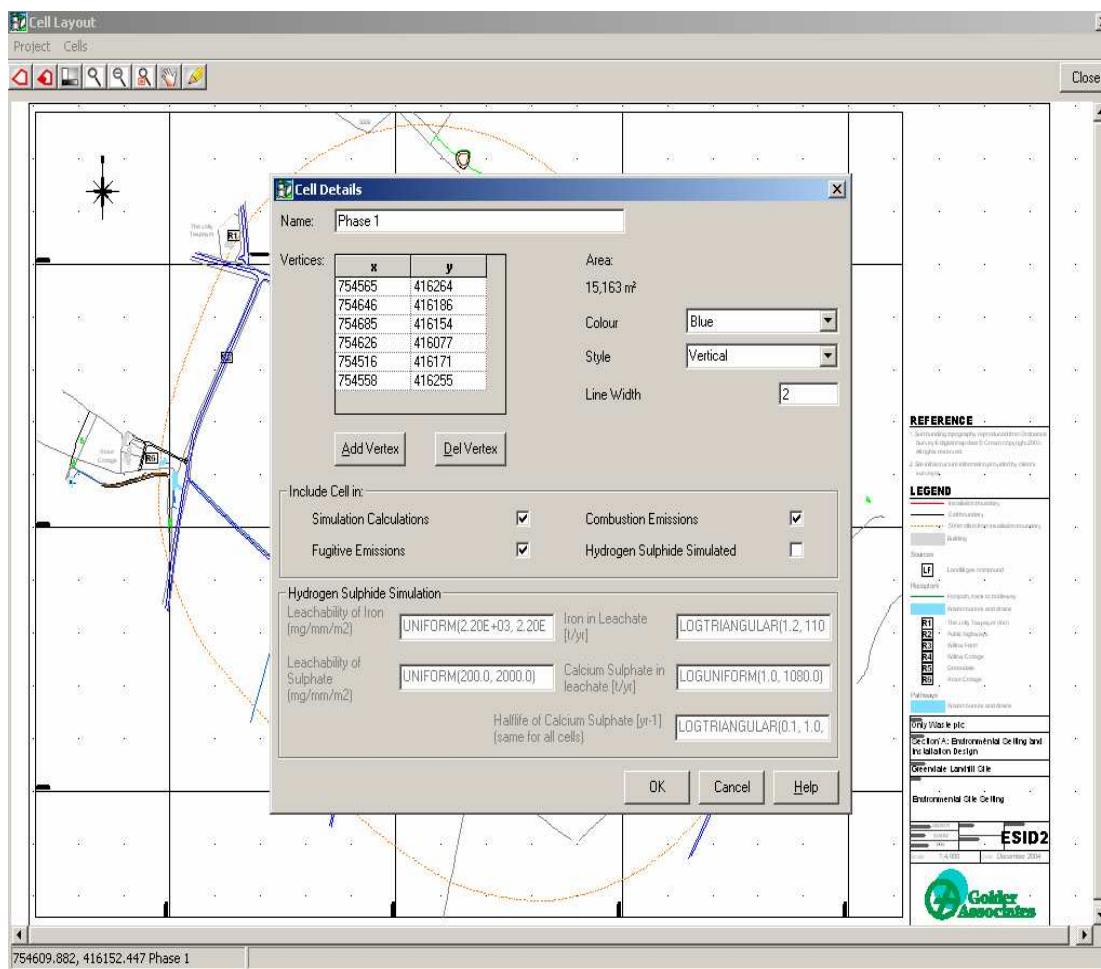


Figura 9 (La schermata dei dettagli della cella)

3.3.3 Modalità e tempi di conferimento dei rifiuti

Una volta definiti i dettagli e i nomi di ogni cella, dallo stesso menù a tendina del paragrafo 3.3.2 è possibile accedere alla voce “*cap and liner data*”, si aprirà la finestra di figura dieci. Allo stesso risultato si arriva dal layout “*dettagli discarica*” selezionando cella → “*cap and liner data*”.

La finestra è simile ad una tabella, le cui colonne sono contrassegnate dal nome che abbiamo attribuito ad ogni cella e nelle cui righe sono richiesti alcuni parametri riguardanti la copertura della discarica. Non tutti i campi si devono obbligatoriamente riempire per avviare una simulazione. Il software dovendo prevedere una serie di casistiche ampia di tipologie di discariche, riassume nelle righe della tabella tutti i possibili parametri che si possono avere ed evidenzia di volta in volta i campi necessari in nero.

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5
Infiltration					
Uncapped Infiltration [mm/yr]	NORMAL(500.0,	NORMAL(500.0,	NORMAL(500.0,	NORMAL(500.0,	NORMAL(500.0,
Capped Infiltration [mm/yr]	NORMAL(50.0, 5	NORMAL(50.0, 5	NORMAL(50.0, 5	NORMAL(50.0, 5	NORMAL(50.0, 5
Temporary Cap					
Thickness [m]	UNIFORM(0.3, 0,	UNIFORM(0.3, 0,	UNIFORM(0.3, 0,	UNIFORM(0.3, 0,	UNIFORM(0.3, 0,
Hydraulic Conductivity [m/s]	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,
Cap Type					
Thickness [m]	Single Clay	Single Clay	Single Clay	Composite	Composite
Hydraulic Conductivity [m/s]	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,
Layer 2 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)
Layer 2 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,
Liner Type					
Thickness [m]	Single Clay	Single Clay	Single Clay	Composite	Composite
Hydraulic Conductivity [m/s]	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,
Layer 2 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)
Layer 2 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	LOGUNIFORM(5,	LOGUNIFORM(5,
Layer 3 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 3 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 4 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 4 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Land Raise Depth [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Installation Dates					
Temporary Cap	1997	2000	2003	2006	2009
Permanent Cap	1999	2002	2005	2008	2011
Sacrificial Gas Collection	1997	2000	2003	2006	2009
Permanent Gas Collection	2000	2003	2006	2009	2012
Geosphere					
Ground Surface (mADD)	50	49	49	48	48
Water Table (mADD)	38	38	39	39	40
Unsaturated Zone Moisture Content (% v/v)	UNIFORM(2.0, 8,	UNIFORM(2.0, 8,	UNIFORM(2.0, 8,	UNIFORM(2.0, 8,	UNIFORM(2.0, 8,
Unsaturated Zone Total Porosity (% v/v)	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,
Gas Collection Efficiency Estimates [%]					
	No Cap	Temporary Cap	Permanent Cap		
Sacrificial Gas Collection System	TRIANGULAR(10.0, 30.0, 50.0)	TRIANGULAR(40.0, 50.0, 60.0)	TRIANGULAR(55.0, 65.0, 75.0)		
Permanent Gas Collection System	TRIANGULAR(50.0, 60.0, 70.0)	TRIANGULAR(75.0, 85.0, 95.0)	TRIANGULAR(90.0, 95.0, 97.5)		

Figura 10 (Le caratteristiche della copertura della cella)

Infiltrazione: per ogni cella, agendo su questo parametro, secondo la modalità d’inserimento dei dati riassunta in precedenza, è possibile selezionare in millimetri/anno, l’infiltrazione efficace prevista all’interno della cella. L’infiltrazione efficace è l’acqua piovana effettivamente penetrata all’interno della cella dalla sua superficie, epurata dai valori di evapotraspirazione e ruscellamento. Nelle prime fasi di conferimento del rifiuto sulla superficie della cella non è presente la copertura che limita l’infiltrazione. GasSim richiede entrambi questi parametri: infiltrazione efficace con e senza copertura. Qualora non si disponesse del secondo parametro il software consiglia di considerare il 10% dell’infiltrazione senza copertura come valore di calcolo.

Copertura temporanea: Per ogni cella, tramite questo parametro, è possibile inserire il valore previsto di conduttività idraulica e spessore di un'eventuale copertura temporanea. La copertura temporanea, qualora prevista, sia definita interamente per la simulazione da questi due valori. La presenza o meno di copertura temporanea influisce sui parametri d'infiltrazione e sulla produzione, tipologia e fuga di gas dalla superficie della discarica.

Copertura definitiva: La copertura definitiva di ogni cella può essere composta da più strati. Consultando i parametri di ogni strato previsti dal progetto della discarica, è possibile inserire in questa fase spessore e conduttività idraulica di ogni materiale che compone la copertura (argilla, liner di HDPE etc.), una volta specificato nell'opportuna cella il tipo di copertura stessa (singolo strato di argilla, strati composti etc.). Può essere specificato anche il "land raise" della copertura ovvero l'altezza della sommità della discarica rispetto al piano di campagna (baulatura), volutamente più alto per agevolare il ruscellamento delle acque. GasSim in questo modo è pronto a calcolare le tipologie e le quantità di gas che sfuggono dalla copertura definitiva. Il limite di strati previsto è di due.

Copertura laterale: Analoghe considerazioni possono essere fatte per la copertura laterale, il software permette in questa fase di inserire i dati necessari alla simulazione per la copertura laterale del sito. I dati necessari si riducono come nel caso della copertura superiore ai soli valori di conduttività idraulica, in m/h, e spessore, in metri, previsti per ogni strato che compone questa tipologia d'isolamento. Il limite di strati previsto è di quattro.

Date d'installazione: fondamentali parametri necessari al software sono le date in cui, in una cella, s'inizia e finisce il conferimento dei rifiuti e le date d'installazione delle coperture temporanee e definitive. In questa sezione del programma è possibile inserire in maniera intuitiva questi valori che influenzano l'inizio della degradazione del rifiuto e la conseguente produzione di gas. Ricordo, infatti, che fin tanto che la copertura definitiva non è installata la degradazione del rifiuto, per la forte presenza di ossigeno, è di tipo aerobico, inizia a diventare anaerobica, con conseguente produzione di metano, dopo che la copertura definitiva è stata installata e tutto l'ossigeno intrappolato non è più sufficiente per la prima tipologia di degradazione. In figura dieci, la cella denominata "phase1" ha una

data d'inizio conferimento rifiuti pari al 1997, una data di fine conferimento rifiuti pari al 2000. La copertura temporanea è stata installata nel 1997, la copertura definitiva nel 1999.

Date installazione sistemi di captazione definitiva e temporanea: date che nello storico delle celle comportano l'installazione di sistemi definitivi per la captazione del biogas da fornire ai motori. Parametri: “*sacrificial gas collection*”, “*permanent gas collection*”, rispettivamente temporanea e definitiva costruzione dei sistemi di captazione (metodo di gestione di una discarica molto utilizzato in Inghilterra). In Italia si tende a costruire direttamente il sistema di captazione definitivo, quindi le due date coincideranno.

Geosfera: sotto questa voce sono modificabili i valori, per ogni singola cella, di profondità della falda acquifera e profondità della zona insatura. I valori sono espressi in metri (mAOD ovvero “*above ordnance datum*”, in Italia il parametro può essere tradotto con: sul livello del mare). Per differenza il software ricava l'altezza dello strato di rifiuti e l'altezza della zona insatura dalla quale il gas di discarica può migrare lateralmente. Parametri importanti da completare sono la porosità percentuale volumetrica dell'ammasso di rifiuti e la porosità volumetrica percentuale del terreno stesso per rendere possibile la simulazione della “*migrazione laterale del gas*”. Il GasSim non considera la migrazione laterale del gas attraverso la zona satura della falda acquifera e la porosità da specificare all'interno dei parametri sopra menzionati è la porosità efficace: porosità che tiene conto del solo volume dei pori interconnessi.

I parametri direttamente inseribili in questa fase dall'utente sono terminati. Gli altri valori presenti all'interno di questa finestra (Fig. 10) sono forniti di default dal programma e devono essere modificati qualora in possesso di dati migliori o maggiormente precisi. Per impostazioni predefinite, il software, utilizza dei valori cautelativi per rappresentare l'efficienza di captazione del biogas da rifiuto, sia nella fase di presenza della copertura, sia in assenza della stessa o copertura temporanea. Sono delle distribuzioni triangolari ricavate dall'analisi e misurazioni effettuate nella realtà su siti di discarica di cui la Golder Associates riserva di specificare l'ubicazione (superficie dei siti considerati e di circa 200 ettari). I valori sono cautelativi poiché più prudenti rispetto alla realtà. L'efficienza di captazione del gas non potrà mai raggiungere il 100%, valore non realizzabile, ma avere un massimo, un minimo range di efficienza e un valore maggiormente rappresentativo

percentuale perciò la distribuzione di probabilità più idonea a rappresentarlo è la triangolare.

3.3.4 Ossidazione biologica del metano

Alla modifica dei parametri di questa voce si procede come specificato nel paragrafo 3.3.2. Selezionano con il cursore del mouse la cella e cliccando con il tasto destro compare il menù a tendina che stiamo analizzando. Un'ulteriore voce di questo menù oltre a “*dettagli cella*”, “*copertura*”, è “*ossidazione biologica del metano*”. Analogamente, a questa voce, si può arrivare in maniera del tutto simile da: layout “*dettagli discarica*” di Fig. 4a, selezionando cella → dettagli cella. Compare la finestra riportata in figura undici.

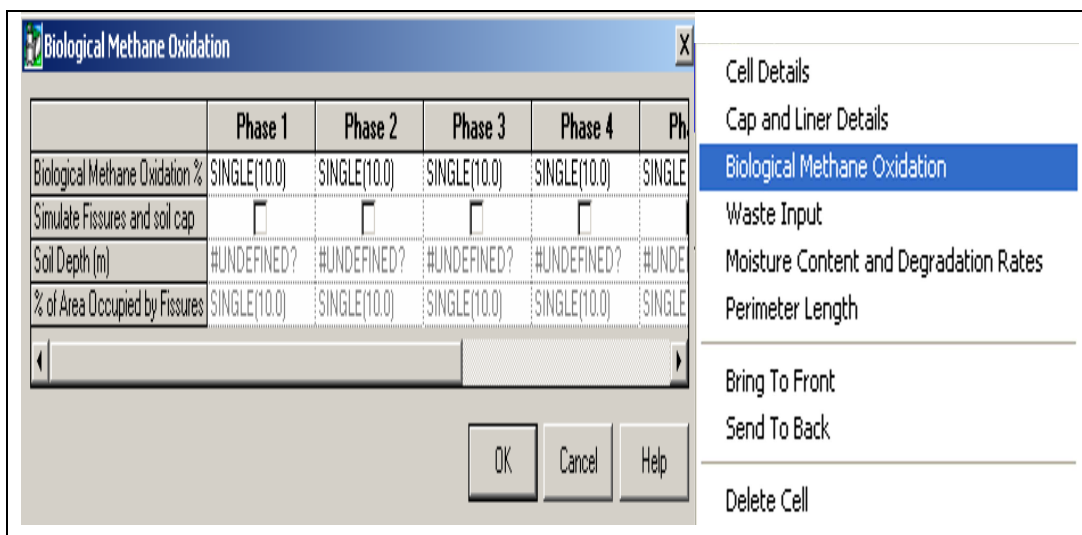


Figura 11 (Schermata dell'ossidazione biologica del metano e menù a tendina dei “*dettagli cella*”)

In questa schermata si definisce la percentuale di metano ossidato da parte di microrganismi aerobi metanotrofi presenti nei rivestimenti superficiali (“*Biological Methane Oxidation*”): il processo può essere schematizzato dalle quattro reazioni ossidative e consecutive, che seguono:



GasSim può simulare la riduzione della concentrazione di CH_4 , mediante ossidazione biologica a CO_2 , secondo due approcci:

- *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*: propone che la quantità di metano che si ossida passando attraverso la copertura superficiale sia circa il 10% rispetto al totale del gas prodotto (LFG); questo dato rappresenta il dato di default utilizzato dal codice di calcolo;
- *Calcolo della percentuale di CH₄ realmente ossidato*: quest' approccio si basa sul calcolo vero e proprio del rateo di ossidazione a seconda dei diversi materiali costituenti gli strati di copertura della discarica; in generale, si considera un range di ossidazione variabile tra 10 – 46%, con un valore medio del 25%.

In aggiunta, è possibile considerare la presenza o meno di fessurazioni del rivestimento superficiale e definire la percentuale di area occupata dalle fessurazioni e da eventuali rotture rispetto alla superficie totale della copertura laterale e non della discarica; comunemente è usato il valore di default (10%). GasSim assume che il LFG (Landfill gas) che passa attraverso le fessurazioni non subisca ossidazione del CH₄. E' possibile, infine, includere o meno nel modello la presenza di uno strato di suolo che ricopre superficialmente il rifiuto o che ricopre il rivestimento geosintetico della discarica (*capping* superficiale) e, conseguentemente, specificarne lo spessore. Se tale valore è superiore ai 300mm, inizia il calcolo della degradazione biologica del metano. Se lo spessore è inferiore, non può esserci degradazione biologica del metano poiché la copertura è insufficiente per avviare il fenomeno in maniera rilevante. L'ossidazione biologica del metano avviene nello strato di suolo e terreno vegetale al di sopra del "*capping*" della discarica. Lo strato del terreno deve avere spessori idonei e presenza contemporanea di ossigeno e metano per avviare l'ossidazione.

3.3.5 Rifiuti in ingresso, tipologia e costanti di degradazione

Waste Input - Phase 1

Start of Filling: 1996 End of Filling: 1998

Year	Waste Input (t)	Cumulative (t)	Domestic (%)	Civic Amenity (%)	Commercial (%)	Industrial (%)
1996	SINGLE(83000)	83000	SINGLE(85)	SINGLE(3)	SINGLE(12)	SINGLE(0)
1997	SINGLE(87000)	170000	SINGLE(95)	SINGLE(3)	SINGLE(2)	SINGLE(0)
1998	SINGLE(113000)	283000	SINGLE(95)	SINGLE(3)	SINGLE(2)	SINGLE(0)

Waste Moisture Content: Trace Gases

OK Cancel Help

Figura 12a (La schermata quantità e tipologia del rifiuto)

Waste Moisture Content and Waste Degradation Rates

	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Phase 5
Moisture Content	Wet	Wet	Wet	Average	Average
Waste Density (t/m ³)	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.
Effective Porosity (%)	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2
Leachate Head (m)	UNIFORM(2.5, 4.	UNIFORM(2.5, 4.	UNIFORM(0.2, 1.	UNIFORM(0.2, 1.	UNIFORM(0.2, 1.
Conductivity (m/s)	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.
Adsorptive Capacity [%v/v]	UNIFORM(1.0, 5.	UNIFORM(1.0, 5.	UNIFORM(1.0, 5.	UNIFORM(1.0, 5.	UNIFORM(1.0, 5.
Leachate Recirculation (m ³ /hr)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)

Degradation Rates for Waste Moisture Conditions (y⁻¹)

	Dry	Average	Wet	Saturated
Slow	SINGLE(0.013)	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.013)
Moderate	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.046)
Fast	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.694)	SINGLE(0.076)

Use Defaults

Default Degradation Rates for Waste Moisture Conditions (y⁻¹)

	Dry	Average	Wet	Saturated
Slow	SINGLE(0.013)	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.013)
Moderate	SINGLE(0.046)	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.046)
Fast	SINGLE(0.076)	SINGLE(0.116)	SINGLE(0.694)	SINGLE(0.076)

OK Cancel Help

Figura 12b (Schermata delle caratteristiche del rifiuto)

Sotto queste due voci del menù a tendina analizzato, visibile in figura undici, il software gestisce qualsiasi aspetto legato alla quantità e alla tipologia di rifiuto. Le due voci sono fortemente correlate, infatti, è possibile richiamare dalla schermata della prima la finestra della seconda e viceversa. In figura dodici (a e b) sono riportate rispettivamente le due schermate.

La schermata di Fig. 12a, richiede rispettivamente nelle colonne, la quantità di rifiuti in tonnellate, conferita all'interno di ogni celle negli anni di utilizzo. Il software calcola automaticamente il valore cumulativo di queste quantità. Oltre alla quantità occorre specificare la percentuale o l'ideale funzione densità di probabilità che rappresenta la tipologia di rifiuto proveniente dalle diverse attività umane. Sono previste le seguenti tipologie di provenienza del rifiuto:

- Domestico (urbano);
- Assimilabili agli urbani;
- Attività industriali;
- Commerciali;
- Proveniente da industrie chimiche;
- Proveniente da inceneritore;
- Inerti;
- Materiali organici;
- Definiti dall'utente;

Dalla schermata in analisi è possibile richiamare la finestra di figura 12b, cliccando su "*waste moisture content*". Per avviare la simulazione il software richiede, in questa schermata, delle informazioni aggiuntive sul rifiuto. I valori forniti di default sono provenienti dalla letteratura tecnica sulle discariche e sono idonei nella maggioranza delle simulazioni o calcoli che prevedano la caratterizzazione del rifiuto solido urbano. Le informazioni aggiuntive sono rispettivamente:

1. il grado di umidità del rifiuto;
2. la densità dell'ammasso di rifiuti e del terreno del sito di discarica;
3. la porosità efficace dell'ammasso;

4. l'altezza, dal fondo della discarica, dello strato di percolato;
5. la conduttività idraulica dell'ammasso;
6. la capacità di assorbimento;
7. la quantità oraria in m³ di ricircolo del percolato nell'ammasso;

Da questi valori il programma calcola automaticamente le costanti di degradazione del rifiuto e i tempi di dimezzamento del contenuto di carbonio dello stesso. Valori diversi di costante di degradazione sono previsti secondo il grado di umidità dell'ammasso e della tipologia dei rifiuti al suo interno, prevedendo costanti diverse per le frazioni di rifiuto, velocemente, mediamente e lentamente degradabili.

Select	Gas	Raw Gas	Concentration (mg/m3)	Molecular Ratio
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1,1,2-Tetrafluorochloroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.002, 0.2)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.005, 0.4)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1,2-Trichloroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.004, 1.0)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1-Dichloroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(1.00E-03)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1-Dichloroethene	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(1.00E-03)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,1-Dichlorotetrafluoroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.05, 0.25)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,2-Dichloropropane	<input checked="" type="checkbox"/>	SINGLE(0.0)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1,2-Dichlorotetrafluoroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.01, 9.8)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	1-Chloro-1,1-difluoroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.04, 0.57)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGUNIFORM(0.05, 1.5)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	2-Propanol	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.005, 2.0)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Acetaldehyde (ethanal)	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.1, 0.2)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Acetone	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.005, 0.1)	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Acrylonitrile	<input checked="" type="checkbox"/>	LOGTRIANGULAR(0.02, 0.4)	0

Buttons: Select All, Clear All, New, Delete, Default Selections: Pl, Qdour, Global Impact, Reset List, Trace gas Half-life [years]: NORMAL(4.11, 1.56), OK, Cancel, Help

Figura 13 (La distribuzione della concentrazione delle tracce di gas)

Per caratterizzare l'umidità del rifiuto GasSim prevede quattro classi di contenuto d'acqua attraverso le quali determinare questo valore: dry, average, wet e saturated a seconda che rispettivamente:

- dry: umidità percentuale v/v sia minore del 30%
- average: umidità percentuale v/v sia compresa tra il 30% e il 60%
- wet: umidità percentuale v/v sia compresa tra il 60% e il 80%
- saturated: umidità percentuale v/v sia maggiore del 80%

Per completezza espositiva, l'ultima voce selezionabile dalla figura 12a, in altre parole "trace gas" riporta una lista di gas che il GasSim riesce a simulare.

Cliccando su quest'opzione, il programma visualizza una collezione di oltre 100 gas che il sistema riesce a modellare. Alcuni di questi gas rappresentano la stragrande percentuale delle emissioni di una discarica (CO₂, CH₄, H₂), gli altri sono presenti in tracce nelle emissioni. Come impostazione predefinita, il sistema modella oltre ai principali gas di discarica anche tutti i gas presenti in tracce che questo tipo di attività comporta. Per evitare l'enorme mole di dati modellati, da questa finestra è possibile selezionare agendo in maniera intuitiva i principali gas e tracce di gas responsabili del solo inquinamento dell'aria (*PI, pollution inventory*), degli odori provocati (*Odour*), dell'impatto globale sul pianeta (*Global Impact*). Semplicemente cliccando sulle tre opzioni disponibili si selezioneranno automaticamente nella lista dei gas presenti, i soli gas responsabili degli odori (variazioni organolettiche dell'aria respirata), dell'inquinamento o dell'effetto serra. Sempre dalla schermata tredici, per completezza, sono riportate le distribuzioni di probabilità che il codice in fase di simulazione considererà per calcolare la concentrazione delle tracce di gas all'interno del "bulk gas". Tali valori sono modificabili, in questa schermata, qualora si disponesse per ogni gas di distribuzioni di probabilità o valori puntuali più idonei a rappresentare la discarica di progetto. I valori predefiniti utilizzati dal software sono sempre cautelativi e provenienti da prove empiriche e dalla letteratura tecnica.

3.3.6 Composizione del rifiuto

L'ammasso di rifiuto specificato, nel capitolo precedente, può contenere diverse quantità di cellulosa, emicellulosa, frazione organica e inerte. Il software mette a disposizione un editor completo per specificare la quantità percentuale delle frazioni dei materiali che si possono trovare all'interno delle varie tipologie e provenienza dei rifiuti, in modo da calcolare:

1. Il contenuto di carbonio totale dell'ammasso
2. La frazione dell'ammasso interessata alle varie velocità di degradazione (lenta, moderata e veloce)
3. I tempi di dimezzamento delle sostanze che compongono i rifiuti abbancati

Tale editor è selezionabile dal layout “*dettagli discarica*” seguendo questa procedura: progetto→editor di composizione. La schermata di figura quattordici semplifica all’utente del programma l’introduzione di questi valori.

		Domestic	Civic Amenity	Commercial	Industrial	
Paper/Card	Newspapers (%)	SINGLE(11.38)	SINGLE(10)	SINGLE(10)	SINGLE(0)	SINGL
	Magazines (%)	SINGLE(4.87)	SINGLE(11)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Other paper (%)	SINGLE(10.07)	SINGLE(0)	SINGLE(50.1)	SINGLE(0)	SINGL
	Liquid cartons (%)	SINGLE(0.51)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Card packaging (%)	SINGLE(3.84)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Other card (%)	SINGLE(2.83)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Wood (%)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Textiles	Textiles (%)	SINGLE(2.36)	SINGLE(3)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Miscellaneous combustible	Disposable nappies (%)	SINGLE(4.35)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Other misc. combustibles (%)	SINGLE(3.6)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Putrescible	Garden waste (%)	SINGLE(2.41)	SINGLE(22)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Other putrescible (%)	SINGLE(18.38)	SINGLE(0)	SINGLE(15)	SINGLE(0)	SINGL
Fines	10mm fines (%)	SINGLE(7.11)	SINGLE(15)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Sewage sludge	Sewage sludge (%)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Compost	Composted organic material (%)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Ash	Incinerator ash (%)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
Non-Degradable	Non degradable (%)	SINGLE(28.86)	SINGLE(39)	SINGLE(24.6)	SINGLE(0)	SINGL
	Calcium Sulphate (%)	TRIANGULAR(0)	TRIANGULAR(0)	SINGLE(0)	SINGLE(0)	SINGL
	Iron (%)	TRIANGULAR(0)	TRIANGULAR(0)	TRIANGULAR(0)	TRIANGULAR(0)	TRIAN

Figura 14 (Caratterizzazione della tipologia e provenienza del rifiuto)

La tabella che si presenta riporta nelle colonne la provenienza del rifiuto già specificata in precedenza e nelle righe la composizione percentuale dei vari materiali che si potrebbero ritrovare all’interno dell’ammasso. La somma delle percentuali di ogni colonna deve dare un valore prossimo al 100%. I valori inseriti, come impostazioni predefinite dal programma, provengono dalla letteratura tecnica inglese, e sono suddivisi per zone in cui l’amministrazione inglese ha idealmente diviso la Gran Bretagna. I valori di default sono definiti, in particolare, per discariche di rifiuti solidi urbani. Qualora particolari situazioni di calcolo prevedano una variazione di questi parametri, agendo su queste voci è possibile comunicare al programma tali modifiche. La modifica di tali voci comporta differenze significative sui gas di discarica prodotti e quindi sui valori della quantità di gas modellata dal programma. Per ogni voce, presente nelle righe della tabella di figura quattordici, tramite l’opzione “*degradazione*” è possibile specificare, qualora si disponesse di

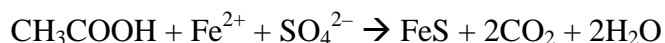
parametri di dettaglio più specifici, la frazione del rifiuto interessata ad una lenta, media o veloce degradazione. Ad esempio, per la voce “*newspaper*”, se si disponesse di dati relativi alla degradazione lenta, media o veloce più specifici, si può agire su quest’ opzione per cambiarli. La diversa velocità di degradazione del rifiuto è dovuta alla percentuale di cellulosa, emicellulosa, frazione organica e non che lo costituisce. Il software replica la composizione dei rifiuti per ogni anno di gestione della discarica. Permette però di modificare i singoli anni dal menù a tendina in alto a sinistra, evidenziato in blu di figura quattordici. In questo modo nel tempo e nella composizione, si controlla ogni singolo parametro possibile della caratterizzazione dei rifiuti.

3.3.7 Ultime voci analizzabili della schermata “*caratteristiche della discarica*”

Con questo paragrafo si analizzano le ultime voci disponibili nel menù a tendina visibile in figura undici, sono state volutamente raccolte qui o poiché ininfluenti ai fini di una simulazione o perché richiedono un approfondimento che esula da un corretto utilizzo del programma. Dal menù a tendina in analisi selezionando “lunghezza perimetro”, il software visualizza in automatico l’intera lunghezza in metri del sito di discarica. Le altre voci presenti sono di natura prettamente gestionale del disegno che schematizza il sito di discarica. Si può mandare l’immagine di sfondo in secondo piano o in primo piano rispetto alla mappa che caratterizza la discarica e cancellare le celle create.

Un approfondimento è necessario, invece, per la modellazione dell’acido solfidrico o solfuro d’idrogeno (vedi paragrafo 2.3.2) prodotto dal conferimento dei rifiuti in discarica. Con la selezione di questa modellazione, il software, permette la simulazione della produzione di H₂S (“*Hydrogen Sulphide Simulated*”): GasSim, basandosi sul contenuto di cellulosa presente nel rifiuto, consente di determinare la quantità di cellulosa che non è convertita in CH₄ e CO₂, ma segue il meccanismo secondario che porta alla formazione di solfuri, e procede alla sottrazione di questa quantità dalla base di calcolo del “*bulk gas*” generato.

In alcune discariche si è osservato, inoltre, come la presenza di ferro II (Fe²⁺), riduca la quantità di solfato presente, poiché utilizzato come catalizzatore nella reazione che porta alla formazione di solfuro di ferro (FeS):



GasSim considera che le quantità di ferro e solfato disponibili alla reazione, all'interno del rifiuto, siano determinate dalla quantità di materiale inorganico (Fe e solfato di calcio, CaSO_4) presente nel rifiuto solido e nel percolato, considerando che quelle contenute nel percolato rappresentino la percentuale convertita più rapidamente.

Se l'opzione "*Hydrogen Sulphide Simulated*" è attiva i dati in input richiesti sono, quindi:

- a) Percolabilità di ferro e solfato: attitudine di una specie chimica di trovarsi nel percolato;
- b) Quantità di ferro e CaSO_4 nel percolato;
- c) Tempo di dimezzamento di CaSO_4 : tempo necessario alla riduzione della concentrazione dal valore iniziale C_0 al valore $C_0/2$; è un parametro che GasSim usa per tenere conto della disponibilità di zolfo nel rifiuto.

Il motivo per cui il GasSim lo differenzia, seppur presente in tracce, dalle altre tracce di gas è che l'acido solfidrico, è il principale responsabile degli odori sgradevoli provenienti da un sito di discarica, per cui viene trattato in maniera "privilegiata" rispetto agli altri gas presenti in traccia all'interno dei gas totali prodotti dal sito.

Ed è anche un gas responsabile in maniera considerevole, una volta entrato in atmosfera del fenomeno delle piogge acide.

3.4 Torce e motori installati

Dalla schermata principale visibile in figura tre, l'ultima opzione da analizzare, prima di avviare una simulazione, è denominata "*gas plant*". In questa fase di caratterizzazione del sito di discarica, infatti, è l'ultima opzione, che sulla schermata principale, il programma ci permette di selezionare. Le altre opzioni saranno attivate dopo aver simulato, in fase di "*screening*", il gas da discarica prodotto. In questo modo avremo completato il primo livello dell'analisi di rischio, in accordo con la procedura RBCA descritta nel primo capitolo. Dopo aver introdotto tutte le caratteristiche della discarica e del rifiuto conferito,

il software permette l'introduzione dei parametri legati ad eventuali motori o fiamme previste per il recupero energetico del gas di discarica.

La presenza o meno di questi organi altera la quantità totale di alcune tipologie di gas, in primo luogo il metano, che bruciato è trasformato principalmente in anidride carbonica. Cliccando con il cursore del mouse su quest'opzione appare la schermata riportata in figura quindici.

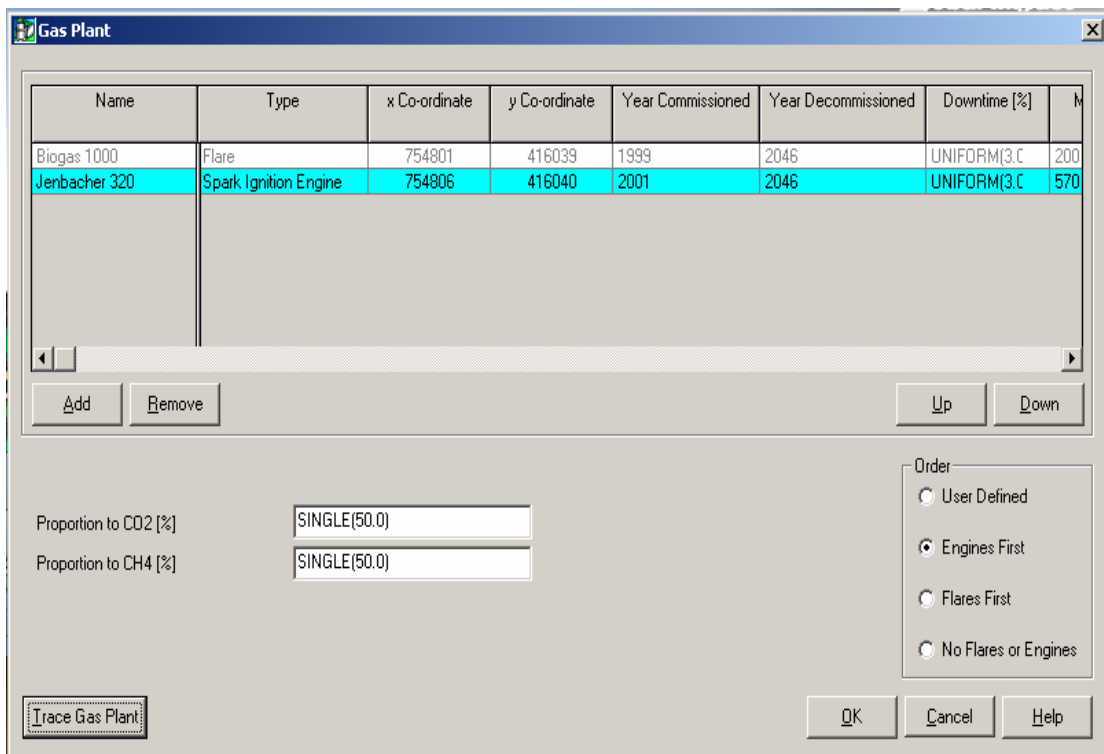


Figura 15 (Le caratteristiche degli organi per il recupero energetico)

E' possibile specificare la posizione, il tipo e i parametri caratteristici delle torce e dei motori previsti per il recupero del gas emesso dai processi anaerobici del sito.

Per avviare una corretta simulazione occorre specificare:

1. nome dell'organo installato (fiamma, motore)
2. posizione (acquisita in automatico dallo schema della discarica)
3. periodo percentuale dell'anno in cui non operano (manutenzione etc.)
4. anno di inizio funzionamento
5. anno di fine funzionamento
6. minima capacità in m³/h di gas da discarica bruciato
7. massima capacità in m³/h di gas da discarica bruciato

8. altezza ciminiera
9. diametro ciminiera
10. rapporto aria/combustibile
11. proporzioni fra CO₂ e CH₄ del gas di scarica
12. efficienza di combustione del metano e dell'idrogeno

Selezionando l'opzione "trace gas plant" è visualizzata una lista delle tracce di gas presenti all'interno dei prodotti della combustione e che è riportata parzialmente in figura sedici.

GasGroup	Enclosed Flare			Spark Igr
Gas	Equation	Dest Eff %	Stack Conc [mg/m3]	Equation
1,1,1,2-Tetrafluorochloroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1,2-Trichloroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1-Dichloroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1-Dichloroethene	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1-Dichlorotetrafluoroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,2-Dichloropropane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,2-Dichlorotetrafluoroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products
1,1,1,1-Tetrafluoroethane	non-combustion products	SINGLE(99)	SINGLE(0)	non-combustion products

Figura 16 (Gas in tracce nella combustione da Manuale GasSim)

Tutti i parametri modellati sono ricavati dalla letteratura tecnica sulle combustioni e sul funzionamento dei motori endotermici alternativi.

In questa fase, è anche possibile selezionare l'ordine di utilizzo dei diversi sistemi, ossia si deve indicare se devono essere utilizzati prima i motori ("Engines First") o le torce ("Flares First"), oppure specificare dall'utente l'ordine più adatto alla modellizzazione; bisogna prestare particolare attenzione all'ordine di utilizzo, perché GasSim, noto il range di portate con il quale opera ogni impianto, determina la quantità di gas combusto; una volta che sono stati definiti i diversi impianti di trattamento del gas, inoltre, è il software che decide di includere un particolare sistema, secondo l'ordine stabilito, qualora una quantità sufficiente di LFG sia ancora disponibile; viceversa, se la quantità di biogas

rimanente è inferiore alla capacità minima di trattamento, GasSim provvede a non considerare quel particolare impianto (figura 15, opzione “*Order*”).

Nella finestra di figura quindici è possibile, infine, definire le quantità di CO₂ e CH₄ presenti nel LFG; il parametro predefinito dal programma deriva dalla letteratura tecnica, qualora fosse presente un sistema di depurazione del gas di scarica dall’anidride carbonica, è possibile modificare le percentuali in arrivo ai motori in favore di un tenore di metano maggiore operando su questa proporzione. Con l’introduzione di questi ultimi parametri si termina la fase di introduzione dei valori necessari al software per effettuare un primo livello di analisi di rischio: lo “*screening*” della fattibilità di un progetto. Viene attivata nel menù principale l’opzione “*simulate*” ed è possibile avviare la simulazione.

Nota bene: Specie chimiche particolarmente interessanti in questa fase sono gli idrocarburi organici volatili (VOC): pur essendo, tipicamente, dei prodotti di combustione, va indicata l’efficienza di abbattimento anche per queste specie in quanto GasSim considera i VOC come delle specie chimiche che contribuiscono alla produzione di CO₂ e come responsabili principali (vedi VOC antropogenici) dell’effetto serra e di particolari reazioni con l’atmosfera con la conseguente produzione di Ozono in troposfera dannoso per la salute umana. Monitorare e conoscere le concentrazioni di questi inquinanti è previsto nel software anche se il fenomeno è ancora poco considerato.

3.5 Il livello 1 dell’analisi di rischio: lo screening

La simulazione del gas che sfugge dalla superficie della discarica, del gas prodotto dalle torce e dai motori presenti nell’impianto, può essere avviata dalla schermata principale una volta che i parametri precedentemente analizzati sono stati inseriti all’interno delle finestre di dialogo descritte nei capitoli 2.3 e 2.4. La simulazione può essere avviata sia con il tasto F5 dalla tastiera, o dalla schermata principale (vedi Fig. 3). Il software simulerà per il numero di anni specificati dall’utente e per il numero di iterazioni di Monte Carlo previste i principali gas e le tracce di gas prodotte dal sito. I risultati ottenuti, saranno salvati in file interni al programma e visualizzati all’utente in forma grafica selezionando l’opzione “*results*” dalla schermata principale.

Analizzando nel dettaglio questa voce ci accorgiamo che il software ci fornisce tutte le informazioni possibili sui gas prodotti totalmente dal sito e su tutti i contributi forniti dalle

varie celle e dagli organi posti all'interno della discarica (motori, fiamme). Selezionando quest'opzione abbiamo la possibilità di graficare in funzione del tempo le quantità di gas prodotte.

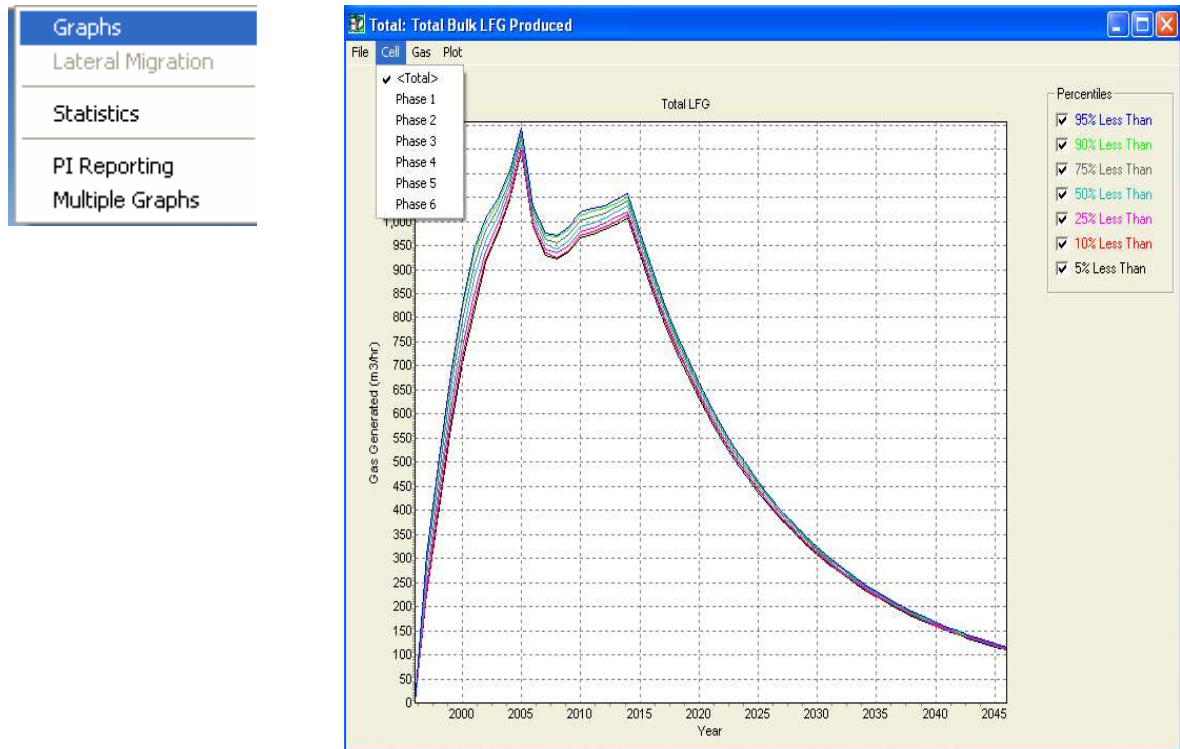


Figura 17 (menù tendina)

Figura 17 (Grafico del gas totale prodotto dalla discarica)

Selezionando l'opzione "graphs" del menù a tendina di figura diciassette, è possibile visualizzare un grafico che riporta l'andamento temporale per ogni gas e per ogni possibile contributo dato alla generazione. Possiamo così renderci conto se le quantità dei principali gas e tracce di gas prodotti sono in linea con i regolamenti vigenti e quindi, la possibile fattibilità di un progetto. In caso affermativo si può procedere ad un ulteriore livello di dettaglio dell'analisi di rischio ambientale.

I risultati prodotti sono d'intuitiva interpretazione. Dalla schermata di figura diciassette, è possibile visualizzare il grafico temporale di tutti i gas prodotti. Una particolare attenzione è rivolta al metano, anidride carbonica e idrogeno generati dalla discarica. Navigando fra le opzioni disponibili, ci si accorge che dal menù "file", si cambia la scala e la tipologia di grafico visualizzato (istogramma, linee etc.), dal menù "cell" (Fig. 17) si può selezionare o il gas generato dall'intera discarica o graficare solo il gas generato da una cella in particolare. Per impostazioni predefinite, il software visualizza come primo grafico, la

somma totale dei gas prodotti dalla discarica. L'utente può di volta in volta, dal menù "gas" selezionare un particolare tipo di gas da graficare. Ha la possibilità, altresì, di selezionare per ogni gas, dei 102 modellati dal GasSim, quale è il contributo del motore, della fiamma, la quantità che sfugge dalla superficie della discarica e la quantità che sfugge dalle pareti laterali della discarica stessa.

L'enorme mole di risultati forniti in questa fase è, per i gas "principali", modellata sia per un periodo di un anno e sia come somma totale degli anni di simulazione.

Per semplicità espositiva riporto i principali risultati che in questa fase il GasSim è in grado di graficare navigando fra le opzioni di questa voce:

1. gas generato dalla discarica (totale, per un particolare anno)
2. gas generato dalla sola superficie della discarica (totale, per un particolare anno)
3. gas generato dalla superficie laterale della discarica (totale, per un particolare anno)
4. gas generato dal motore installato (totale, per un particolare anno)
5. gas generato dalla fiamma (totale, per un particolare anno)
6. singolo gas generato dalla discarica (totale, per un particolare anno)
7. singolo gas generato dalla sola superficie della discarica (totale, per un particolare anno)
8. singolo gas generato dalla superficie laterale della discarica (totale, per un particolare anno)
9. singolo gas generato dal motore installato (totale, per un particolare anno)
10. singolo gas generato dalla fiamma (totale, per un particolare anno)

Continuando ad analizzare le opzioni del menù a tendina di figura diciassette, selezionando la voce "statistics" appare la finestra riportata in figura diciotto.

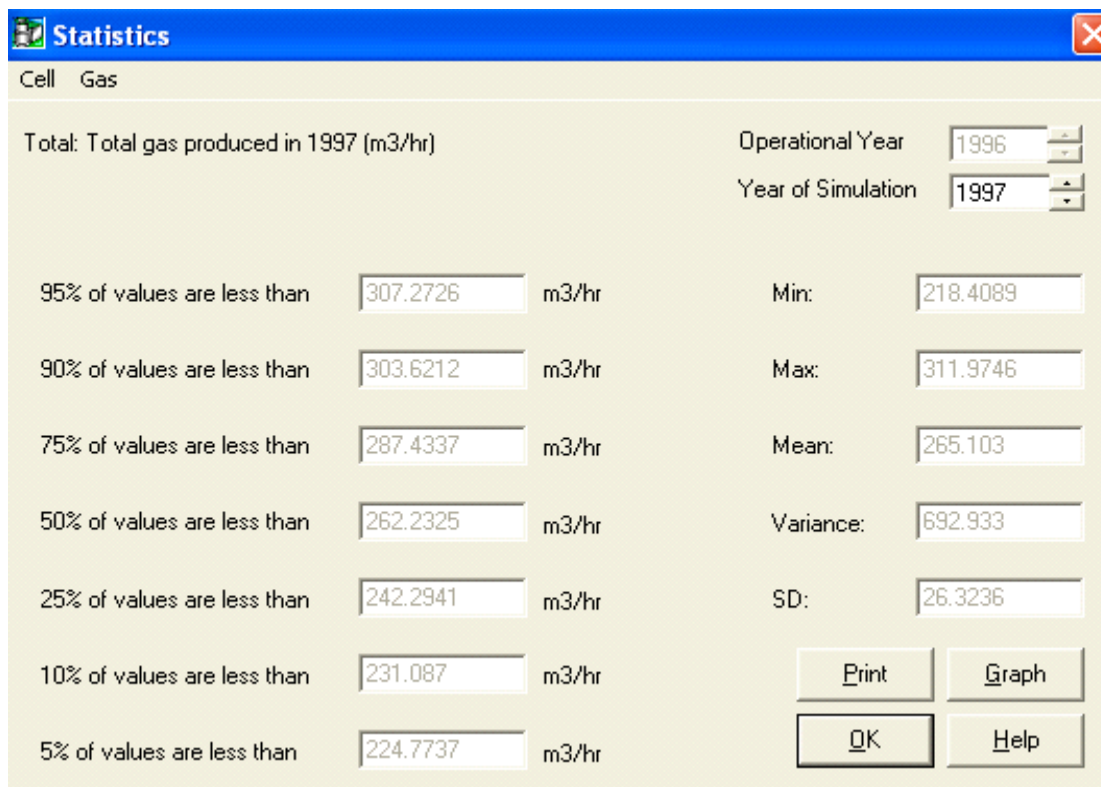


Figura 18 (Schermata risultati)

Con questa opzione non si fa altro che visualizzare in maniera numerica, i risultati riportati sotto forma grafica nel menù “*graphs*”. Navigando fra le opzioni non facciamo altro che scegliere l’anno, il gas da visualizzare e il totale o parziale contributo dato dalle varie sottoparti della discarica che lo hanno generato.

Particolare attenzione è dedicata ai gas considerati a più alto potere inquinante e responsabili dell’inquinamento stesso. Un’opzione del menù a tendina in analisi, difatti, dedica una tabella riassuntiva a questi particolari gas che l’utente può stampare. In figura diciannove è riportata questa tabella.

PI Reporting

Year: 1997

Gas	CAS	Reporting Threshold	Value to Report	(25%)	(75%)
Inorganics					
Ammonia	7664-41-7	1.00 t	n/a		
Asbestos	1332-21-4	1.00 kg	n/a		
Carbon Dioxide - 'chemical'	124-38-9	10,000.00 t	2,470.00 t	2,280.00 t	2,710.00 t
Carbon Dioxide - 'thermal'	124-38-9	10,000.00 t	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Carbon disulphide	75-15-0	1.00 t	460.00 g	148.00 g	1.34 kg
Carbon monoxide	630-08-0	100.00 t	17.70 kg	3.76 kg	81.10 kg
Hydrogen chloride	7647-01-0	10.00 t	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Hydrogen cyanide	74-90-8	100.00 kg	n/a		
Nitrous oxide	10024-97-2	10.00 t	n/a		
Phosgene	75-44-5	10.00 kg	n/a		
Sulphur hexafluoride	2551-62-4	10.00 kg	n/a		
Organics					
Acetaldehyde [Ethanal]	75-07-0	100.00 kg	1.20 kg	567.00 g	3.68 kg
Acrolein	107-02-8	10.00 kg	n/a		
Acrylamide [2-Propenamamide]	79-06-1	10.00 kg	n/a		
Acrylonitrile [2-Propenenitrile]	107-13-1	1.00 t	976.00 g	363.00 g	3.02 kg
Aldrin	309-00-2	1.00 kg	n/a		
Allyl alcohol [2-Propen-1-ol]	107-18-6	10.00 kg	n/a		
Amitrole [3-Amino-1,2,4-triazole]	61-82-5	1.00 kg	n/a		
Aniline [Benzeneamine]	62-53-3	10.00 kg	n/a		
Anthracene	120-12-7	10.00 kg	n/a		
Benzene	71-43-2	1.00 t	407.00 g	94.30 g	3.46 kg
Benzo(a)pyrene	50-32-8	1.00 kg	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Benzo(b)fluoranthene	205-99-2	1.00 kg	n/a		
Benzo(g,h)perylene	191-24-2	1.00 kg	n/a		
Benzo(k)fluoranthene	207-08-9	1.00 kg	n/a		
Benzo butyl phthalate (BBP)	85-68-7	10.00 kg	n/a		
Benzyl chloride	100-44-7	10.00 kg	n/a		
Bromoethene	593-60-2	10.00 kg	n/a		
Butadiene [1,3-Butadiene]	106-99-0	100.00 kg	1.71 kg	852.00 g	3.08 kg
Butene - all isomers	-	1.00 t	158.00 g	37.70 g	513.00 g
Carbon tetrachloride [Tetrachloromethane]	56-23-5	10.00 kg	380.00 g	49.40 g	2.18 kg

Print Copy Done Help

Figura 19 (Report dei maggiori inquinanti)

Riporta i principali inquinanti organici e inorganici che un sito di discarica può generare. L'importanza di questa tabella riassuntiva sta nel fatto che questi inquinanti sono confrontabili in maniera istantanea con i valori limite stabiliti dalla comunità europea e riportati nella terza colonna.

Il perché dell'introduzione del "Report" riassuntivo (Fig. 19) è dovuto ad un regolamento inglese che prevede un costante monitoraggio della situazione ambientale di ogni opera pubblica e non presente sul territorio. Qualora un valore calcolato superi i limiti si deve intervenire per risolvere quella situazione o decretare l'impossibilità di realizzare il progetto. Sono fuori normativa qualsiasi impianto che non fornisca questa tabella per ogni anno di funzionamento o qualsiasi progetto che non la preveda in simulazione. Nota bene: la colonna contrassegnata con CAS (figura 19) riporta il valore numerico che contraddistingue in maniera univoca la specie chimica così come voluto dall'American Chemical Society.

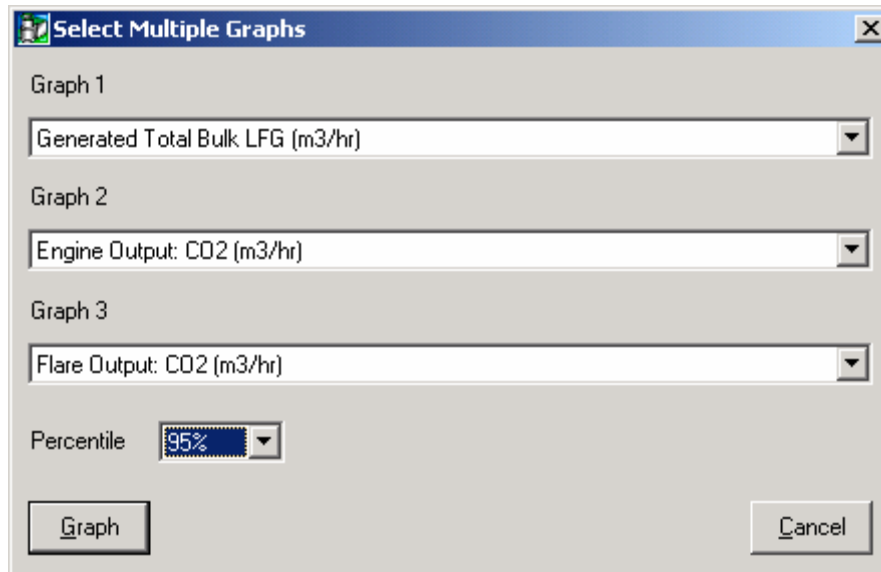


Figura 20 (Selezione dei grafici multipli)

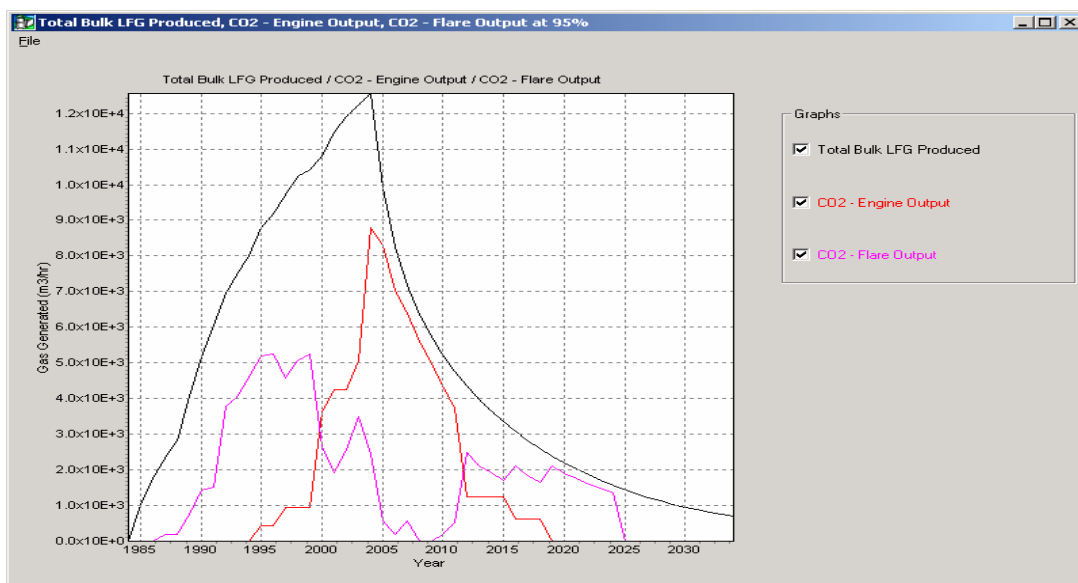


Figura 20a (Esempio di multi - grafico)

Per completezza, l'ultima opzione del menù a tendina in analisi di figura diciassette, da la possibilità all'utilizzatore del programma di mettere fino a tre grafici a confronto. Come si vede in figura 20a, sono stati messi a confronto l'anidride carbonica prodotta dalla fiamma, dal motore, in relazione al volume totale del gas di scarica prodotto. Selezionando "Multiple Graphs" (figura 17) si apre la finestra di figura venti nella quale si scelgono, semplicemente, gli andamenti temporali dei gas voluti e il software automaticamente riporta l'output grafico scelto (figura 20a). In questa maniera è possibile una più agevole lettura dei risultati.

Finiscono così gli output prodotti dal software nella prima fase di screening del progetto. Sempre in questa fase è possibile definire ulteriori parametri che porteranno alla simulazione del livello 2 e 3 dell'analisi di rischio di una discarica.

3.5.1 Ulteriori parametri definibili dall'utente: i recettori

Per completare il livello 2 e 3 dell'analisi di rischio dell'impatto dei gas generati da una discarica nel periodo di gestione e per gli anni successivi alla sua chiusura, il software in questa fase ha bisogno che vengano specificati i "recettori" presenti intorno all'impianto. Per recettore si intende, qualsiasi "bersaglio", disposto vicino al sito di discarica, che risenta dell'influenza della stessa. In questo modo, predisporremo il software per il calcolo dei livelli di gas e tracce d'inquinanti di vario genere che arrivano fino al recettore, negli anni di simulazione. Possiamo successivamente verificare se tali valori superino le normative vigenti. Per arrivare a questo risultato la procedura da seguire è: dalla schermata principale (vedi figura 3) selezionare "*tier 1 screening*", comparirà la finestra di figura ventuno.

Da notare che la voce "*tier 1 screening*" è attiva solo dopo che la simulazione è stata avviata e completata. In questa schermata il GasSim offre la possibilità all'operatore di spuntare due opzioni, la prima "*screen all years*", se selezionata, permette nella successiva simulazione di considerare tutti gli anni di funzionamento della discarica. Se deselezionata possiamo simulare un particolare anno a scelta agendo sull'opzione "*year of interest*". In basso, il software, ha importato dal file risultati, l'elenco dei gas con le rispettive quantità prodotte nella precedente simulazione. Spuntando l'opzione "*use DXF map receptors*" si attiva il bottone di comando "*define receptors*" che permette di accedere alla finestra di figura ventidue (a e b).

Tier 1 Screening

Screen All Years Year of Interest: 2015

Use DXF map receptors Define Receptors

Emissions Converter

Distance from Flare to nearest Boundary [m]: 5

Distance from Flare to nearest Receptor [m]: 250

Distance from Gas Engine to nearest Boundary [m]: 5

Distance from Gas Engine to nearest Receptor [m]: 150

Distance from Operational Area to Boundary [m]: 5

Distance from Operational Area to nearest Receptor [m]: 150

Gas	Short Term EQS or EAL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Long Term EQS or EAL [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Background Concentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
1,1,1,2-Tetrafluorochloroethane	0	0	0
1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	0	0	0
1,1,2-Trichloroethane	0	0	0
1,1-Dichloroethane	165000	8230	0
1,1-Dichloroethene	0	0	0
1,1-Dichlorotetrafluoroethane	0	0	0
1,2-Dichloropropane	0	0	0
1,2-Dichlorotetrafluoroethane	0	0	0
1-Chloro-1,1-difluoroethane	0	0	0
2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane	0	0	0
2-Propanol	0	0	0
Acetaldehyde (ethanal)	9200	370	0
Acetone	362000	18100	0

Calculate Cancel

Figura 21 (Tier 1: lo screening)

Ci ritroviamo nello schema della discarica descritto nel paragrafo 2.3. Abbiamo la possibilità, in questa fase, di posizionare i nostri recettori. In figura 22b è ingrandito il menù delle opzioni disponibile per la definizione di questi parametri. Le ultime quattro opzioni del menù permettono di gestire visivamente il disegno: ingrandirlo, spostarlo, rimpicciolirlo. Mentre le prime quattro servono per “discretizzare” i recettori. La grande variabilità dei recettori presenti intorno ad un sito di discarica può essere schematizzata tutta in quelle quattro opzioni.

Se consideriamo, ad esempio, come recettore un abitazione nei pressi della discarica, la prima opzione permette di definire questa struttura come un recettore puntuale. In questo modo comunicheremo al software di calcolare le quantità di gas che arrivano fino a quel punto. Se consideriamo come recettore un corso d’acqua, con la seconda opzione possiamo coprire l’intero corso d’acqua con una “griglia cartesiana” in modo

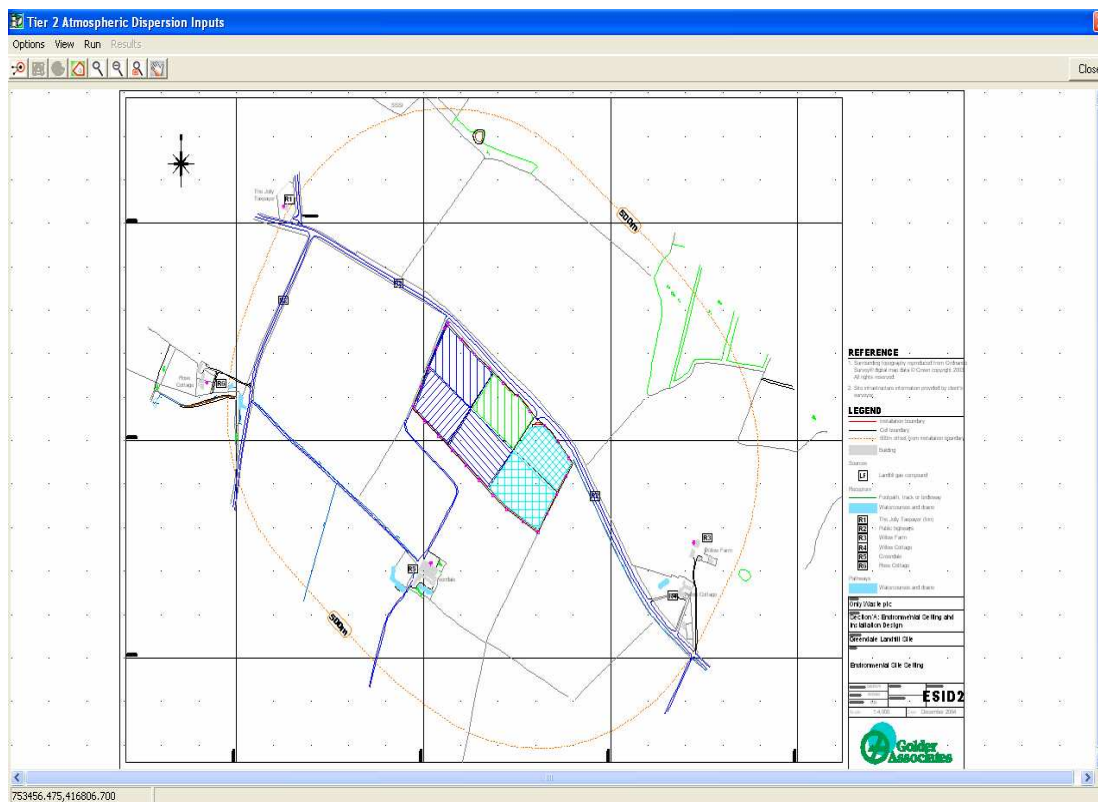


Figura 22a (La schermata per la definizione dei recettori)

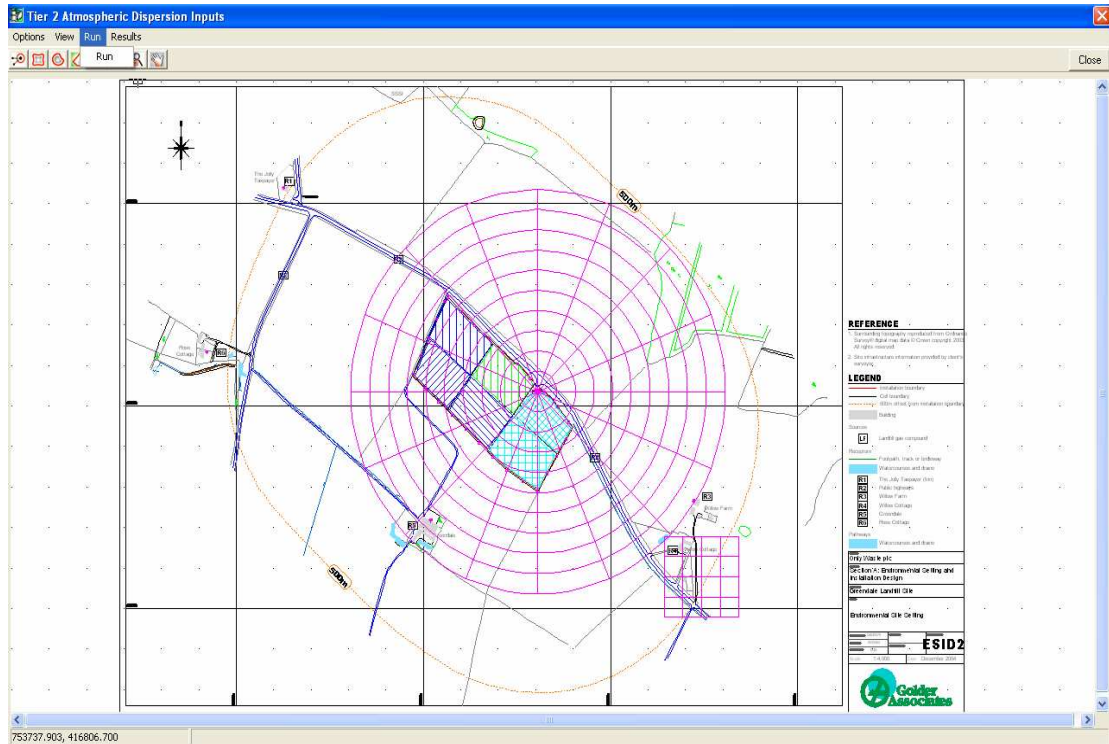


Figura 22b (Menù delle opzioni ingrandito)

che l'intera superficie del fiume sia coperta dal calcolo dell'impatto ambientale provocato, possiamo altresì utilizzare la griglia cartesiana per coprire l'intera superficie di un gruppo di case. Con la terza opzione, attiviamo la "griglia polare" in questo modo avremo una griglia circolare che permette fino ad un certo raggio di coprire una superficie che il software considererà nella simulazione. In questo modo, una volta definiti i recettori, il software conoscerà la distanza che i recettori, puntuali e non, avranno dai motori, dalle fiamme e dalle celle della discarica. Con le opportune leggi matematiche di attenuazione e trasporto dei gas ci farà conoscere i valori degli inquinanti che arriveranno fino a questi bersagli. In definitiva, le possibilità di "discretizzazione" del recettore sono:

1. Recettore puntuale;
2. Griglia cartesiana (recettore esteso);
3. Griglia polare (recettore esteso);

Per confronto in figura 23a è riportata la mappa con le griglie polari e cartesiana inserite.



Figura

23a (La definizione dei recettori)

In figura 23b abbiamo la schermata riassuntiva di tutti i recettori definiti. Il software in automatico converte le nostre variazioni grafiche in punti cartesiani che riporta in questa finestra. Qui l'operatore ha la sola possibilità di cambiare i nomi dei recettori definiti, dai valori impostati in maniera predefinita. E' possibile, quindi, cambiare con nomi mnemonicamente più idonei i parametri impostati di default dal software. Guardando attentamente si può notare che il programma ha calcolato per la griglia polare e cartesiana i valori dei punti d'intersezione visibili in figura 23a. E' in questi punti d'intersezione che il software calcolerà la propagazione del gas di scarica. Si discretizza in questa maniera una superficie in più valori puntuali rendendo più veloce la simulazione

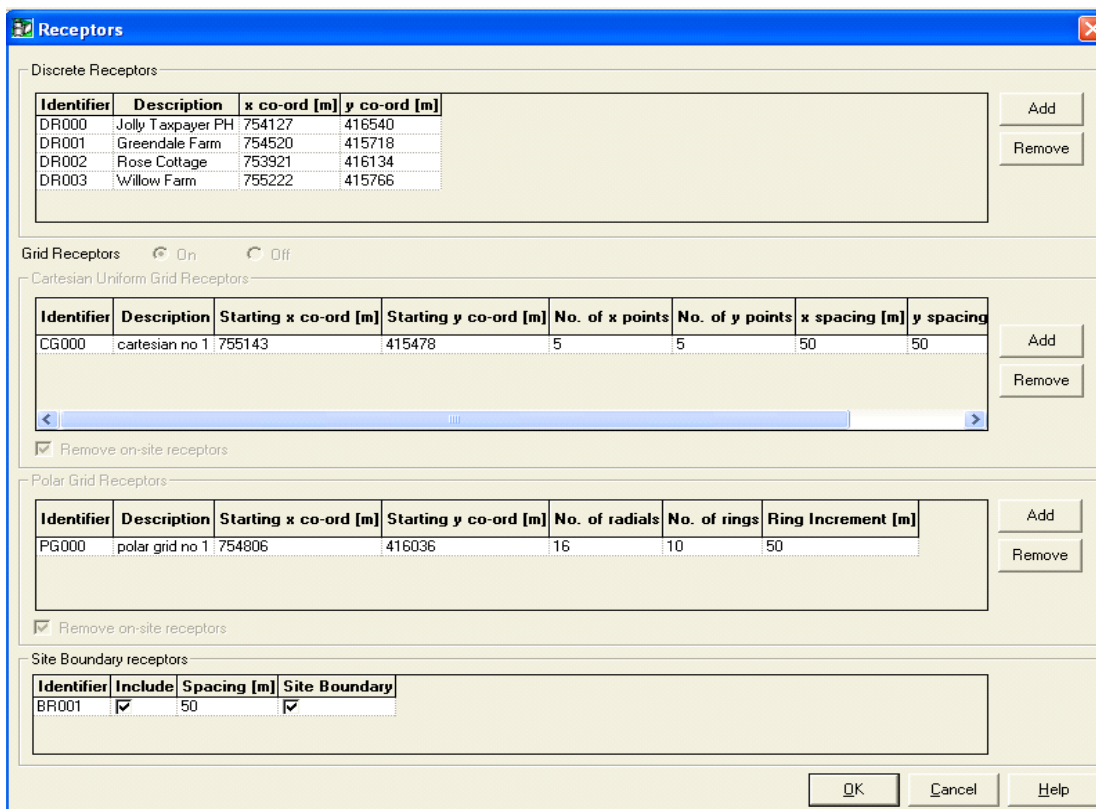


Figura 23b (La definizione dei recettori)

3.5.2 Tabella conclusiva della fase di screening

Una volta definiti i recettori, GasSim offre la possibilità cliccando sull'opzione "calculate" di figura ventuno di visualizzare la tabella riassuntiva di figura ventiquattro.

Come già specificato nel paragrafo 3.5.1, la tabella può essere visualizzata per l'intera somma degli anni di simulazione o per uno specifico anno di simulazione spuntando l'opzione "screen all years". Questa tabella riassume i risultati della simulazione avviata nella prima fase e ottimizza le successive fasi simulate. Sulla prima colonna della tabella sono riportati tutti i gas modellati dal GasSim. La seconda colonna riporta l'anno scelto per la simulazione. In figura ventiquattro, tale anno è pari al 2015. Le concentrazioni dei gas modellati, sono suddivise in valutazioni di "breve periodo" e lungo periodo".

La tabella riporta sia per il breve periodo e sia per il lungo periodo le concentrazioni di ogni gas all'interno del confine del sito di discarica e la distanza prevista dopo la quale la concentrazione dello specifico gas diventa insignificante (terza, quarta, settima e ottava colonna)

Il software risponde alle seguenti domande:

1. la concentrazione è insignificante?
2. e' necessaria una modellazione in dettaglio?

Tier 1 Screening Results									
	Year	Short Term				Long Term			
		Predicted Boundary Concentration µg/m3	Predicted Nearest Receptor Concentration µg/m3	Is the emission rate Insignificant?	Is detailed modelling required?	Predicted Boundary Concentration µg/m3	Predicted Nearest Receptor Concentration µg/m3	Is the emission rate Insignificant?	Is detailed modelling required?
1,1-Dichloroethane - surface	2015	75.6442	47.2776	Yes	No	1.56016	0.425498	Yes	No
Acetaldehyde (ethanal) - surface	2015	0.47775	0.298594	Yes	No	0.00985359	0.00268734	Yes	No
Acetone - surface	2015	0.0614662	0.0384163	Yes	No	0.00126774	0.000345747	Yes	No
Acrylonitrile - surface	2015	0.26722	0.167013	Yes	No	0.00551141	0.00150311	Yes	No
Benzene - surface	2015	0.179274	0.112046	Yes	No	0.00369752	0.00100841	Yes	No
Benzo[a]pyrene - engine	2015	0.0172916	0.00707385	No EAL	No EAL	0.00094318	0.000727035	No	Yes
Benzo[a]pyrene - flare	2015	7.21494e-005	1.89867e-005	No EAL	No EAL	2.87513e-006	1.62743e-006	Yes (at	No
Butadiene (modelled as	2015	0.0941148	0.0588217	Yes	No	0.00194112	0.000529395	Yes	No
Butane - surface	2015	1.5269	0.954312	Yes	No	0.0314923	0.00858881	Yes	No
Carbon disulphide - surface	2015	0.0387248	0.024203	Yes	No	0.0007987	0.000217827	Yes	No
Carbon monoxide - engine	2015	666.12	272.503	Yes	No	36.3338	28.0073	No EAL	No EAL
Carbon monoxide - flare	2015	214.876	56.5462	Yes	No	8.56272	4.84682	No EAL	No EAL
Carbon monoxide - surface	2015	8.72316	5.45198	Yes	No	0.179915	0.0490578	No EAL	No EAL
Carbon tetrachloride	2015	0.189318	0.118323	Yes	No	0.00390467	0.00106491	Yes	No
Chlorobenzene - surface	2015	16.8301	10.5188	Yes	No	0.34712	0.0346691	Yes	No

Not Modelled:
1,1,1,2-Tetrafluorochloroethane
1,1,1-Trichlorotrifluoroethane
1,1,2-Trichloroethane
1,1-Dichloroethane
1,1-Dichlorotetrafluoroethane
1,2-Dichloropropane
1,2-Dichlorotetrafluoroethane
1-Chloro-1,1-difluoroethane
2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane
2-Propanol
Bromodichloromethane
Butene isomers

Figura 24 (I risultati della fase di screening)

Riassume le risposte riportate nelle colonne della tabella (Fig. 24), con “yes”, “yes at receptors”, “no EAL”. Da una risposta di massima, in base hai dati forniti dall’operatore, dei gas per i quali è necessaria una modellazione in dettaglio e quali gas, già nei valori “presunti”, sono insignificanti. Per tali gas non è necessario continuare una modellazione. I gas per cui non è necessaria una modellazione in dettaglio non vengono aggiunti nella lista delle successive simulazioni e indicati nella tabella classificata con “not modelled” (fig. 24).

Qualsiasi gas che non raggiunge un livello di pericolosità, perché generato in discarica in quantità insignificanti (no EAL), oppure generato in quantità significative ma al di sotto dei limiti di emissione al recettore o nei confini del sito, non essendo modellato

successivamente rende più rapide le simulazioni eseguite dal software. In GasSim, un'emissione relativa ad un particolare processo è considerata non significativa se:

- La concentrazione della specie chimica in esame è inferiore all'1% rispetto alle concentrazioni nel lungo periodo "*Environmental Assessment Level*" (EAL) o "*Environmental Quality Standard*" (EQS), definite dalla normativa inglese;
- La concentrazione della specie chimica in esame è inferiore al 10% rispetto alle concentrazioni EAL o EQS riferite al breve periodo;

La divisione in valutazioni di breve e lungo periodo valuta l'impatto dei gas sulla salute umana, in una prima fase di analisi, in periodi relativamente brevi (nell'ordine delle ore) e relativamente lunghi (nell'ordine degli anni). Le prime interessano soprattutto i dipendenti del sito di discarica (valutazione *on-site*), le seconde le persone che per anni e più ore al giorno vivono intorno al sito (valutazione *off site*).

Con questa tabella, si conclude formalmente il primo livello dell'analisi di rischio dei gas di discarica così come voluta dall'"*Environment Agency*" inglese, fase in cui il software fa risaltare agli occhi tutti i valori eccezionalmente fuori norma anche senza una modellazione in dettaglio.

Per predisporre il software al calcolo della successiva fase, l'ultima opzione di figura ventuno da analizzare rimane "*emmission converter*". Cliccando su questa opzione si apre la schermata di figura venticinque.

In questa schermata le opzioni disponibili all'utente sono poche, c'è solo la possibilità di selezionare l'intervallo di confidenza che le distribuzioni di probabilità devono seguire. Cliccando in sequenza "*calculate PDFs*" e "*write emission to data file*" non si fa altro che normalizzare i dati della simulazione di *screening* del motore e della fiamma (torcia) alla successiva fase di simulazione: la dispersione atmosferica. Il perché dell'introduzione del modulo di conversione delle emissioni (vedi figura 25)

Figura 25 (La conversione delle emissioni)

è dovuto al fatto che la simulazione della dispersione atmosferica non è più un'analisi probabilistica ma modellizzata senza l'uso del metodo Monte Carlo (metodo non probabilistico).

3.6 Il livello 2 dell'analisi di rischio: la dispersione atmosferica

I sviluppatori del GasSim hanno affidato il calcolo della dispersione atmosferica ad AERMOD, un software commissionato dall'americana EPA (*Environmental Protection Agency*), il cui codice è stato sviluppato dalla "American Meteorological Society" (AMS). Il cuore di questa simulazione è controllato da questo programma. Per questo si rende necessaria la "normalizzazione" delle funzioni distribuzione di probabilità (PDF) in valori direttamente utilizzabili da AERMOD, come sottolineato nel precedente paragrafo. AERMOD non è solo il nome del software commissionato dall'EPA ma è anche un metodo semiprobabilistico sviluppato da quest'organo governativo americano. Per completezza, il nome è l'acronimo di "American meteorological society and Environmental protection agency Regulatory MODEL", un metodo Gaussiano per il calcolo

della dispersione in atmosfera dei gas prodotti dalla discarica (emissioni fuggitive attraverso la copertura), dalla fiamma e dai motori. Rimando al capitolo sei del manuale inglese fornito con il software per conoscere l'equazioni matematiche alla base del metodo e le modalità operative. Cliccando sull'opzione “*tier 2 atmospheric dispersion*” si apre la finestra già descritta in figura 23a. Le opzioni presenti in questa schermata sono state in larga parte analizzate nel paragrafo 2.5.1. La sostanziale differenza, oltre che nella possibilità di definire i recettori in maniera più precisa, è la funzione “*simulation parameters*”.

Cliccando su options → *simulation parameters*, dalla schermata in analisi, si apre la finestra riportata in figura ventisei.

Substance of Interest: Nitrogen oxides Year: 2010 Percentile of emission rate: 95

Point Sources

Identifier	Description	x-coord [m]	y-coord [m]	Include	Emission rate [g/s]	Stack Height [m]	Temperature (°C)	Exit Velocity [m/s]	Diam
PS001	Biogas 1000	754,801	416,039	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0572	8.2	1000	4.2436	1.1
PS002	Jenbacher 320	754,806	416,040	<input checked="" type="checkbox"/>	1.3140	5.5	500	37.9915	0.35

Fugitive Sources

Identifier	Description	Initial x-coord [m]	Initial y-coord [m]	Include	Emission rate [g/m2/s]
FS002	Phase 2	754,516	416,166	<input type="checkbox"/>	0.0
FS003	Phase 3	754,628	416,072	<input type="checkbox"/>	0.0
FS004	Phase 4	754,688	416,153	<input type="checkbox"/>	0.0
FS005	Phase 5	754,741	415,974	<input type="checkbox"/>	0.0
FS006	Phase 6	754,786	416,031	<input type="checkbox"/>	0.0

Meteorological Data

Post Processing Using Air Quality Objectives for

London
 England and Wales
 Scotland
 EU Directive Standards

OK Cancel Help

Figura 26 (I parametri della dispersione in atmosfera)

La finestra ci permette di selezionare la sostanza che ci interessa simulare (“*substance of interest*”), l’anno di simulazione (“*year*”) e il percentile dell’emissione (“*percentile of emission rate*”) ovvero nell’esempio di figura ventisei, stiamo simulando l’andamento in atmosfera dell’ossido di azoto nel 2010 e chiediamo al software di considerare nella

simulazione che tutti i valori della distribuzione utilizzata siano inferiori al percentile selezionato.

I gas presenti nella lista delle sostanze simulabili sono epurati dai gas che in fase di screening sono risultati emessi in maniera insignificante dalla discarica (*not modelled*), dal motore o dalla torcia. I vari gas modellati non sono divisi più in base alla causa che gli ha generati. Ad esempio, se intendiamo modellare la dispersione in atmosfera dell'anidride carbonica, il software modellerà sia l'anidride carbonica prodotta dalla discarica, dalla torcia o dal motore e non divide il risultato ottenuto per i singoli contributi, come avveniva nella fase di screening ma visualizzerà il risultato "somma".

Nella schermata è possibile selezionare o deselezionare, le celle, i motori o le torce installate. Sotto la dicitura "*points sources*" sono, infatti, riportati in sequenza tutti questi organi. Il programma calcola automaticamente i parametri necessari per la simulazione della dispersione atmosferica (posizione, temperatura fiamma, velocità d'emissione etc.) e permette all'operatore di spuntare la possibilità di includere fiamma e motori nel calcolo della dispersione del gas selezionato. Permette di selezionare anche il contributo delle celle che si vogliono considerare nelle emissioni fuggitive attraverso la copertura spuntando le opzioni presenti in "*fugitive sources*". L'opzione "*post processing using air quality objective for*" permette al codice GasSim di calcolare se i parametri di emissione siano in linea con la qualità dell'aria e le direttive comunitarie rispettivamente di:

1. Londra
2. Inghilterra e Galles
3. Scozia
4. Comunità europea

Per obiettivi di qualità dell'aria, si intende, il non superamento di determinati valori da parte delle emissioni del sito in analisi. E' possibile selezionare quale direttiva si intende rispettare oppure la qualità dell'aria che si intende raggiungere. Il software essendo studiato per la realtà inglese, riporta come obiettivo di qualità dell'aria la londinese e la scozzese, e come direttive rispettate l'inglese e la direttiva comunitaria. Alcuni parametri e inquinanti generati dal funzionamento della discarica potrebbero essere in linea con le emissioni comunitarie, ma maggiori rispetto alla qualità dell'aria respirata a Londra normalmente durante l'anno. Il GasSim permette selezionando "Londra" di considerare

valori più ristrettivi rispetto a quelli dettati dalla comunità europea. Le leggi matematiche e la teoria nascosta dietro questi algoritmi, con cui calcola questi parametri è descritto nel capitolo sei del manuale associato al software. In breve, per il gas considerato, si calcola il valore limite medio nell'arco temporale di un anno misurato in città e quante volte all'anno tale valore viene superato. In base a questi due dati il software calcola il percentile che per quella sostanza non si deve superare. Verifica successivamente, se il valore simulato è inferiore al valore di qualità dell'aria selezionato e che il numero delle volte in cui tale valore viene superato sia inferiore al numero delle volte possibili per confronto fra risultati. L'ultima opzione che ci manca da analizzare della schermata di figura ventisei e il parametro "*meteorological data*" cui dedico l'intero capitolo successivo.

3.6.1 I dati meteorologici

Cliccando sull'opzione "*meteorological data*" della schermata di figura ventisei si apre la finestra che riporto in figura 27a.

Nella simulazione della dispersione atmosferica il programma richiede l'introduzione dei dati meteo relativi alla zona di interesse. L'accuratezza dei dati meteorologici introdotti si ripercuoterà nell'accuratezza di calcolo della modellazione. AERMOD che in questa fase si occupa di gestire la simulazione della dispersione atmosferica ha bisogno di dati meteo orari formattati in un formato particolare. I file necessari ad AERMOD per avviare una corretta simulazione hanno estensione SFC e PLF.

Il file SFC sono file di testo che contengono al loro interno rispettivamente:

- Data e orario di campionamento dei dati;
- Velocità del vento;
- Temperatura dell'aria;
- Direzione del vento;
- Umidità assoluta dell'aria;
- Umidità relativa dell'aria;
- Pressione atmosferica;
- Altezza della fascia atmosferica di rimescolamento;
- Densità dell'aria;

Environment Agency Region: <none>

Import Pre-Processed Site Specific met file: C:\BEDF1999.SFC

c:\bedf1999.PFL

Surface Station Number: 03440

Upper Air Station Number: 0

Year: 99

Elevation: 85

Data Period	Year	Month	Day	Hour
Start	99	1	1	1
End	99	12	31	24

Buttons: OK, Cancel, Help

Figura 27 (I dati meteorologici)

I file PLF sono file operativi in cui il software riporta medie, valori massimi e minimi calcolati partendo dai file SFC a disposizione. Quindi operativamente i dati meteo di cui il software necessita sono contenuti nel solo file SFC, il file PLF viene creato partendo da quest'ultimo. L'unica cosa importante è che i file SFC e PLF abbiano lo stesso nome e siano contenuti nella stessa cartella (il file con estensione PLF può essere anche vuoto). Il software contiene dei dati meteorologici relativi all'Inghilterra poiché è stato sviluppato per l'utilizzo primario in questa nazione. Tali "regioni" in cui idealmente è stato suddiviso il territorio inglese sono selezionabili dal menù a tendina dell'opzione "*Environment Agency Region*" di figura ventisette.

In figura ventotto sono riportate le "regioni" in cui sono state suddivise le zone climatiche inglesi e in cui sono presenti le informazioni climatiche, salvate all'interno del software. All'utilizzatore italiano del programma interessa la seconda opzione selezionabile con il tasto "*browse*" presente in figura ventisette, che permette di importare un file SFC esterno contenente i dati meteo della zona d'interesse. Riporto la cartina inglese per rendere visivamente chiaro il "passo" di validità dei dati meteo in possesso. Ad es. se si hanno a

disposizione, infatti, i dati meteo relativi a Torino non possono essere utilizzati per simulazioni distanti più di trenta chilometri da questa città.



Figura 28 (*Le zone climatiche inglesi*)

In Italia reperire i dati meteo formattati in questo formato non è agevole. Se, infatti, si hanno a disposizione gratuitamente dalle ARPA i dati meteo in formato ASCII, per ogni stazione meteo disposta sul territorio, non è facile convertirli utilizzando questa formattazione. AERMOD essendo un software americano, utilizza unità di misura diverse dal sistema internazionale e una diversa modalità nella gestione delle date. I dati italiani sono “incompatibili” con questo software, tuttavia esistono aziende di servizi che forniscono tali dati formattati nel formato richiesto. Esiste anche la possibilità di utilizzare un software, AERMET, che permette la conversione e l’introduzione dei dati meteo in

formato SFC, sviluppato dalla stessa EPA, per sopperire a questi inconvenienti. Il software con l'interfaccia minimale in Dos è scaricabile gratuitamente dalla rete, per la versione "User friendly" è necessario l'acquisto dell'intero pacchetto AERMOD.

Un'evidenza doverosa è che questa formattazione di dati meteo-climatici è utilizzata in Canada, Stati Uniti, Inghilterra e Giappone e per queste nazioni sono disponibili gratuitamente questa tipologia di file scaricabili direttamente dai siti che raccolgono gli storici della nazione. La versione di AERMET utilizzata dal GasSim è la versione 06341, i dati SFC meteo utilizzati devono essere creati quasi obbligatoriamente con questa versione. Se vengono generati con una versione di AERMET differente la simulazione non si avvia. Si può, tuttavia, aggirare quest'inconveniente aprendo il file SFC con un editor di testo e cambiando forzatamente il parametro "version" con la versione utilizzata dal programma.

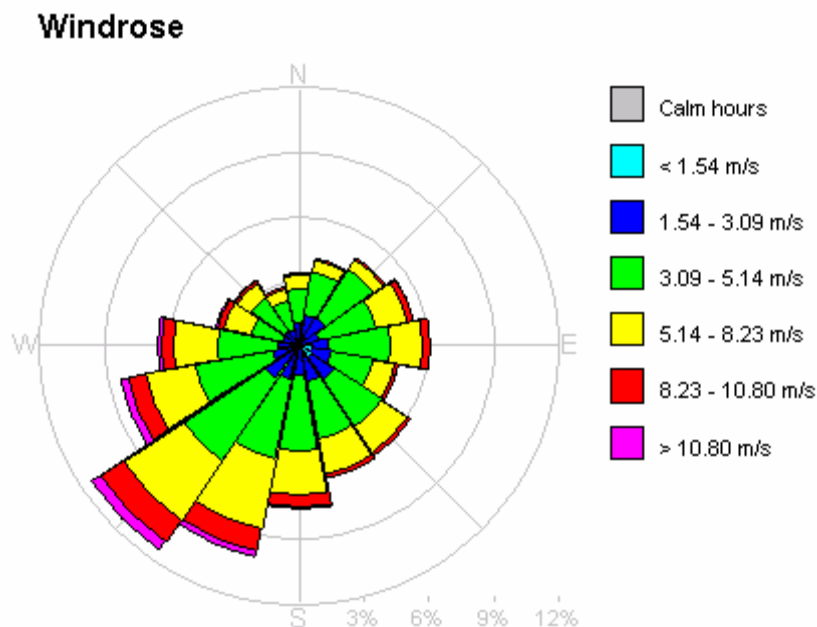


Figura 29 (Esempio della rosa dei venti per la dispersione atmosferica)

In figura ventinove è riportata una rosa del vento come esempio dell'importanza dei dati meteo direzione e velocità del vento per il calcolo della dispersione atmosferica.

Le ultime informazioni che si possono introdurre nella schermata di figura ventisei sono essenzialmente descrittive della posizione, nome e altezza della stazione meteo che ha effettuato le misurazioni e il valore di inizio e fine della campionatura. Una volta specificato tutti questi parametri si può avviare la simulazione della dispersione atmosferica.

3.6.2 Avvio della simulazione “dispersione atmosferica”

Introdotti tutti i parametri necessari, già descritti nei precedenti paragrafi, dalla schermata visualizzata in figura 30a, è possibile avviare la simulazione. La procedura è semplice basta selezionare run-→*simulate*, il software inizierà a calcolare la diffusione del gas in atmosfera utilizzando i dati meteo a disposizione.

La simulazione, per l'enorme quantità di iterazioni che deve eseguire, è relativamente lunga, per questo qualora già effettuata precedentemente, è possibile richiamarla cliccando sull'opzione results-→*load results*. In questo modo il software richiama i risultati dell'ultima simulazione salvata in un file interno al programma, invisibile all'operatore. In figura 30a si può vedere il risultato operativo dell'avvio di una simulazione. Una volta terminato il calcolo della dispersione atmosferica, dalla schermata in analisi, si può richiamare la tabella dei risultati ottenuti dalla modellazione. La procedura da seguire è: results-→*view results*". Apparirà la finestra riportata in figura 30b. La schermata riassume tutti i risultati calcolati dal software e per ogni inquinante specificato, le quantità in milligrammi per metro cubo d'aria al recettore.

Per facilitare un'analisi visiva, è prevista una diversa colorazione dei risultati. In rosso sono riportati i valori superati. In nero i valori che rientrano nei parametri e in grigio quei risultati non rilevanti. Per non rilevanza dei risultati si intende, in questa fase, che la quantità di gas o è estremamente esigua al recettore oppure non è un gas valutato nella normativa specificata, di cui non è previsto perciò un valore limite.

L'analisi di rischio segue il principio del “*worst case*”, per questo la schermata dei risultati riporta per ogni bersaglio specificato, il peggiore valore orario modellato e la

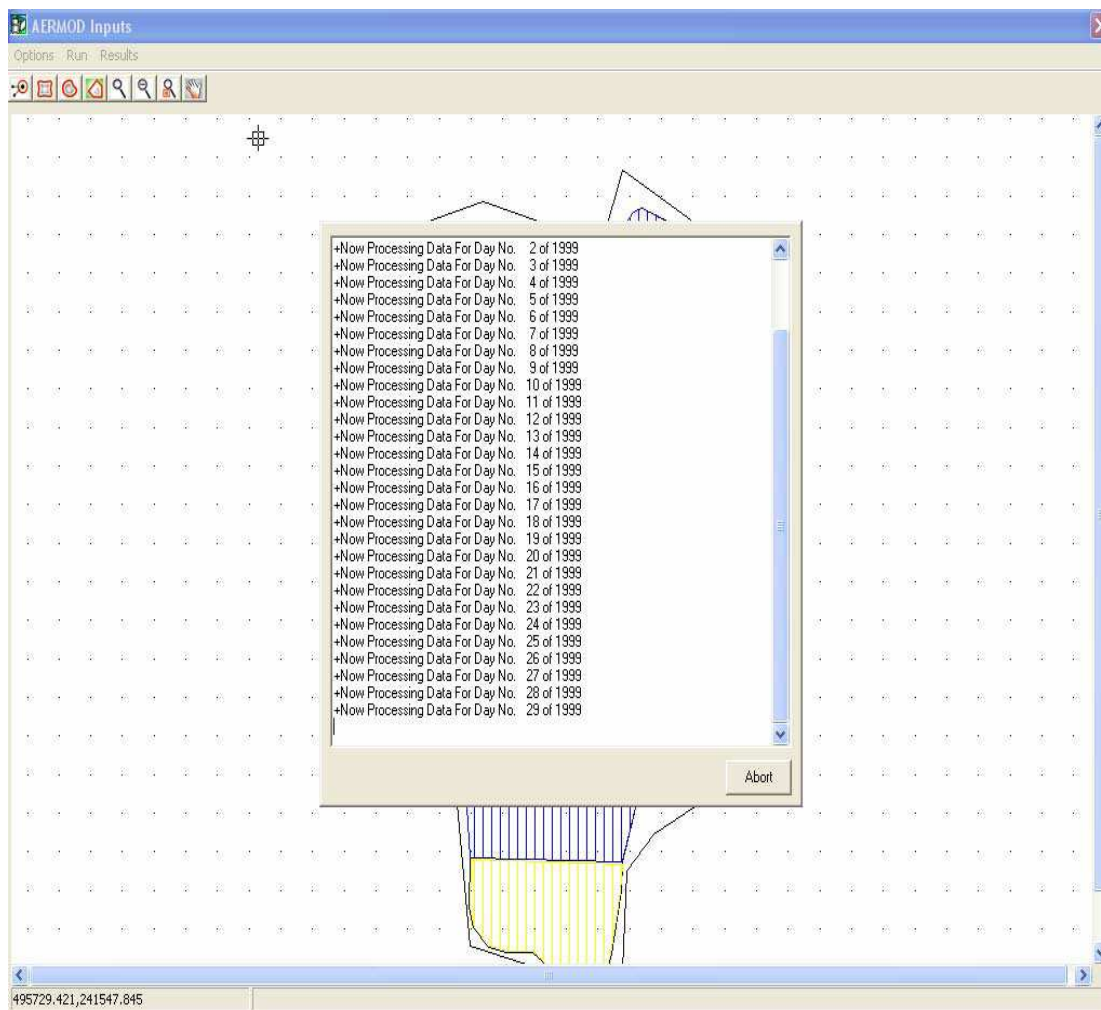


Figura 30a (*Risultato dell'avvio della dispersione atmosferica*)

media dei valori modellati annuali che non superano il percentile specificato. Nella schermata di figura 30b, volutamente si è scelto di visualizzare fra i risultati della modellizzazione gli inquinanti, fra le emissioni di una discarica, che sono responsabili dei “cattivi” odori. Hai recettori puntuali dell'esempio, le emissioni sono il linea con la qualità dell'aria respirata nella città di Londra. Nei confini del sito di discarica i parametri superano le emissioni limite. L'unità di misura degli odori è OU/m^3 che corrisponde genericamente alla sommatoria dei valori limite delle specie chimiche responsabili della variazione organolettica della qualità dell'aria (unità odorimetriche rilevate per mezzo di nasi elettronici e a cui si stabilisce una soglia). Quest'analisi dei risultati porterà l'operatore del software a valutare la fattibilità di un progetto o di mettere in atto una strategia per abbattere le emissioni.

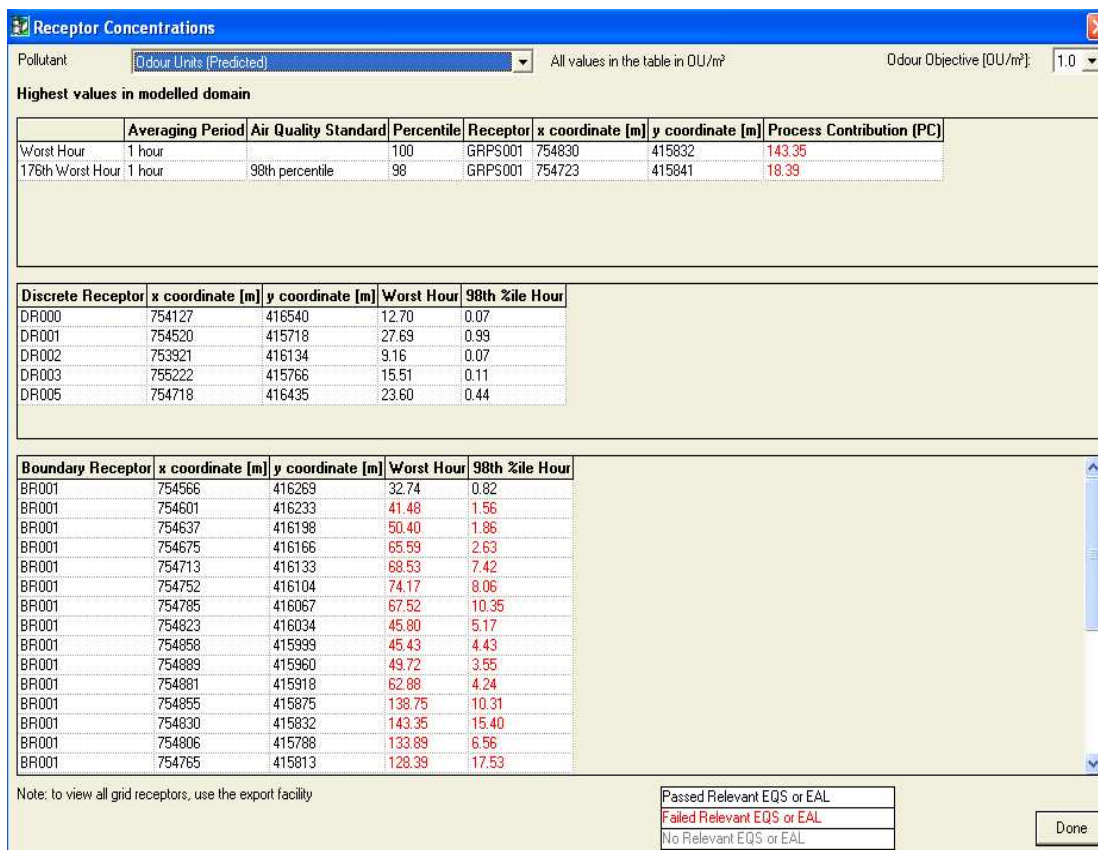


Figura 30b (Risultati della fase di dispersione atmosferica)

Si può reiterare quest'operazione per tutti i gas modellati nella dispersione atmosferica, selezionando di volta in volta, dal menù a tendina dell'opzione "pollution", l'inquinante desiderato. Nella colonna "air quality standard" appare il valore di confronto previsto dalla normativa o dalla qualità dell'aria specificata prima di avviare la modellizzazione. Il confronto verrà fatto tenendo conto del peggiore valore calcolato dalla simulazione nell'ora ad ogni recettore e per la media dei valori che rispettano il percentile specificato della qualità dell'aria selezionata se non direttamente previsto dalla normativa. Per chiarire questo concetto riporto un esempio concreto. Se si sceglie come obiettivo per la qualità dell'aria, l'aria respirata a Londra, e in questa città un determinato gas supera il valore limite 20 volte l'anno, il GasSim calcolerà come percentile:

$$100 - (20/8760) \times 100 = 99,80\%$$

Dove 8760 sono il numero delle ore in un anno. Confronterà i peggiori dati annuali calcolati con il valore limite e verificherà che nel 99,80% non superino tale valore.

Tutti i risultati della tabella di figura 30b sono le emissioni calcolate a livello terra. Quindi sia la concentrazione prevista dell'inquinante (PEC) e il contributo del processo che lo ha generato (PC) sono valori limite modellati fino al livello più basso dell'atmosfera. Si illustra di seguito un modello di calcolo dei valori limiti previsto dalle normative inglesi e che potrebbe essere utile nella pratica italiana. La distinzione fra PEC e PC è dovuta al fatto che la discarica può essere ubicata in luoghi in cui la qualità dell'aria per determinati inquinanti è già "compromessa" da installazioni vicine. Per considerare il contributo d'inquinamento somma delle due o più unità (discariche, industrie etc.) in figura 21, il GasSim, mette a disposizione nella tabella la possibilità di inserire le "background concentration", ovvero le concentrazioni di determinate sostanze misurate a terra nel sito di discarica e non dipendenti dalla degradazione dei rifiuti. Inserendo queste ulteriori concentrazioni, nella simulazione verranno considerate e monitorate le dispersioni somma che evidentemente andranno a costituire l'inquinamento totale a terra (PEC) e distinte da quelle provocate dal solo nostro processo (PC). Inoltre in accordo con il principio del caso peggiore nel confronto con i valori di qualità dell'aria previsti nel "breve periodo" il software considererà, per ogni sostanza, la somma del PC più due volte le "background concentration" e nel "lungo periodo" la somma del PC più una volta le "background concentration". Il valore risultante costituirà con un buon margine il valore di confronto con la qualità dell'aria.

L'ultima opzione che ci resta da analizzare della schermata di figura 30a è l'opzione "export". Dal menù results-→"exports" si apre la finestra visibile in figura 31.

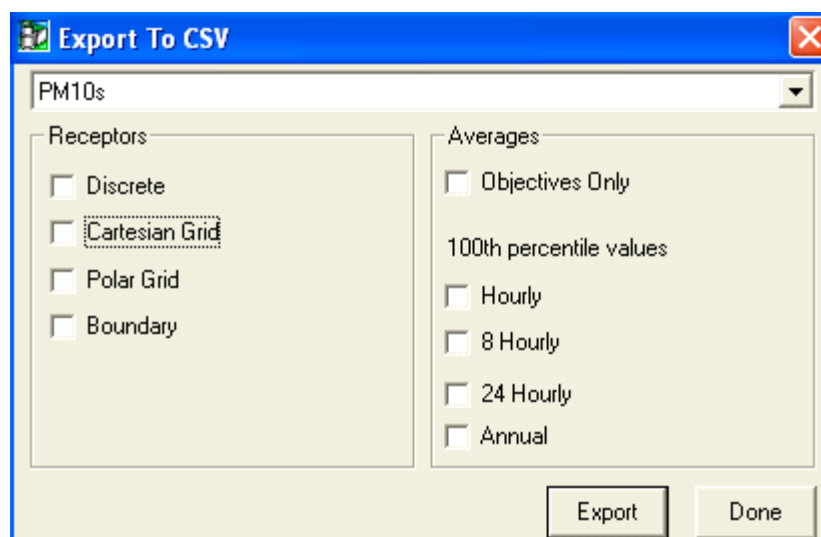


Figura 31 (Modulo esportazione dei risultati)

Il GasSim facilita l'interazione con programmi esterni permettendo la possibilità di salvare i risultati ottenuti in un file di estensione CSV gestibile da EXCEL®. Questa semplice interfaccia consente spuntando le opzioni di scegliere i risultati che si vogliono esportare. Con la simulazione della dispersione atmosferica non si utilizza più il metodo Monte Carlo per la modellizzazione, ma un metodo Gaussiano sviluppato dall' EPA per la corretta individuazione del "plume" atmosferico . Per plume atmosferico si intende la fascia atmosferica nella quale si diffondono gli inquinanti. La necessità di dati meteo-climatici più corretti possibile e campionati per un periodo lungo più di un anno permette il miglior calcolo dell'altezza e del rimescolamento in atmosfera dei gas modellati. Tuttavia si sottolinea che il limite imposto dal GasSim al periodo di campionatura dei dati meteo è di cinque anni. Anche se si hanno a disposizione maggiori dettagli storici-climatici di una zona, la simulazione verrà interrotta una volta raggiunto quest'arco temporale rendendo vane le maggiori informazioni a disposizione. La simulazione, in questa fase, perde anche del suo valore "probabilistico" che aveva nelle altre fasi analizzate. Si basa ora, infatti, sulla lettura del dato climatico e con l'utilizzo di leggi matematiche che modellizzano la diffusione, calcola le attenuazioni all'obiettivo. Il processo è reiterato per tutte le ore del giorno in cui si ha l'informazione meteo. Per maggiori dettagli riguardo le leggi matematiche utilizzate rimando al capitolo sei del manuale allegato al software.

3.7 L'impatto globale

Simulata la dispersione atmosferica, il software permette anche di analizzare la scarica in un contesto più ampio. Selezionando l'opzione "*Global impact*" dalla schermata principale del programma (vedi figura 3) si avvierà automaticamente una lettura dei risultati finora calcolati dal software che si concluderà con la visualizzazione della tabella riportata in figura trentadue.

E' una tabella riassuntiva che contiene informazioni utili sulla determinazione del peso della nostra opera su tematiche di inquinamento di interesse mondiale.

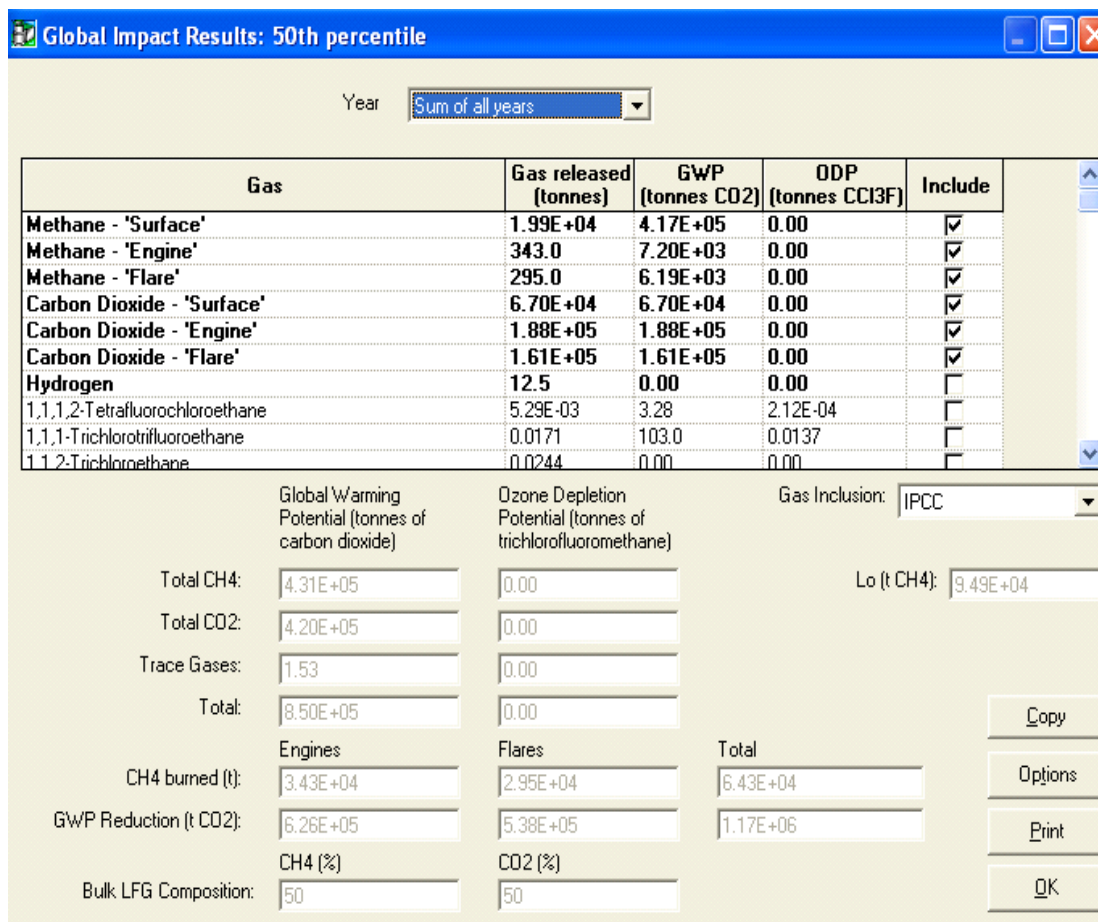


Figura 32 (*L'impatto globale*)

Ogni attività umana ha un impatto sull'ambiente circostante, sia ad un livello locale, sia su scala più ampia. Finora il software ha stimato le emissioni dell'intera discarica e calcolato la loro dispersione in atmosfera. Ora fornisce una tabella riassuntiva delle quantità di gas emesse dalla discarica che comportano fenomeni d'inquinamento su scala mondiale: l'effetto serra e la riduzione della fascia di ozono. Il conferimento dei rifiuti in discarica, provoca l'instaurazione, all'interno dell'ammasso, di fenomeni chimici come l'acetogenesi, la metanogenesi e l'ossidazione che degradando il rifiuto sviluppano gas serra e i gas responsabili della distruzione dell'ozono. Entrambi i fenomeni si traducono in un riscaldamento climatico con conseguenze che si ripercuotono sulla qualità della vita sulla terra. La scoperta di questi fenomeni e le conseguenze sulla salute umana e sul pianeta ha portato gli Stati responsabili delle maggiori emissioni, a monitorare le quantità di gas rilasciate in atmosfera (protocollo di Kyoto). GasSim permette di conoscere in questa schermata i valori di tali emissioni, in modo da tenere sotto controllo tutti i parametri della discarica e permettere una più ampia contestualizzazione dell'impatto ambientale.

Il contributo dato al “*Global Warming Potential*”(GWP) e allo “*Ozone Depletion Potential*” (ODP) da parte dei gas di scarica viene “parametrizzato” e paragonato rispettivamente alle tonnellate equivalenti di anidride carbonica e alle tonnellate equivalenti di triclorofluorometano.

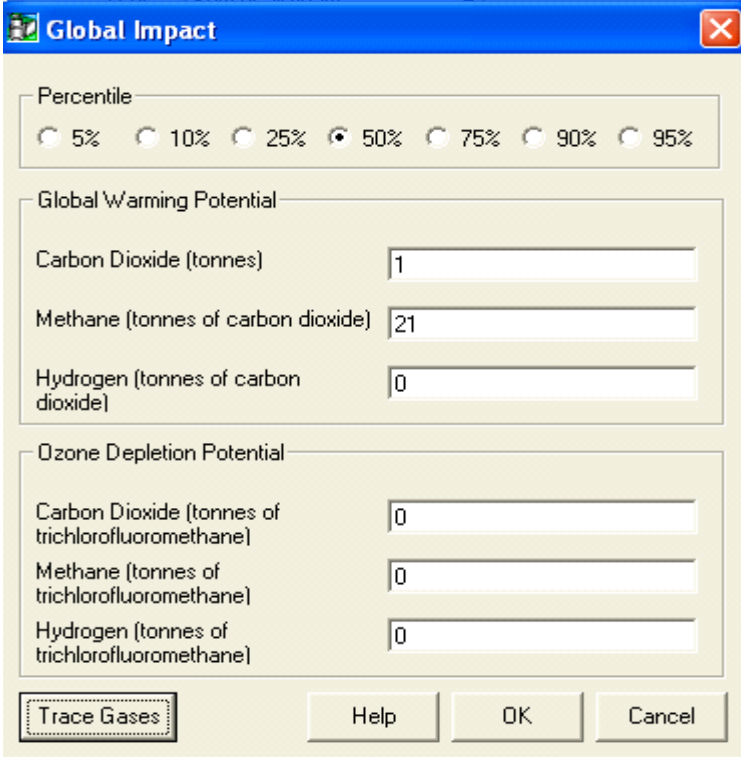
Nel caso dell’effetto serra (GWP), molti sono i gas responsabili del riscaldamento globale, fra questi anidride carbonica e metano. I due gas non hanno la stessa “capacità” di aumentare la temperatura terrestre. Il metano, infatti, è maggiormente responsabile della riflessione dei raggi solari infrarossi sulla terra, per questo a parità di peso rispetto all’anidride carbonica, da un contributo maggiore. Attribuendo un peso unitario all’anidride carbonica e paragonando il metano a questo gas, si è misurato che è ventuno volte più “potente”. Ciò vuol dire che una tonnellata di metano emessa dalla superficie della discarica equivale a ventuno tonnellate di anidride carbonica in termini di GWP (*Global warming potential*). Analogo ragionamento può essere reiterato per ogni gas serra, possono essere ricavate così le tonnellate equivalenti di anidride carbonica. Tale valore non misura più le emissioni totali del sito di discarica ma è un valore rappresentativo dell’impatto globale. In accordo con i principali Summit e ricerche mondiali sono stati stabiliti anche per la riduzione della fascia di ozono analoghe considerazioni. Nel secondo caso però, il peso unitario, è stato attribuito al triclorofluorometano (CFC-11) e a questo gas paragonato l’intera gamma di gas responsabili del fenomeno.

Per impostazioni predefinite, la tabella di figura trentadue mostra inizialmente i valori totali e parziali equivalenti dei gas serra e ODP per l’intera somma degli anni di simulazione e funzionamento della discarica. La tabella è abbastanza intuitiva, riporta le quantità di gas emessi dalla superficie, motore, torcia e le rispettive quantità equivalenti in termini di GWP e ODP. Le somme parziali dei contributi dei vari organi responsabili delle emissioni e il valore totale dell’impatto globale sui due fenomeni analizzati. Così facendo si hanno due valori univoci del peso dell’opera sull’inquinamento globale. Le opzioni selezionabili dall’operatore nella finestra di figura trentadue che necessitano di un approfondimento sono essenzialmente l’opzione “*year*”, “*gas inclusion*” e “*options*”. L’opzione “*year*” apre un menù a tendina che riporta l’elenco dei vari anni di simulazione. Si può selezionare un particolare anno e i campi della tabella di figura trentadue si adegueranno alle sole emissioni equivalenti di quell’anno. Con il parametro “*gas inclusion*” si può scegliere di includere nel computo totale dei gas serra e responsabili della riduzione della fascia di ozono o tutti i gas “equivalenti” calcolati o solo quelli considerati

tali dalla IPCC, IPCC Montreal, DEFRA. In questi casi si selezioneranno automaticamente fra tutti i gas emessi dalla discarica solo quelli monitorati da questi organi governativi:

- IPCC (Intergovernmental panel of climate change);
- IPCC Montreal;
- DEFRA (Department of environment, food and rules affairs);

Cliccando su “options”, invece, si aprirà la schermata che riporto in figura 33a. Da questa finestra selezionando “trace gases” si aprirà la schermata di figura 33b. Sono due schermate simili che permettono di cambiare i “pesi” di ogni gas, principale o in traccia nelle emissioni, utilizzati nel calcolo delle quantità equivalenti dal programma. In caso di variazioni, aggiornamenti o valori più precisi a disposizione si possono effettuare queste modifiche. Per completezza la prima riporta i valori equivalenti per i principali gas di discarica e la seconda i valori equivalenti per i gas secondari o in traccia.



The image shows a software dialog box titled "Global Impact". At the top, there is a "Percentile" section with radio buttons for 5%, 10%, 25%, 50% (selected), 75%, 90%, and 95%. Below this are two main sections: "Global Warming Potential" and "Ozone Depletion Potential". Each section contains three input fields for Carbon Dioxide, Methane, and Hydrogen, with their respective units. The "Global Warming Potential" section has values of 1, 21, and 0. The "Ozone Depletion Potential" section has values of 0, 0, and 0. At the bottom, there are buttons for "Trace Gases", "Help", "OK", and "Cancel".

Section	Gas	Unit	Value
Global Warming Potential	Carbon Dioxide	(tonnes)	1
	Methane	(tonnes of carbon dioxide)	21
	Hydrogen	(tonnes of carbon dioxide)	0
Ozone Depletion Potential	Carbon Dioxide	(tonnes of trichlorofluoromethane)	0
	Methane	(tonnes of trichlorofluoromethane)	0
	Hydrogen	(tonnes of trichlorofluoromethane)	0

Figura 33a (Pesi dei principali gas di discarica)

Gas	Global Warming Potential	Ozone Depletion Potential
1,1,1,2-Tetrafluorochloroethane	620	0.04
1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	6000	0.8
1,1,2-Trichloroethane	0	0
1,1-Dichloroethane	0	0
1,1-Dichloroethene	0	0
1,1-Dichlorotetrafluoroethane	0	0
1,2-Dichloropropane	0	0
1,2-Dichlorotetrafluoroethane	0	0
1-Chloro-1,1-difluoroethane	2300	0.065
2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane	0	0.06

Figura 33b (Pesi dei gas secondari in traccia)

In figura 32, un valore che necessita di approfondimento è: Lo (tCH₄). E' un parametro aggiuntivo fornito dal GasSim che riporta la massima produzione di metano possibile con i rifiuti abbancati nel sito di discarica considerando l'intero contenuto in carbonio dell'ammasso convertito in questo gas (per indagini d'impatto globale che necessitano di maggiore cautela).

Con questo si conclude l'analisi della schermata "Global Impact".

3.8 La migrazione laterale del gas di discarica

Il software permette la modellizzazione del gas che migra attraverso le pareti laterali della discarica e arriva ai bersagli/recettori percorrendo i vuoti interstiziali del terreno.

I gas di discarica non sfuggono solo dalla sua superficie, ma una parte passa nel terreno circostante dalle pareti laterali e il fondo della discarica. Tale osservazione si basa sulle evidenze scientifiche che:

- Il fondo della discarica non può avere un isolamento perfetto dal resto del terreno (presenza di fori nel geosintetico);
- Le pareti della discarica non possono avere un isolamento perfetto (presenza di fori nel geosintetico);
- La porosità del terreno permette il passaggio dei gas;
- Il gas tende, per diffusione, a migrare verso le zone in cui è meno concentrato;

Si formano delle “strade” all’interno del materiale geologico che compone la zona circostante l’impianto di smaltimento, che possono far arrivare in maniera non trascurabile gas pericolosi ai recettori fuori dai livelli di guardia.

La simulazione della migrazione laterale dei gas serve a scongiurare quest’evenienza poiché viene utilizzata, qualora considerata, nella simulazione dell’esposizione dei bersagli sommando il suo contributo al gas che arriva per dispersione atmosferica.

Il GasSim semplifica la modellizzazione della migrazione laterale considerando equazioni di diffusione dei gas, attraverso il terreno, monodimensionali. Tali leggi matematiche calcolano la diffusione e l’attenuazione delle concentrazioni al bersaglio tenendo conto del movimento orizzontale che attraverso il “plume” tale gas compie. Tuttavia nonostante il mancato utilizzo di modelli 3D, sono considerati fenomeni di attenuazione della concentrazione dovuti ai movimenti verticali che causano la migrazione e la dispersione del gas in atmosfera, una volta che è passato attraverso la geomembrana e i vari strati che costituiscono i rivestimenti laterali della discarica.

Un ruolo fondamentale in questa parte di modellizzazione la gioca la pressione atmosferica. Il modulo, per effettuare questo calcolo, è attivo dopo che la fase della dispersione atmosferica è stata simulata. Dai dati meteo, il software, calcola la pressione atmosferica. Quando la pressione è alta, l’aria tende ad entrare nei vuoti interstiziali del terreno e si miscela con il gas riducendone la concentrazione, mentre quando la pressione è bassa tende ad uscire dalla miscela. Questo si ripercuote sul processo di diffusione e sulle concentrazioni di gas finali al recettore.

Nella simulazione non vengono considerati fenomeni di affinità e reazione chimica (adsorbimento) del gas con la matrice porosa e il mezzo di diffusione viene considerato omogeneo. I parametri necessari alla modellizzazione: porosità efficace dell’ammasso e del terreno sono stati già introdotti poiché necessari nelle precedenti simulazioni. Il GasSim non modella la diffusione dei gas attraverso la zona satura del terreno (falda acquifera).

Per avviare la simulazione “*Lateral Migration*” si deve cliccare sull’icona corrispondente della schermata principale (Fig. 3) si aprirà la finestra che riporto in figura 34a.

Il software chiede di selezionare, in maniera intuitiva, la cella, l’anno in cui si intende avviare la simulazione e il recettore. Calcolerà automaticamente la distanza del recettore dal sito di discarica. Nella schermata si possono introdurre i coefficienti di diffusione di

tutti i gas attraverso il terreno. Per impostazioni predefinite sono riportati in cm^2/s , i coefficienti di diffusione dell'anidride carbonica e del metano. Non è presente il parametro relativo all'idrogeno. Nel caso non si disponesse del valore relativo, si può avviare comunque la simulazione ma tale gas non sarà modellato. Per i gas presenti in traccia attraverso l'opzione "Trace Gases", viene visualizzata la tabella che riporto in figura 34b che permette di gestire i coefficienti di diffusione qualora i parametri di default non fossero presenti o si disponesse di valori relativamente più corretti per la modellizzazione. Una volta introdotti i parametri, selezionando il tasto "Simulate" si avvia la simulazione che utilizzando il metodo Monte Carlo seleziona dei valori casuali all'interno delle distribuzioni di probabilità impostate e calcola la migrazione di tutti i gas selezionati. Possono essere inclusi o non inclusi spuntando la casella "Trace Gases" i gas presenti in traccia nel LFG (*Landfill gas*).

The screenshot shows a software dialog box titled "Lateral Migration". It contains the following fields and options:

- Cell: Phase 1
- Year to Simulate for: 1998
- Select Receptor: DR000 - Jolly Taxpayer
- Maximum Distance (m): 517
- Trace Gases (with a button labeled "Trace Gases")
- Unconfined migration pathway
- Air Diffusion Coefficient section:
 - Carbon Dioxide (cm2/s): SINGLE(0.1613)
 - Methane (cm2/s): SINGLE(0.2192)
 - Hydrogen (cm2/s): #UNDEFINED?

At the bottom of the dialog are five buttons: Help, Simulate, Results, Clear Results, and Cancel.

Figura 34a (Schermata migrazione laterale)

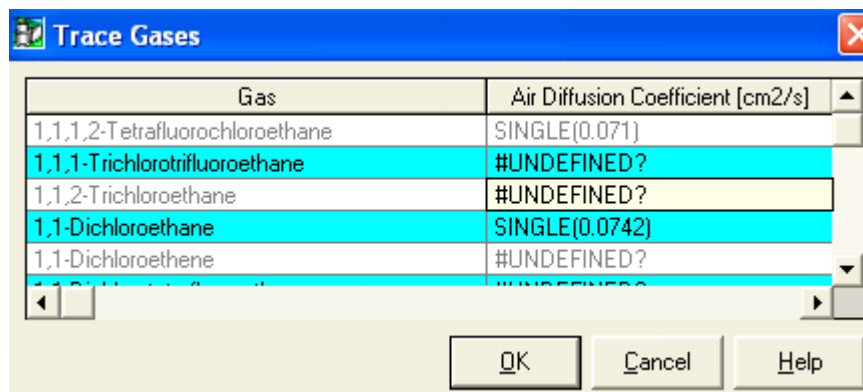


Figura 34b (Coefficients di diffusione dei gas in traccia)

Il processo di migrazione laterale continua finché la concentrazione del gas non arriva al 16% del valore iniziale. Al di sotto di questa percentuale il GasSim non considera più la diffusione attraverso i moti diffusivo – convettivi poiché ininfluenti ai fini della simulazione perché il processo tende a rallentarsi diventando irrilevante.

3.8.1 I risultati della simulazione

Il passaggio dei gas attraverso la geomembrana e il rivestimento esterno della discarica provoca, migrando lateralmente, una diversa concentrazione dei gas al recettore, che si trova con valori di esposizione maggiori rispetto alle concentrazioni della sola dispersione atmosferica. Il fenomeno è governato nella zona insatura da processi di:

1. diffusione;
2. avvezione;
3. dispersione;

Una volta simulato, per un particolare anno, la migrazione laterale del gas si può stabilire l'entità del contributo dato e conoscere le concentrazioni di ogni gas modellato in funzione della lunghezza del percorso. Selezionando il comando "Results" si arriva alle schermate di figura 35a e 35b che riportano, per una determinata sostanza inquinante selezionata, i valori puntuali per passi di distanze predefinite. In particolare la schermata 35a discrezza in "step" tali distanze, mentre il grafico corrispondente permette di visualizzare l'andamento continuo della diffusione-attenuazione attraverso il terreno. La peculiarità della prima schermata (figura 35a) consiste nel poter leggere direttamente il valore della

concentrazione di ogni gas, stabilita la distanza del recettore dalla sorgente per conoscerne univocamente il valore calcolato dalla simulazione. La seconda schermata (figura 35b), invece, ricostruisce l'andamento in attenuazione della concentrazione, frutto dei fenomeni dispersivi cui il gas è sottoposto durante la migrazione. Tutte le concentrazioni sono espresse in mg per metro cubo di gas che sfugge lateralmente.

La valutazione della migrazione laterale del gas, negli ultimi anni, interessa non solo per il rischio ambientale che costituisce per le persone esposte a questo fenomeno, ma anche per lo "stress" che provoca sulla vegetazione. Intorno al sito di discarica possono essere presenti: boschi, campi o qualsiasi pianta che affondando le proprie radici nel terreno, subisce fenomeni di trasferimento di determinati inquinanti nel proprio ciclo biologico. Il software permette la valutazione dello stress sulla vegetazione provocato dal metano e dell'anidride carbonica che migra lateralmente fino alle radici e che alterano l'equilibrio naturale

Percentile	Value (mg/m ³)	Summary Statistic	Value (mg/m ³)
95% of values are less than	0.00	Min:	0.00
90% of values are less than	0.00	Max:	0.00
75% of values are less than	0.00	Mean:	0.00
50% of values are less than	0.00	Variance:	0.00
25% of values are less than	0.00	SD:	0.00
10% of values are less than	0.00		
5% of values are less than	0.00		

Figura 35a (Valori puntuali in ascissa della migrazione laterale)

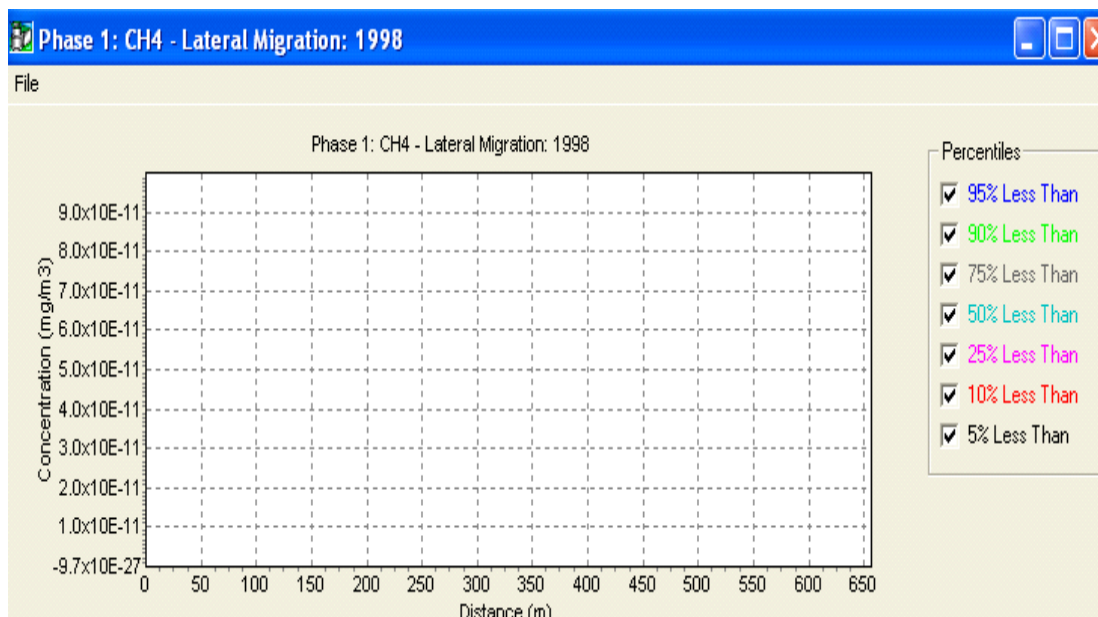


Figura 35b (*Grafico dell'attenuazione laterale della migrazione attraverso la geosfera*)

Cliccando sull'opzione "Screening Levels" di figura 35a, si accede alla finestra di figura trentasei. Lo stress provocato sulla vegetazione che si trova ad una certa distanza dal sito viene espresso in termini percentuali. La scala percentuale scelta prende in considerazione come valore massimo e minimo:

- Il valore massimo corrisponde ad una concentrazione del 45% V/V (anidride carbonica, metano/composizione aria)
- Il valore minimo è selezionabile dall'utente fra:
 1. Concentrazione di metano/aria del 5% alle radici
 2. Concentrazione di metano/aria del 1% alle radici

In questo modo è possibile, secondo le diverse teorie, stabilire quanto una pianta risente della presenza o meno della discarica in modo da valutare i danni in termini di produttività o alterazione del suo ciclo biologico e prendere, se necessario, le dovute precauzioni.

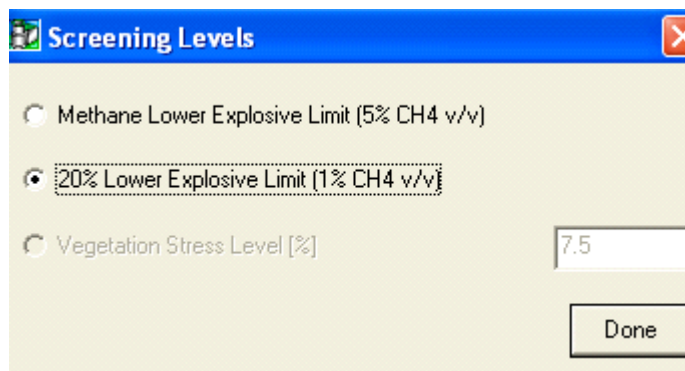


Figura 36 (*Stress sulla vegetazione*)

3.9 Il rischio per l'esposizione "off site"

I risultati fondamentali per la valutazione del rischio ambientale di una discarica sono contenuti e simulati tutti in questo modulo. Il modulo è attivo, una volta che la simulazione della dispersione atmosferica viene avviata e conclusa. Il modello concettuale del GasSim prevede che i gas liberati dal sito di discarica per mezzo della sua superficie, motore e torcia raggiungano mediante la dispersione atmosferica i recettori sensibili disposti intorno al sito (raggio di influenza considerato minore di due chilometri). I contaminanti oltre che per via aerea arrivano al bersaglio anche per migrazione laterale. Entrambe le strade che queste sostanze possono seguire portano ad avere valori di concentrazione alterati, ai recettori, rispetto alla normalità. In termini percentuali la dispersione atmosferica è maggiormente responsabile del fenomeno, per questo la simulazione del rischio è subito attiva una volta simulato il modulo relativo a questo tipo di dispersione. Tuttavia per un maggiore precisione dei risultati occorre simulare anche il modulo della migrazione laterale per considerare anche l'aspetto della diffusione degli inquinanti relativo al passaggio attraverso il terreno.

La valutazione dell'esposizione agli inquinanti serve per individuare quali, fra i gas generati dalla discarica, presentano un livello e quindi un rischio inaccettabile, nel lungo termine, per le persone esposte "off site" seguendo il principio del caso peggiore d'esposizione ("worst case").

Il GasSim considera nella modellizzazione del rischio connesso all'esposizione, i diversi scenari cui chi deve valutare questo parametro si può trovare, i diversi modi in cui le persone possono venire a contatto con tali sostanze e i recettori umani più sensibili.

Tutti questi fattori possono variare da Stato a Stato, il metodo utilizzato dal software per la simulazione è stato stabilito dal ministero della salute inglese in concerto con l'agenzia dell'ambiente (*Environmental Agency*) e il DEFRA (*Department of environment, food and rules affairs*) che hanno fornito il modello utilizzato nella simulazione denominato CLEA (*Contaminated Land Exposure Assessment*) che si basa sulle equazioni di Ferguson. Cliccando dalla schermata principale (figura 3) il modulo “*Exposure*”, si apre la finestra che riporto in figura trentasette. I parametri che è possibile inserire all'interno saranno analizzati tutti nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

Figura 37 (La schermata “esposizione”)

3.9.1 Gli scenari d’esposizione

In figura trentasette, sotto la dizione “*Scenarios*”, sono riportati i modelli d’esposizione che il GasSim prevede per “parametrizzare” le diverse soluzioni abitative o i diversi contesti in cui una persona/bersaglio potrebbe trovarsi a vivere, per più ore al giorno e nella quale in diverse modalità può venire a contatto con gli inquinanti generati dalla discarica. Gli scenari previsti sono:

- *Residential whit plant uptake*: rientrano in questa tipologia di recettori, appartamenti, caseggiati e soluzioni abitative con giardini o piccoli orti dai quali le persone che vivono all'interno di questi complessi traggono modeste quantità di alimenti autoprodotti.
- *Residential whitout plant uptake*: rientrano in questa tipologia di recettori, appartamenti, caseggiati e soluzioni abitative senza giardini o piccoli orti.
- *Allotment*: rientrano in questa categoria tutti i campi coltivati per la commercializzazione degli ortaggi destinati al consumo umano.
- *Commercial e Industrial*: in questa categoria rientrano quei recettori in cui le persone trascorrono per motivi lavorativi più ore al giorno.

Stabilire con una scelta, il corretto “contesto” in cui il recettore può essere incluso serve al GasSim per due motivi fondamentali. Il primo motivo è che, il software, riesce a stabilire quali fra le persone esposte, in quel particolare scenario, è la più sensibile al rischio ambientale. Il secondo motivo è quello di permettere al programma di calcolare in che percentuale, fra le diverse modalità d'esposizione, le persone vengono a contatto con gli inquinanti.

Diverse sono le strade con cui un inquinante si accumula all'interno dell'organismo umano, alcune vie d'esposizione sono privilegiate a seconda del contesto ambientale in cui una persona si trova a vivere. Fra le modalità di contatto che il software prevede si hanno:

1. Inalazione attraverso le polveri respirate all'interno dell'abitazione;
2. Inalazione attraverso le polveri respirate all'esterno dell'abitazione;
3. Inalazione diretta dei gas all'interno e all'esterno dell'abitazione;
4. Ingestione della terra (bambini);
5. Ingestione delle polveri;
6. Ingestione di ortaggi contaminati;
7. Contatto dermico con la terra o polveri atmosferiche;

In concerto con il ministero della salute inglese, si è stabilito anche quali fra le persone che accumulano nel proprio organismo i vari inquinanti sono soggetti al raggiungimento dei livelli di guardia del rischio, cancerogeno o non cancerogeno, in maniera più rapida.

Il casi peggiori e le persone più esposte dipendono dallo scenario scelto. Per le unità abitative sono stabiliti come recettori più sensibili i bambini con un'età compresa fra 0-6 anni, mentre per le unità lavorative sono considerate più sensibili le operaie donne con un'età compresa fra 16-59 anni. Il perché di questa scelta è dovuto al rapporto fra peso, altezza e superficie della pelle esposta che è peggiore in questi soggetti. Il parametro “*Receptor Age*” di figura trentasette, permette di selezionare l'età dei bambini fra gli 0-6 anni, con passo di un anno, presenti nel recettore considerato. La rapidità di accrescimento del bambino in questa fascia di età prevede una variazione notevole del peso e dell'altezza nei vari anni, per questo è stabilita la possibilità di selezionare questo parametro. Le distribuzioni di probabilità previste da GasSim per il peso e l'altezza dei soggetti più sensibili sono triangolari e i valori minimi, massimi e più rappresentativi del campione sono forniti dal ministero della salute inglese e utilizzano come campione la popolazione britannica (campioni forniti dal ministero della salute inglese e riguardanti i nati in Inghilterra dal 1996-2001 e condotti su una popolazione di donne composta da 100000 unità con un età compresa tra i 16-59 anni). Tali distribuzioni non possono essere modificati dall'utente.

La quantità di sostanze che per inalazione, ingestione e contatto dermico entrano nell'organismo delle persone dipendono, oltre che dalle caratteristiche fisiche del soggetto, dal numero di ore che trascorrono all'interno dell'abitazione/recettore o del luogo di lavoro in cui svolgono le proprie mansioni. Occorre parametrizzare le caratteristiche della costruzione per stabilire la quantità d'inquinanti che passano all'interno dell'abitazione, rispetto alle concentrazioni respirabili fuori dalla struttura abitativa. Per questo il software mette a disposizione un editor completo per conoscere le caratteristiche costruttive del recettore. Cliccando sul tasto “*Building Characteristics*” appare la finestra di figura 38a. Alcune opzioni sono direttamente modificabili dall'utente, altre sono disattivate e possono essere attivate spuntando il parametro “*Subfloor void present*” , in questo modo comunichiamo al programma che la struttura/recettore è sopraelevata, cioè presenta un vuoto fra il pavimento e il terreno. In questo caso, al GasSim occorrono altri valori per caratterizzare questa particolarità costruttiva e che elencherò di seguito.

Fra le opzioni “classiche” necessarie al programma per la gestione dell'esposizione all'interno di un abitazione abbiamo:

1. ***Area of walls in living space in m^2*** : la superficie delle pareti totali nella zona della casa in cui abitualmente si trascorre più tempo
2. ***Area of windows in m^2*** : la superficie totale delle aperture (finestre, porte) praticate all'interno delle pareti
3. ***Area of floor in m^2*** : la superficie totale del pavimento dell'abitazione
4. ***Height of living space in m***: l'altezza dal pavimento al soffitto dell'abitazione
5. ***Perimeter of building in m***: il perimetro esterno della struttura
6. ***Air Exchange rate***: l'aria totale che per ogni ora, in metri cubi, transita per l'abitazione
7. ***Air pressure inside house in Pa***: la pressione dell'aria all'interno della casa, il parametro è sempre pari ad 1 atmosfera (101321 Pa)
8. ***Area of house walls in cellar in m^2*** : la superficie delle pareti totali in cantina o nel seminterrato qualora l'abitazione ne disponesse
9. ***Height of subfloor void in m***: eventuale altezza del pavimento dal terreno
10. ***Air pressure inside the subfloor void in Pa***: la pressione dell'aria all'interno del vuoto fra il pavimento e il terreno, di solito la pressione è pari ad un'atmosfera (101321 Pa) visto il naturale contatto con l'ambiente esterno
11. ***Temperature inside the house***: la temperatura media all'interno dell'abitazione
12. ***Floor resistance to Airflow in Nm^3/h*** : resistenza opposta dal pavimento all'ingresso dell'aria in casa
13. ***Average height of all opening in m***: media delle altezze delle aperture (finestre, porte) all'interno dell'abitazione

Parameter	Value
Area of walls in living space (m ²)	1186
Area of windows (m ²)	20
Area of floor (m ²)	74.1
Height of living space (m)	5.4
Air exchange rate (total exchanges per hour)	1
Perimeter of building (m)	34.4
Length over which suction flow is effective (m)	0.5
Air pressure inside house (Pa)	101321.5
Subfloor air exchange rate (total exchanges per hour)	3
Airflow rate from subfloor void to living space (m ³ /hr)	0.6
Area of house walls in cellar (m ²)	6.88
Height of subfloor void (m)	0.5
Air pressure inside subfloor void (Pa)	101325
Temperature inside house (C)	19
Floor Resistance to Airflow [Nh/m ³]	27.8
Average height of all openings (m)	2

Subfloor void present

Buttons: Define Materials, Help, Cancel, OK

Figura 38a (*Le caratteristiche delle abitazioni*)

Tramite questi valori il software è in grado di stabilire con che tipo di struttura si sta operando, i valori inseriti per impostazioni predefinite in questa finestra provengono dalle media delle tipiche condizioni strutturali delle abitazioni inglesi. Attivata l'opzione "Subfloor void present" sono ulteriormente richieste dal GasSim i seguenti parametri:

1. *Length over which suction floor is effective in m*: la lunghezza efficace del vuoto al di sotto del pavimento
2. *Subfloor air Exchange rate*: : l'aria totale che per ogni ora, in metri cubi, transita nel vuoto al di sotto del pavimento
3. *Airflow rate from subfloor void to living space*: la frazione dell'aria che transita nel vuoto fra il pavimento e il terreno che passa nella zona abitativa nel quale abitualmente si vive

Per completezza, cliccando sul tasto “*Define materials*” (figura 38°), si apre la schermata di figura 38b. In tale tabella sono riportati i parametri di spessore, porosità totale e del “pieno” dei materiali che costituiscono la struttura. Questi valori possono essere modificati dall’utente oppure si può scegliere di utilizzare i valori predefiniti che riguardano i materiali utilizzati e le tecnologie costruttive per la stragrande maggioranza delle costruzioni per uso civile. Nel caso si voglia modificare qualche parametro, il software richiede: spessore del materiale in metri, porosità totale del materiale (compreso i vuoti presenti sul volume totale, si pensi ai mattoni con struttura ad alveare) e porosità efficace del materiale esclusi i vuoti.

Building Material	Total Porosity (cm3/cm3)	Air-filled Porosity (cm3/cm3)	Thickness (m)
Hardcore	0.5	0.25	0.1
Blinding Sand	0.5	0.5	0.05
Concrete	0.068	0.034	0.1
Insulating layer (floors)	0.9	0.9	0.05
Brick (external walls)	0.5	0.25	0.1
Lightweight block	0.068	0.068	0.1
Insulating layer (walls)	0.9	0.9	0.055
Plasterboard (ceiling)	0.068	0.068	0.0125
Insulating layer (roof)	0.9	0.9	0.1
Screed (over	0.068	0.068	0.05
Suspended timber floor	0.2	0.2	0.03

Figura 38b (*Le caratteristiche dei materiali*)

Una volta modificato nel dettaglio tutti i valori descritti in questo paragrafo, il GasSim è in grado di operare per il calcolo del rischio ambientale e di capire il contesto nella quale il soggetto più esposto si trova a vivere e di conseguenza calcolare il “peggiore” valore di esposizione.

3.9.2 I risultati dell’esposizione

Dal punto di vista dell’approccio statistico, GasSim considera il valori relativo al 95° percentile per la concentrazione relativa al modulo di migrazione laterale e quello relativo

al 100° percentile per quanto riguarda la dispersione atmosferica. Spuntando l'opzione "*Include Lateral Migration*" di figura 37, comunichiamo al software di considerare nella simulazione anche la migrazione laterale del gas al recettore. Bisogna ricordare di aver simulato per l'anno scelto in cui si vuole misurare l'esposizione, il modulo migrazione laterale, altrimenti il software non disponendo di questo parametro non avvia la simulazione, facendoci apparire una schermata d'errore. Il programma chiede per calcolare il risultato dell'esposizione, oltre allo scenario in cui ci troviamo, alcuni parametri fisici e chimici della sostanza di cui vogliamo misurare il rischio, in particolare fra le opzioni che caratterizzano la specie chimica, sono richieste in figura 37:

- *Specie chimica da simulare*: scelta fra i gas modellati dal GasSim, sta a noi stabilire se il gas è cancerogeno o meno e vedere se il risultato è in linea con un livello di rischio accettabile;
- *Anno di simulazione*: fra tutti gli anni di funzionamento e post funzionamento della discarica modellizzati;
- *Il recettore*: per stabilire la distanza dalle torce, motori e area operativa della discarica;
- *I parametri fisici e chimici del gas*:
 1. La viscosità del gas: viene inserita automaticamente alla selezione della specie chimica da simulare;
 2. Coefficiente di ripartizione ottanolo/acqua ($\log_{10}K_{ow}$): parametro inserito automaticamente dal software una volta selezionata la specie chimica, valore compreso tra 2 e 3 per i gas modellizzati dal GasSim e che esprime la capacità del gas di solubilizzare in acqua rispetto all'ottanolo in una soluzione di ottanolo/acqua;
 3. Costante di Henry: per stabilire la volatilità di un gas in atmosfera, e quindi la capacità di una particolare sostanza di passare nell'aria respirata dal recettore umano. Parametro inserito automaticamente dal software una volta introdotta la specie chimica da simulare.
- *Tipo di suolo*: GasSim considera quattro tipi di suolo (sabbioso, limoso, argilloso, organico); se non si hanno informazioni sul tipo di suolo, un suolo sabbioso

rappresenta l'assunzione maggiormente conservativa, per il calcolo del “*worst case*”.

- *Contenuto organico del suolo*: il valore cautelativo è del 5%, nel caso non si dispongano informazioni su questo parametro (“*Soil Organic Matter*”).
- Velocità del vento nella zona di miscelazione appena sopra la superficie: parametro importante nella valutazione del contributo di vaporizzazione del gas.
- Profondità della sorgente di contaminazione al di sotto della superficie: parametro che influenza il contributo di migrazione laterale

Inseriti nell'ordine dato, tutti questi parametri cliccando sull'opzione “*Results*”(figura 37) e successivamente sul tasto “*Exposure Pathways*”, si aprono rispettivamente le finestre di figura trentanove e quaranta. Non sono altro che i risultati della simulazione dell'esposizione, graficati in modo diverso. In particolare, il diagramma a torta di figura quaranta, fa vedere la percentuale dell'inquinante selezionato, che passa nell'organismo nelle diverse modalità: ingestione, inalazione e contatto dermico (i diversi colori corrispondono a modalità d'introduzione nell'organismo diverse e l'ampiezza della porzione di torta, alla percentuale sul totale). Il diagramma di figura trentanove, invece, riporta in alto il valore, nel peggiore dei casi d'esposizione, che si deve confrontare con il livello di rischio massimo accettabile e grafica in funzione della frequenza relativa, il rateo dell'esposizione.

Per chiarezza, nel calcolo dell'esposizione, il GasSim seleziona come recettore/fisico più sensibile o i bambini con un età compresa tra i 0-6 anni, o l'operaio donna con un età compresa tra i 16-49 anni a secondo del contesto espositivo. Per stabilire univocamente un valore d'esposizione per uno scenario di tipo residenziale o commerciale, le modalità operative consigliate sono:

- Quando GasSim individua come bersaglio critico un bambino di età compresa fra 0 e 6 anni; per considerare bisogna condurre l'analisi per sei anni consecutivi e, per ognuno, considerare un bersaglio di età variabile compresa tra 0 – 1 anni, nel primo anno di simulazione, e 5 – 6 anni, nell'ultimo anno.

In questo modo sommando i 95° percentile per ogni anno, si ottiene l'esposizione totale che, divisa per il numero di anni, fornisce in output il rateo totale di esposizione su cui si

basa la valutazione del rischio. Cambiando i fattori di esposizione (peso corporeo, rateo di aria respirata...), si riesce a considerare la variazione temporale dell'esposizione, il cui valore massimo si attesta, di solito, in corrispondenza del terzo anno dopo il completamento del riempimento della discarica;

- Per uno scenario commerciale/industriale, GasSim considera come bersaglio critico una lavoratrice adulta che opera in corrispondenza del recettore per tutta la durata della vita lavorativa (16 – 59 anni). L'approccio da utilizzare, in questo caso, è di far partire sei simulazioni ad intervalli di sette anni

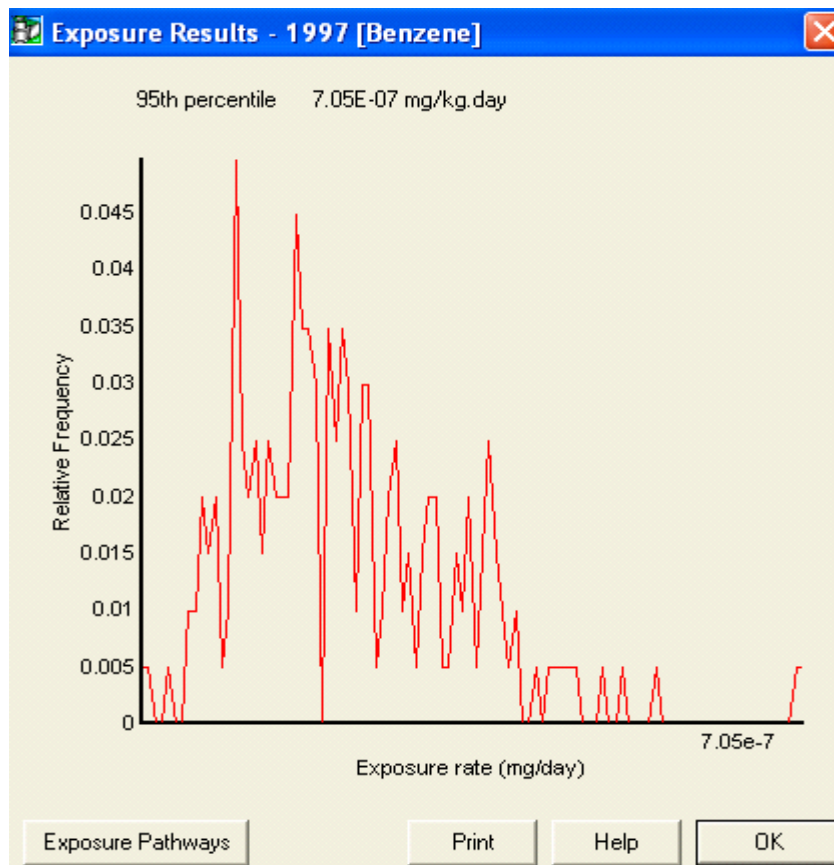


Figura 39 (Il livello di rischio)

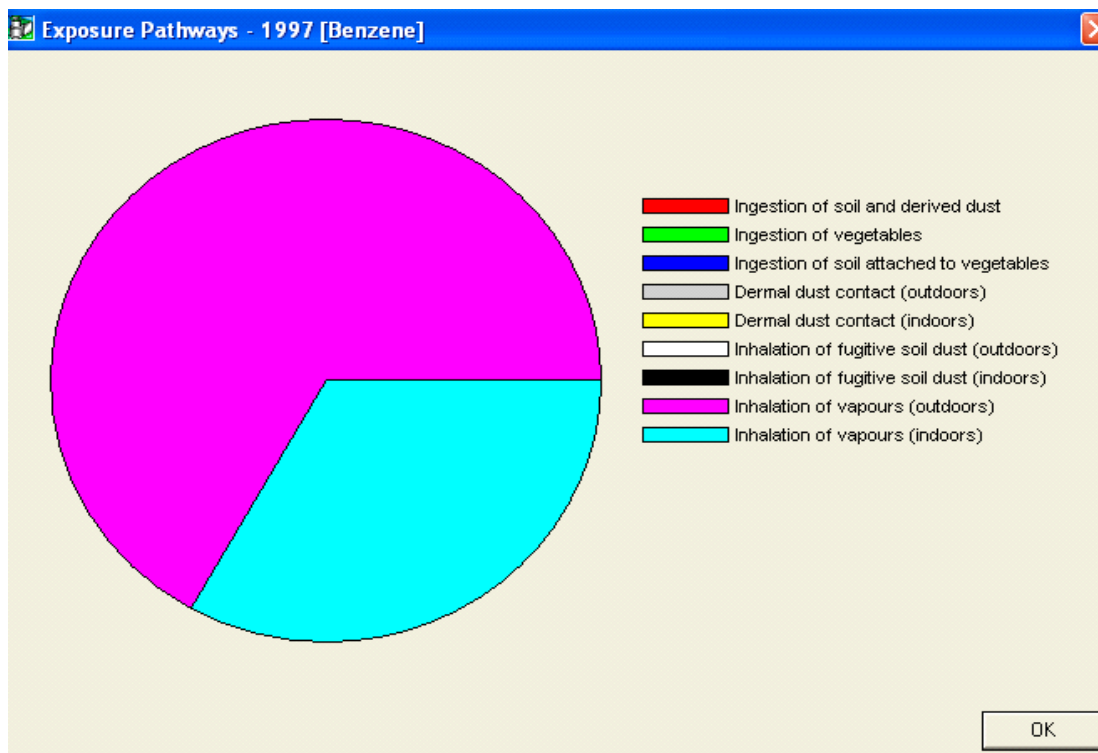


Figura 40 (Le diverse percentuali)

- mantenendo i fattori di esposizione uguali per tutti i 43 anni totali nei quali si conduce la simulazione;

Si concludono, con questo paragrafo, tutte le informazioni utili per un utilizzo completo e consapevole del software.

3.10 Tabella riassuntiva dei risultati forniti dal GasSim

Risultati possibili	Dettagli	Metodo Probabilistico	Per cella	Per l'intero sito	Presentazione
Generazione del gas (LFG)	Bulk gas	√	√	√	Serie temporale
	Trace gas	√	√	√	Serie temporale
Emissioni	Bulk gas	√	√	√	Serie temporale
	Trace gas	√	√	√	Serie temporale
Migrazione laterale	Bulk gas	√	√	X	Distanza in funzione della %
	Trace gas	√	√	X	
Stress della vegetazione	CO2 CH4	√	√	X	Distanza in funzione della %
Tier 1 Screening	Trace gas	X	X	√	Tabella comparativa
Tier 2	Trace of	X	X	√	Tabella

dispersione atmosferica	bulk				comparativa
	Odori				
Esposizione “off site”	Gas in traccia	X	√	√	Valore del rischio più diagramma a torta
Impatto Globale	Tutti i gas	X	X	√	Tabella comparativa
Report d'inquinamento	Tutti i gas	X	X	√	Tabella comparativa

Tabella 4 (risultati forniti dal GasSim)

La tabella riassume tutte le possibilità di output visualizzabili per una simulazione effettuata dal GasSim, con il simbolo di “check” si sottolinea se è possibile visualizzare il risultato totale, cioè riferito all’intero sito, o per particolare sottoparte in cui la discarica può essere suddivisa dal punto di vista della produzione del biogas (celle, motori, torce). Con il termine serie temporale si intende il valore espresso in mg/h o equivalenti unità di misura per il volume del gas generato riferito all’ora.

Il metodo probabilistico è spuntato nei casi in cui il valore ricavato dalla simulazione è generato dall’utilizzo del metodo di Monte Carlo per la selezione di valori casuali all’interno delle distribuzioni di probabilità fornite come dati di ingresso al programma.

3.11 Tabella riassuntiva dei parametri necessari per una simulazione

Tabella Riassuntiva dei parametri necessari al GasSim				
Parametro	Unità di misura	Valore	Distribuzione di probabilità	Note
Dettagli di progetto (project detail)				
Nome del Progetto	adm	nome	/	Eventuali committenti e note sull’ubicazione del progetto
Inizio conferimento	anno	inserire	/	Data di inizio conferimento di rifiuti all’interno del sito
Periodo operativo	anni	inserire	/	Periodo di funzionamento della discarica di rifiuti
Periodo di simulazione	anni	inserire	/	Periodo di simulazione dopo la chiusura del sito

Iterazioni	adm	inserire	/	Iterazioni di Monte Carlo vedi tabella 2 cap. 3
Dettagli delle celle (Cell detail)				
Nome	adm	inserire	/	Nome distintivo del lotto
Vertici	adm	coordinate	/	Inseriti tramite "draw and drop"
Solubilità del ferro nel percolato	mg/mm/m²	(2.2*10⁺³; 2.2*10⁺⁴)	uniforme	Simulazione del solfuro d'idrogeno, valori di default
Solubilità del solfuro idrogeno	mg/mm/m²	(200;2000)	uniforme	Simulazione del solfuro d'idrogeno, valori di default
Contenuto di ferro nel percolato	t/anno	(1.2;1.1*10⁺³;2.3*10⁺³)	logtriangolare	Simulazione del solfuro d'idrogeno, valori di default
Solfato di calcio nel percolato	t/anno	(1; 1.08*10⁺³)	loguniforme	Simulazione del solfuro d'idrogeno, valori di default
Tempo di dimezzamento del solfato di calcio	anni	(0.1;1;3)	logtriangolare	Simulazione del solfuro d'idrogeno, valori di default
Dettagli copertura e liner (cap and liner detail)				
Infiltrazione senza copertura	mm/anno	inserire	definita utente	Parametro meteo d'infiltrazione efficace
Infiltrazione con copertura	mm/anno	inserire	definita utente	10% d'infiltrazione efficace per default
Spessore copertura temporanea	m	inserire	definita utente	Se prevista, per ogni cella
Conduttività idraulica copertura temporanea	m/s	inserire	definita utente	Se prevista (k equivalente) per ogni cella
Copertura tipo	adm	argilla,composito etc.	/	Strati e tipologia copertura
Spessore strato	m	inserire	definita utente	Primo ed eventuali altri strati fino a 2 per ogni cella
Conduttività idraulica	m/s	inserire	definita utente	Primo ed eventuali altri strati fino a 2, per ogni cella
Tipo copertura laterale	adm	argilla, composito etc.	/	Strati e tipologia protezione laterale (fino a 4 strati previsti)
Spessore strato	m	inserire	definita utente	Per ogni strato e per ogni cella
Conduttività idraulica	m/s	inserire	definita utente	Per ogni strato e per ogni cella
Altezza baulatura	m	inserire	definita utente	Terreno sopra la copertura
Data	anno	inserire	/	Da progetto, per

installazione copertura temporanea				ogni cella
Data installazione copertura definitiva	anno	inserire	/	Da progetto, per ogni cella
Sistema captazione gas permanente	anno	inserire	/	Data per ogni cella d'installazione sistema di captazione gas
Sistema di captazione temporaneo	anno	inserire	/	Data per ogni cella d'installazione sistema di captazione gas temp
Superficie piano di campagna	m	inserire	/	Sul livello del mare (AOD)
Soggiacenza falda	m	inserire	/	Sul livello del mare (AOD)
Umidità della zona insatura del terreno	%v/v	(2;8)	uniforme	Valore di default per ogni cella
Porosità della zona insatura	%v/v	(14;49)	uniforme	Valore di default per ogni cella
Efficienza sistema di captazione temporaneo	%	(40;50;60)	triangolare	Copertura temporanea
		(55;65;75)		Copertura permanente
Efficienza sistema di captazione definitivo	%	(75,85,95)	triangolare	Copertura temporanea
		(90,95,97.5)		Copertura permanente
Ossidazione biologica del metano (biological methane ossidation)				
Percentuale ossidazione metano	%	10%	singolo	Metodo IPCC
Altezza terreno sopra copertura	m	inserire	singolo	Nel caso della simulazione non IPCC
Percentuale fessurazioni sulla copertura	%	10%	singolo	Default nella simulazione non IPCC
Caratterizzazione del rifiuto (waste input)				
Quantità di rifiuto per anno	t	inserire	definita utente	Per ogni cella e per ogni anno rifiuto in ingresso
Percentuale di provenienza rifiuto	%	inserire	definita utente	Quantità percentuale sul totale (civile, industriale, etc.)
Tipologia rifiuto per umidità	adm	dry, wet, etc.	/	Definire l'umidità del rifiuto
Densità dell'ammasso	t/m³	(0,8;1,2)	uniforme	Per cella, valori di default per RSU
Porosità dell'ammasso	%	(1;20)	uniforme	Per cella, valori di default per RSU

Altezza del percolato	m	(2,5;4,5)	uniforme	Per cella, valore di default
Conduttività idraulica ammasso	m/s	(1*10⁻⁹;1*10⁻⁵)	uniforme	Valore di default per RSU
Capacità d'assorbimento ammasso	%v/v	(1;5)	uniforme	Valore di default per RSU
Ricircolo del percolato	m³/h	inserire	definita utente	Qualora è previsto nell'impianto
Costanti di degradazione del rifiuto	1/anni	wet	default	Diviso per degradazione veloce, lenta, media
		dry		
		saturo		
E' previsto un editor per l'introduzione delle percentuali di giornali, inerti, materiale organico che costituisce il rifiuto in base alla provenienza (civile, industriale, da inceneritore). Valori di default per RSU dal Gregory, libro sulle discariche e esperienze dirette di gestione.				
Gli organi installati, torce e motori (Gas plant)				
Nome e tipo	adm	inserire	/	Distinzione mnemonica
Posizione	adm	coordinate	/	Da disegno
Anno installazione	anno	inserire	/	Da dati di progetto
Anno di disattivazione	anno	inserire	/	Da dati di progetto
Periodo di inutilizzo durante l'anno	%	(3;5)	uniforme	Downtime motore o torcia
Capacità massima	m³/h	inserire	definita utente	Dati costruttivi
Capacità minima	m³/h	inserire	definita utente	Dati costruttivi
Altezza camino	m	inserire	/	Dati costruttivi
Diametro camino	m	inserire	/	Dati costruttivi
Rapporto aria/combustibile	adm	inserire	/	Dati costruttivi
Efficienza metano, idrogeno	%	(99%)	singolo	Efficienza combustione
Composizione biogas	%	(50%;50%)	singolo	Rapporto metano, anidride carbonica biogas
Migrazione laterale (Lateral migration)				
Coefficiente di diffusione laterale	cm²/s	tabellari	da tabelle	Valori tabellari inclusi per ogni gas
Esposizione (Exposure)				
Viscosità del gas	Nh/ m³	tabulato	singolo	Valori tabellari inclusi per ogni gas
Log10Kow	adm	tabulato	singolo	Valori tabellari inclusi per ogni gas
Costante di Henry	adm	tabulato	singolo	Valori tabellari inclusi per ogni gas
Tipo di suolo	adm	argilla, sabbia	/	Scelta dall'utente
Materia organica nel terreno	%	5	singolo	Valore cautelativo di default

Velocità del vento al suolo	cm/s	12	singolo	Di default sulla zona di miscelamento
Caratteristiche delle costruzioni				
Area dei muri della zona giorno	m²	186	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Area delle finestre	m²	20	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Area del pavimento	m²	74,1	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Altezza della zona giorno	m	5,4	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Rateo di ricambio area	adm	1	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Perimetro costruzione	m	34,4	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Pressione in casa	Pa	101325	singolo	Pressione
Altezza vuoto terreno-pavimento	m	inserire	singolo	Qualora previsto dalla costruzione
Area dei muri in cantina	m²	6,88	singolo	Di default sui valori medi per costruz.
Temperatura media in casa	°C	19	singolo	Da analisi climatiche
Resistenza del pavimento al passaggio dell'aria	Nm³/h	27,8	singolo	Da default, dipende dal materiale del pavimento
Impatto Globale (Global impact)				
Tonnellate equivalenti anidride carbonica	adm	tabulato	singolo	Definito e tabulato per ogni gas
Tonnellate equivalenti CFC-11	adm	tabulato	singolo	Definito e tabulato per ogni gas
Note finali: dati meteo in formato SFC campionati per massimo cinque anni				

Tabella 3 (dati in input al GasSim)

La tabella riporta i parametri strettamente necessari e da inserire per avviare una simulazione e i parametri di default inseriti all'interno del software è utilizzabili nel caso si stia modellizzando una discarica per rifiuti solidi urbani. Sono riportate delle note aggiuntive che indicano in maniera rapida la caratteristica del dato da inserire e la tipologia.

4 Studio di un caso reale

4.1 Ubicazione e caratteristiche geometriche della discarica

Applichiamo lo studio della propagazione del gas di discarica ad un sito di abbancamento rifiuti realmente esistente. Per motivi di riservatezza non si riporta l'ubicazione della discarica in oggetto né informazioni in merito al gestore dell'impianto stesso.

La discarica in oggetto è situata nel nord-est dell'Italia. In figura 2 è riportata l'immagine satellitare con un ingrandimento del sito studiato, in modo da avere dei riferimenti geografici sulla posizione rispetto all'ambiente circostante e al contesto morfologico nel quale si trova.

Il progetto approvato nel 1998 prevede la costruzione di un sito di abbancamento rifiuti delle dimensioni in pianta di metri 165x230 nel quale costituire uno strato di rifiuti di 7,10 metri d'altezza. Il bacino di utenza servito dall'installazione è di 55800 abitanti con una produzione annua di 24000 tonnellate di rifiuti urbani o assimilabili.

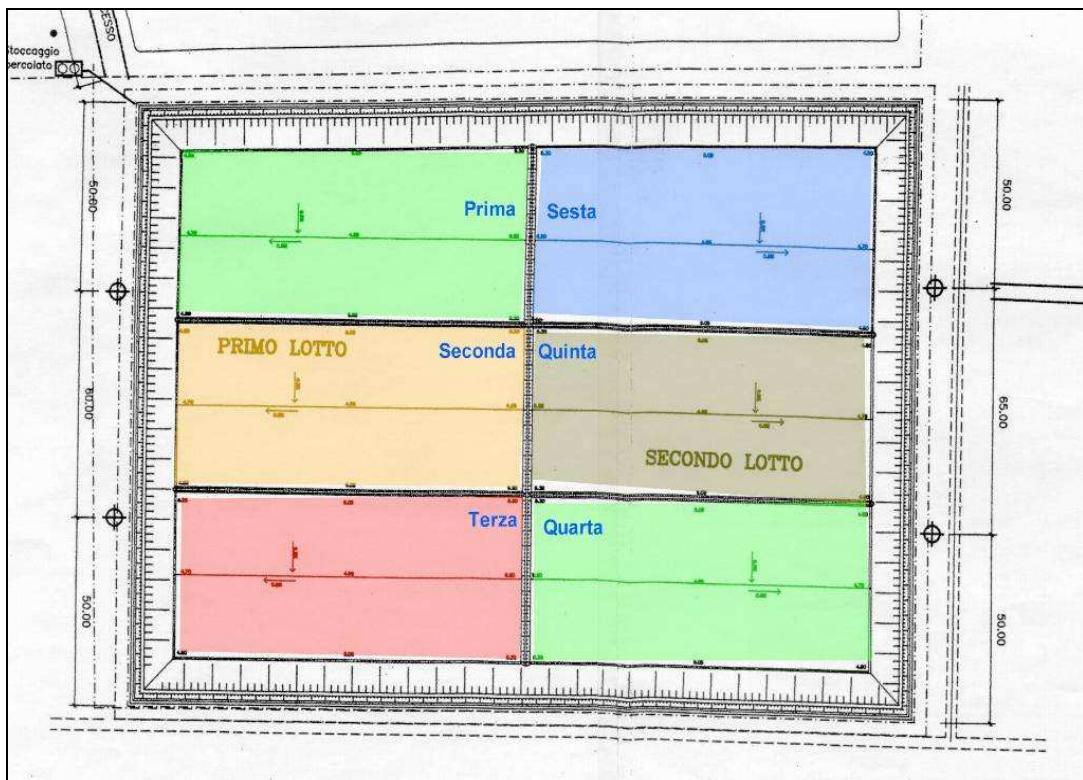


Figura 1 (Geometria della discarica)



Figura 2 (Immagine satellitare e ingrandimento del sito di discarica)

4.2 Metodologia di coltivazione

Il progetto della discarica prevede la suddivisione del sito in due grandi lotti a loro volta divisi in tre vasche idraulicamente indipendenti. L'installazione ha esaurito la sua volumetria totale il 31/12/2008, l'inizio del conferimento rifiuti risale al 1/1/2002. La coltivazione delle vasche ha seguito, come prescritto nelle autorizzazioni rilasciate dalle Autorità Competenti, una progressione di tipo antiorario (figura uno) partendo dalla prima vasca del primo lotto, mediante strati di rifiuti aventi uno spessore compreso tra i 2,1 e 2,5 metri. Più specificatamente le prime tre vasche del primo lotto (prima, seconda e terza) sono state coltivate in successione fino al raggiungimento di una quota di + 0,7 metri dal piano di campagna mediante la stesura dei primi due strati di rifiuti; solo dopo aver completato questo livello di coltivazione per l'intera sezione corrispondente al primo lotto si è passati alla coltivazione degli strati successivi necessari al raggiungimento delle quote previste dalla baulatura. Con le medesime modalità si è provveduto successivamente alla coltivazione delle vasche del secondo lotto (quarta, quinta e sesta).

Durante le operazioni di abbancamento si è provveduto ad attuare coperture provvisorie con un apposito telo in HDPE in grado di evitare infiltrazioni nelle vasche in coltivazione, mentre la copertura di cella è stata attuata mediante uno strato di terreno miscelato con materiale biostabilizzato o altro materiale idoneo secondo un rapporto percentuale 70/30.

L'autorizzazione alla coltivazione dell'intera discarica rilasciata dal Dirigente del Servizio Risorse Idriche e Tutela Ambientale della Provincia in cui è situata stabilisce che la capacità massima autorizzata nel sito in oggetto è pari 258.000 m³.

Tale volumetria considerando, come da progetto approvato, una densità di abbancamento pari a 0,8 t/m³, corrisponde a una quantità massima di rifiuti abbancabili presso la discarica di circa 216.000 tonnellate.

Dal punto di vista temporale e geometrico ogni cella presenta le seguenti caratteristiche:

- Superficie di circa 6300 m²
- Capacità di abbancamento rifiuti per cella pari a 36000 tonnellate
- Altezza dello strato di ammasso di rifiuti pari a 7,10 metri

Ogni cella esaurisce la volumetria di rifiuti abbancabili al proprio interno in un anno e mezzo di funzionamento dell'installazione.

Durante il funzionamento viene realizzata per ogni cella una copertura provvisoria con uno strato di telo in HDPE dello spessore di un millimetro e alla chiusura della cella, esaurita la sua volumetria, verrà realizzata la copertura definitiva. In questo modo si massimizzerà la produzione di metano isolando il rifiuto dall'ossigeno contenuto nell'atmosfera. La ricomposizione ambientale proposta consiste in un doppio tetto a due falde con pendenze molto contenute, dell'ordine del 3 %, giudicata compatibile con i profili paesistici e con le pratiche agronomiche della zona.

- **Cella numero 1:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2002 e finisce nel 2003, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 24000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 12000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2002 e sostituita con la copertura definitiva nel 2003 alla chiusura della cella;
- **Cella numero 2:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2003 e finisce nel 2004, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 12000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 24000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2003 e sostituita con la copertura definitiva nel 2004 alla chiusura della cella;
- **Cella numero 3:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2004 e finisce nel 2005, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 24000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 12000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2004 e sostituita con la copertura definitiva nel 2005 alla chiusura della cella;
- **Cella numero 4:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2005 e finisce nel 2006, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 12000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 24000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2005 e sostituita con la copertura definitiva nel 2006 alla chiusura della cella;

- **Cella numero 5:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2006 e finisce nel 2007, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 24000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 12000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2006 e sostituita con la copertura definitiva nel 2007 alla chiusura della cella;
- **Cella numero 6:** L'inizio della coltivazione della cella risale al 2007 e finisce nel 2008, il primo anno di coltivazione il totale dei rifiuti conferiti è stato di 12000 tonnellate, il secondo anno di coltivazione i restanti 24000 tonnellate fino ad esaurimento della volumetria totale. La copertura temporanea è realizzata nel 2007 e sostituita con la copertura definitiva nel 2008 alla chiusura della cella.

La tecnica di gestione delle celle è la stessa per ognuna di esse. Prevede di operare sugli strati inferiori durante i periodi con scarse precipitazioni, passando a realizzare lo strato superiore nei periodi piovosi, per portare al più presto il piano di coltivazione ad una quota superiore a quella degli argini, al fine di poter sgrondare le acque meteoriche nella rete di scolo perimetrale. Gli strati potranno essere formati da sottostrati di spessore più modesto, facendo in modo di sfruttare i cedimenti e gli assestamenti del terreno di supporto e dei rifiuti stessi per conseguire una buona compattazione.

4.3 Dettagli copertura definitiva e temporanea

Per quanto riguarda il sistema di copertura finale (capping superficiale) ai sensi del D.Lgs. 36/2003 prevede, a partire dalla superficie superiore il succedersi dei seguenti strati (v. fig. 3):

- uno strato di terreno vegetale con spessore minimo di 0,6 m;
- uno strato di geotessuto (200 g/m²);
- una geomembrana in H.D.P.E. dello spessore di 1 mm;
- uno strato di argilla compattata dello spessore di 0,4 m.

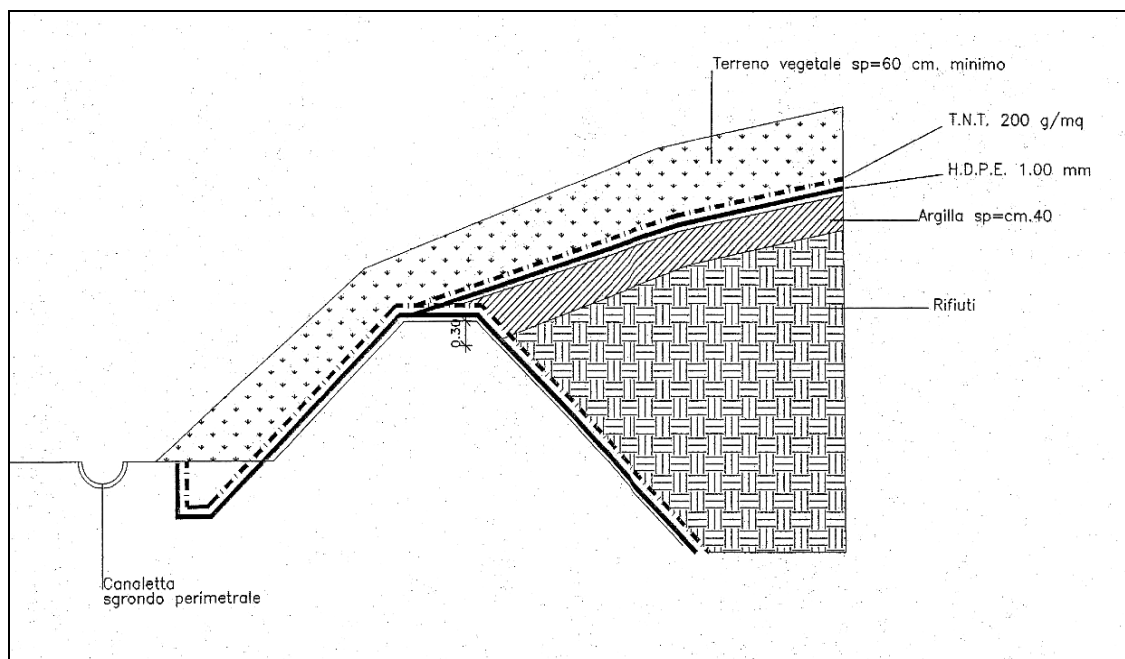


Figura 3 (Dettagli della copertura)

Per questi strati previsti dal progetto sono stati trovati i seguenti valori cautelativi di conducibilità idraulica da inserire come dati di input al software oggetto di studio, rispettivamente:

- il terreno vegetale non influenza in maniera significativa il blocco della propagazione dei gas di discarica in atmosfera, tuttavia il suo spessore più o meno elevato è responsabile nell'ossidazione biologica del metano e costituisce quindi un dato d'ingresso nella simulazione di quest'aspetto (vedi capitolo 3);
- per il geotessuto è stata scelta una conducibilità idraulica cautelativa compresa uniformemente tra 10^{-1} e 10^{-2} m/s;
- per la geomembrana HDPE è stata scelta una conducibilità idraulica cautelativa compresa uniformemente tra 10^{-12} e 10^{-14} m/s;
- per l'argilla compattata è stata scelta una conducibilità idraulica cautelativa compresa uniformemente tra 10^{-7} e 10^{-9} m/s.

Per la copertura temporanea è previsto il solo strato di HDPE con la conducibilità idraulica specificata e lo spessore di un millimetro.

Per la copertura laterale dell'installazione sono stati progettati i seguenti strati per isolare il rifiuto dal resto del terreno circostante il sito di abbancamento rifiuti:

- geotessile da 400 g/mq;
- geomembrana HDPE, spessore 2 mm ;
- bentonite rullata, spessore 20 cm;
- argilla esistente.

I valori di conducibilità idraulica utilizzati e dati come parametri di input al GasSim sono stati già specificati precedentemente tranne per lo strato di argilla rullata, per il quale è stato scelto un valore di conducibilità compreso uniformemente tra 10^{-9} e 10^{-10} m/s visto il grado di compattazione.

La barriera geologica naturale formata dalle argille esistenti nel luogo dove è stata progettata la discarica non è stata considerata nella simulazione per avere valori maggiormente conservativi nello studio di un'eventuale migrazione laterale dei gas.

4.4 Dettagli dei rifiuti conferiti in discarica

I rifiuti abbancabili in discarica e quindi in ogni singola cella hanno le seguenti caratteristiche:

1. Tipologia dei rifiuti abbancabili:
 - 1.1. Rifiuti urbani e assimilabili, la percentuale di questa tipologia di rifiuto all'interno dell'ammasso è compresa tra il 50% e il 70% della totalità;
 - 1.2. Rifiuto inerte (scarti della lavorazione del vetro e del dissabbiamento delle acque provenienti dalle industrie vicine), la percentuale di questa tipologia di rifiuto all'interno dell'ammasso è compresa tra il 10% e il 20% della totalità;
 - 1.3. Ceneri pesanti e scorie provenienti da inceneritore deferrizzate, la percentuale di questa tipologia di rifiuto all'interno dell'ammasso è compresa tra il 10% e il 20% della totalità;
 - 1.4. Fanghi provenienti dal trattamento delle acque civili e industriali, la percentuale di questa tipologia di rifiuto all'interno dell'ammasso è compresa tra il 10% e il 15% della totalità;
2. Porosità dell'ammasso è stata scelta cautelativamente compresa tra il 40% e il 60% del volume totale;
3. La densità dei rifiuti è stata scelta compresa tra 0,8 e il 1,2 t/m³;
4. I rifiuti hanno un grado di umidità compreso tra il 20% e il 40% dell'umidità massima;

La composizione del rifiuto in base alla sua tipologia proviene dalla letteratura tecnica ed è riportata in appendice: dalla tale tabella riportata in appendice vengono stabilite in automatico dal software le costanti di degradazione, in base alla composizione stessa.

4.5 Dettagli tecnici dell'impianto di aspirazione e combustione

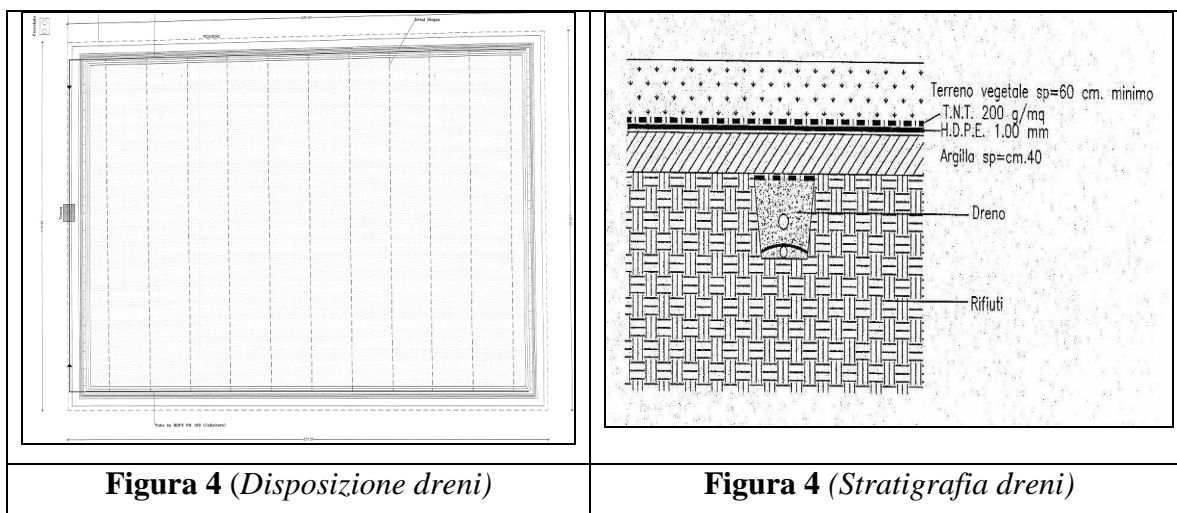
L'impianto per la captazione del biogas è costituito da:

- drenaggi per la raccolta del biogas;
- collettore perimetrale;
- centrale di aspirazione e combustione del biogas (torcia);
- quadro comandi torcia.

L'impianto di drenaggio è costituito da una rete di tubi sub orizzontali in HDPE di opportuno diametro, fessurati, posizionati in trincee scavate sulla sommità del corpo discarica, al di sotto dello strato di regolarizzazione posto prima del capping.

Tale rete confluisce in un collettore perimetrale ed ogni condotta è collegata tramite una valvola di intercettazione, che permette la regolazione del flusso, ed è munita di un campionatore attraverso il quale è possibile controllare le caratteristiche parametriche del biogas (v. figura 4 per maggiori dettagli).

La centrale di aspirazione e combustione del biogas (torcia) è costituita da un ventilatore multistadio, da una torcia di combustione ad alta temperatura e da un quadro comando e analisi. La portata e la depressione imposte al collettore, come il biogas convogliato alla torcia, sono regolate da valvole sulla linea di aspirazione poste al termine del collettore perimetrale ed in entrata alla torcia, dopo il ventilatore.



La torcia ha i seguenti parametri tecnici:

- Numero aspiratori: 1
- Numero di stadi singolo aspiratore: 5
- Portata in mandata singolo aspiratore (m^3/h):600
- Depressione di aspirazione (mm H₂O):1000
- Pressione di mandata (mm H₂O):2800
- Potenza assorbita (kW):11
- Potenza installata (kW):15
- Tensione di alimentazione (V/50Hz):380
- Temperatura di combustione (°C):800 - 1200
- Potenza massima di combustione (kW):3000
- Potenza minima di combustione (kW):600
- Range di combustione (Nm^3/h 50% di CH₄):20 - 120
- Percentuale minima di CH₄ richiesta 25%
- Altezza camino: 5 metri
- Diametro camino: 0,8 metri

La capacità di combustione del biogas in ingresso è stata scelta pari al 99% e la posizione della torcia è stata ricavata sulla base della planimetria del sito. L'impianto è stato commissionato nel 2003 e è sarà spento nel 2021.

4.6 Ultimi parametri necessari per avviare la fase di screening del sito

Qui di seguito sono riportati gli ulteriori parametri necessari per la fase di screening ed in particolare:

- la soggiacenza della falda è 4 metri al di sopra del livello del mare;
- il piano di campagna è posto a 19 metri sul livello del mare;
- la discarica si eleva di altri 0,7 metri dal piano di campagna mantenendo delle pendenze della baulatura nell'ordine del 3%;
- tutta la superficie ricomposta della discarica sgronda per gravità verso un sistema di canalette perimetrali che cintura tutto l'impianto;
- non è previsto nessun impianto per il ricircolo del percolato;
- dai dati di piovosità media annuali è stato ricavato che l'infiltrazione efficace del luogo in cui è progettato l'impianto oggetto di studio è pari a 800 mm/anno ed è stato scelto un valore cautelativo pari al 10% di questo parametro per l'infiltrazione efficace con copertura temporanea.

Con questi valori elencati nel capitolo quattro è possibile avviare la simulazione di screening del sito in esame. Riassumo i parametri necessari già descritti nella tabella 3.11 nella tabella 4.1 per semplicità di replica della simulazione. Per i parametri non presenti in questa tabella ma presenti in tabella 3.11 sono stati utilizzati valori di default poiché idonei alla simulazione del progetto.

Parametro	Unità di misura	Distribuzione	Valore
Infiltrazione efficace	mm/anno	Valore singolo	800
Infiltrazione capping	mm/anno	Valore singolo	80
Spessore copertura temporanea	mm	Valore singolo	1
Conduttività HDPE	m/s	Uniforme	10^{-12} e 10^{-14}
Spessore argilla copertura definitiva	m	Valore singolo	0,4
Conduttività argilla	m/s	Uniforme	10^{-7} e 10^{-9}
Spessore HDPE liner	mm	Valore singolo	2
Spessore bentonite	m	Valore singolo	0,2

compattata liner			
Conduttività bentonite	m/s	Uniforme	10^{-9} e 10^{-10}
Porosità zona insatura terreno	%	Uniforme	14 e 49
Umidità zona insatura	%	Uniforme	8 e 10
Land raise o baulatura	m	Valore singolo	0,7
Rifiuti cella	t	Valore singolo	36000
Densità rifiuti	t/m ³	Uniforme	0,8 e 1,2
Umidità dei rifiuti	%	Uniforme	20 e 40
Conduttività rifiuti	m/s	Loguniforme	10^{-5} e 10^{-8}
Altezza percolato	m	Valore singolo	1
Altezza camino	m	Valore singolo	5
Diametro camino	m	Valore singolo	0,8
Downtime annuale torcia	%	Uniforme	3 e 6
Capacità minima	m ³ /h	Valore singolo	120
Capacità massima	m ³ /h	Valore singolo	600
Efficienza di combustione	%	Valore singolo	99
Numero iterazioni	adm	Valore singolo	201
Rifiuti urbani sul totale	%	Uniforme	50 e 70
Rifiuti da inceneritore sul totale	%	Uniforme	10 e 20
Rifiuti inerti sul totale	%	Uniforme	10 e 20
Fanghi di depurazione sul totale	%	Uniforme	10 e 15

Tabella 1 (*Valori fase di screening*)

I parametri relativi alla tempistica e alla geometria della discarica e alla posizione della torcia sono ricavati dalla planimetria del progetto e sono ampiamente già stati descritti nel presente capitolo.

4.7 Dettagli dei recettori scelti

Nella simulazione sono stati definiti tre recettori puntuali coincidenti con tre abitazioni reali sul territorio, la posizione delle strutture abitative rispetto alla discarica e alla torcia sono state ricavate da immagini satellitari del sito in esame.

La destinazione d'uso delle strutture è stata scelta di fantasia per permettere nella valutazione dell'esposizione alle sostanze inquinanti la completa gamma degli scenari espositivi che il GasSim mette a disposizione.

E' stato stabilito anche un recettore polare coincidente con i confini della discarica per valutare il Rischio on-site a breve termine degli addetti ai lavori.

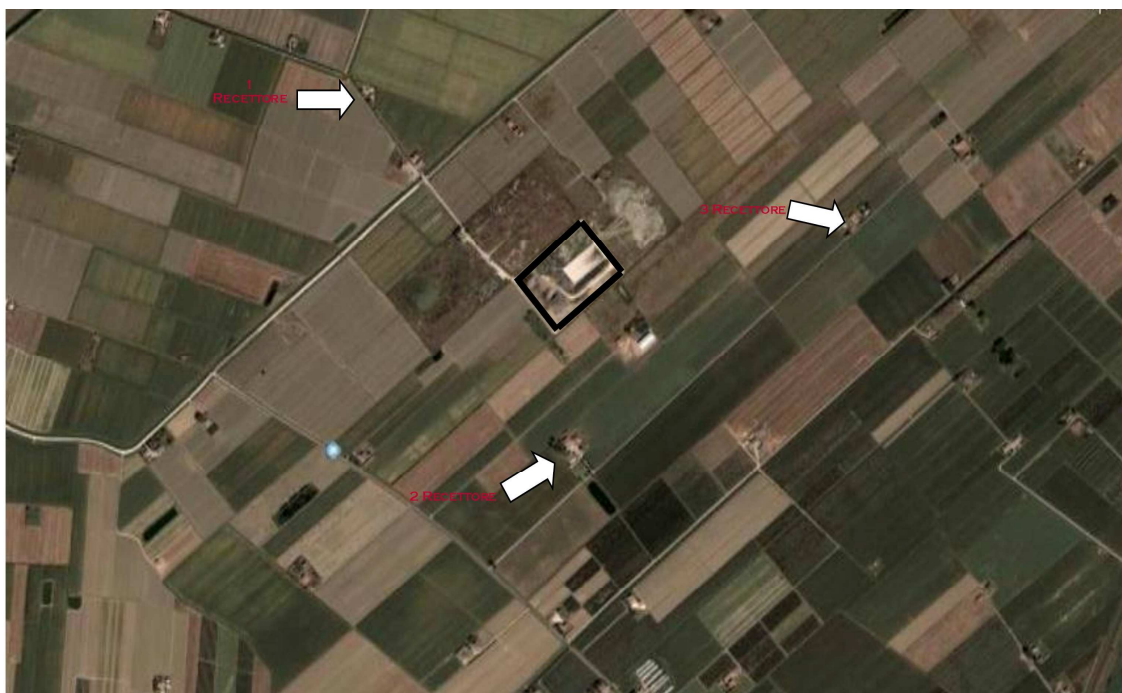


Figura 5 (posizione *recettori*)

Tutti questi parametri compresi la posizione dei recettori sono dati come dati di input al GasSim per il calcolo della dispersione atmosferica. La destinazione d'uso scelta dei tre recettori in figura 5 è quindi la seguente:

- Recettore uno: civile abitazione;
- Recettore due: generico opificio (insediamento commerciale/industriale);
- Recettore tre : recettore agricolo;

4.8 Procedimento e risultati

E' stata schematizzata la discarica utilizzando il motore grafico offerto dal software ottenendo il risultato riportato nella figura sottostante.



Figura 6 (*Schema discarica*)

L'immagine DXF (vedi capitolo 3) contestualizza la discarica nell'ambiente circostante ed è stata ottenuta da immagini raster satellitari post processate in Autocad® per ricavare un'immagine vettoriale che riportasse l'esatta posizione dei recettori. Con queste operazioni il GasSim ricava le caratteristiche geometriche del sito (area celle, perimetro e posizione reciproca dei recettori dalle sorgenti di emissione). Sono stati inseriti tutti i parametri necessari riguardanti la tecnologia costruttiva del capping e del liner e le caratteristiche fisico chimiche del rifiuto, i parametri necessari del caso di applicazione reale sono stati raccolti nel capitolo 4 e la loro funzione spiegata nel capitolo 3.

	cella1	cella2	cella3	cella4	cella5	cella6
Infiltration						
Uncapped Infiltration [mm/yr]	SINGLE(800.0)	SINGLE(800.0)	SINGLE(800.0)	SINGLE(800.0)	SINGLE(800.0)	SINGLE(800.0)
Capped Infiltration [mm/yr]	SINGLE(80.0)	SINGLE(80.0)	SINGLE(80.0)	SINGLE(80.0)	SINGLE(80.0)	SINGLE(80.0)
Temporary Cap						
Thickness [m]	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)
Hydraulic Conductivity [m/s]	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)
Cap Type						
Thickness [m]	SINGLE(0.4)	SINGLE(0.4)	SINGLE(0.4)	SINGLE(0.4)	SINGLE(0.4)	SINGLE(0.4)
Hydraulic Conductivity [m/s]	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)
Layer 2 Thickness [m]	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)	SINGLE(1.00E-0)
Layer 2 Hydraulic Conductivity [m/s]	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)
Liner Type						
Thickness [m]	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)	SINGLE(0.002)
Hydraulic Conductivity [m/s]	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)
Layer 2 Thickness [m]	SINGLE(0.2)	SINGLE(0.2)	SINGLE(0.2)	SINGLE(0.2)	SINGLE(0.2)	SINGLE(0.2)
Layer 2 Hydraulic Conductivity [m/s]	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)	UNIFORM(1.00E-)
Layer 3 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 3 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 4 Thickness [m]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Layer 4 Hydraulic Conductivity [m/s]	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?
Land Raise Depth [m]	SINGLE(7.1)	SINGLE(7.1)	SINGLE(7.1)	SINGLE(7.1)	SINGLE(7.1)	SINGLE(7.1)
Installation Dates						
Temporary Cap	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Permanent Cap	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Sacrificial Gas Collection	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Permanent Gas Collection	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Geosphere						
Ground Surface [mADD]	19	19	19	19	19	19
Water Table [mADD]	4	4	4	4	4	4
Unsaturated Zone Moisture Content [% v/v]	UNIFORM(2.0, 8)	UNIFORM(2.0, 8)	UNIFORM(2.0, 8)	UNIFORM(2.0, 8)	UNIFORM(2.0, 8)	UNIFORM(2.0, 8)
Unsaturated Zone Total Porosity [% v/v]	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,	UNIFORM(14.0,

Gas Collection Efficiency Estimates [%]			
	No Cap	Temporary Cap	Permanent Cap
Sacrificial Gas Collection System	TRIANGULAR(10.0, 30.0, 50.0)	TRIANGULAR(40.0, 50.0, 60.0)	TRIANGULAR(55.0, 65.0, 75.0)
Permanent Gas Collection System	TRIANGULAR(50.0, 60.0, 70.0)	TRIANGULAR(75.0, 85.0, 95.0)	TRIANGULAR(90.0, 95.0, 97.5)

Figura 6 (Cap and liner data)

In figura 6 riporto come esempio la schermata che contiene alcuni parametri necessari a definire la copertura superficiale e in figura 7 i parametri necessari per definire la tipologia e la composizione percentuale dei rifiuti.

Year	Waste Input (t)	Cumulative (t)	Domestic [%]	Civic Amenity [%]	Commercial [%]	Industrial [%]
2003	SINGLE(1.20E+0)	12000	UNIFORM(50.0,	SINGLE(0.0)	SINGLE(0.0)	SINGLE(0.0)
2004	SINGLE(2.40E+0)	36000	UNIFORM(50.0,	SINGLE(0.0)	SINGLE(0.0)	SINGLE(0.0)

	cella1	cella2	cella3	cella4	cella5	cella6
Moisture Content	Average	Average	Average	Average	Average	Average
Waste Density [t/m ³]	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.	UNIFORM(0.8, 1.
Effective Porosity [%]	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2	UNIFORM(1.0, 2
Leachate Head [m]	SINGLE(1.0)	SINGLE(1.0)	SINGLE(1.0)	SINGLE(1.0)	SINGLE(1.0)	SINGLE(1.0)
Conductivity [m/s]	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.	LOGUNIFORM(1.
Adsorptive Capacity	UNIFORM(1.0, 5	UNIFORM(1.0, 5	UNIFORM(1.0, 5	UNIFORM(1.0, 5	UNIFORM(1.0, 5	UNIFORM(1.0, 5
Leachate Recirculat	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?	#UNDEFINED?

Figura 7 (Caratteristiche rifiuto)

Tali parametri non sono gli unici valori necessari per avviare la prima fase di screening ma rappresentano solo un campione di dati necessari per avviare lo studio del caso reale. Una volta completati tutti i campi inserendo gli opportuni valori numerici e le distribuzioni di

probabilità idonee si avvia la simulazione è si possono visualizzare i risultati dello screening del sito in esame.

4.8.1 Risultati screening

La fase di screening si conclude con la possibilità di visualizzare la quantità totale del gas generato dalla discarica (vedi figura 8) in funzione degli anni di simulazione.

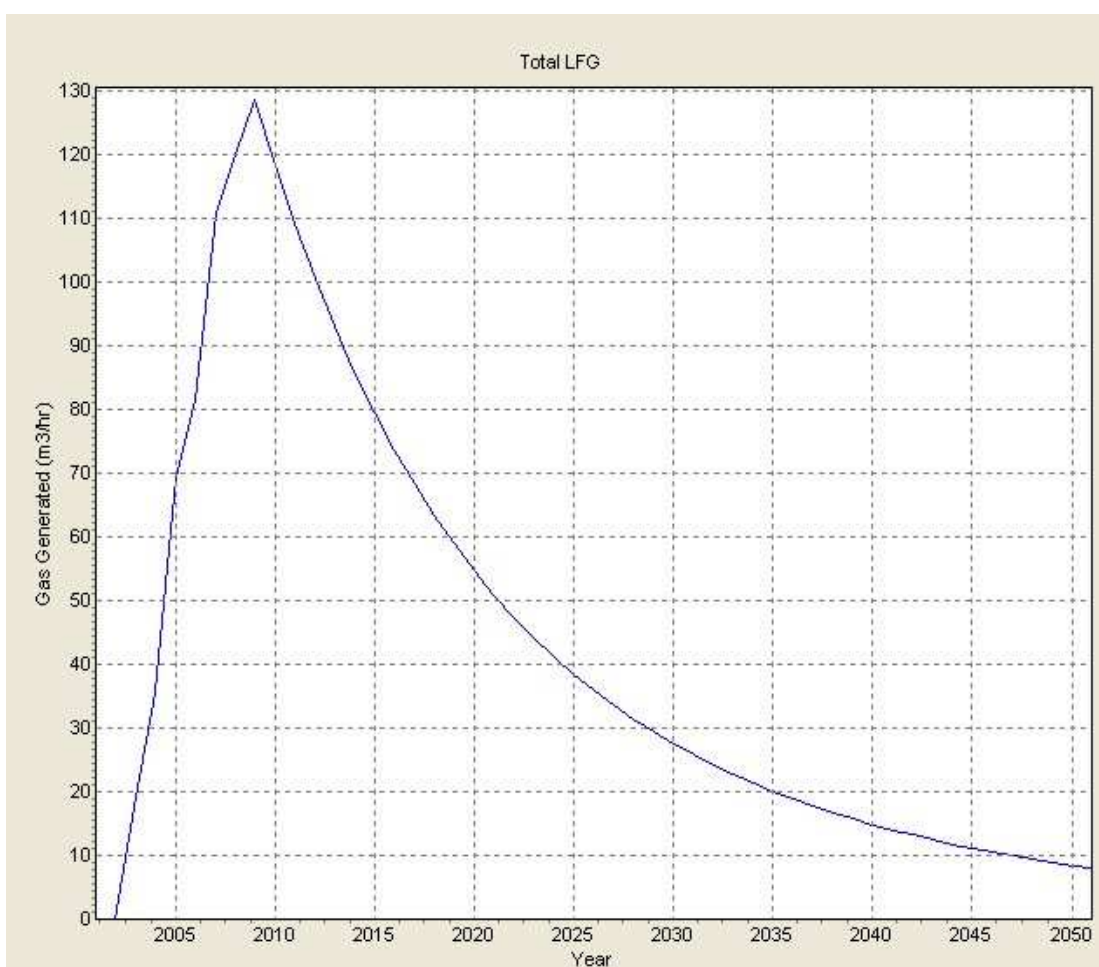


Figura 8 (Gas totale generato dalla discarica)

Nel LFG totale sono compresi anche tutti i gas in traccia originati dal sito di abbancamento rifiuti. Il software permette di separare i risultati dei gas generati, per ogni singola sostanza chimica. Si riporta il metano totale generato negli anni di simulazione considerati e l'anidride carbonica totale prodotta poiché sono i principali gas emessi dalla discarica e vanno a costituire la quasi totalità del biogas. Monitorando queste due sostanze si può

eventualmente progettare in maniera idonea eventuali utilizzatori energetici (torce e motori) per uno sfruttamento energetico dei rifiuti abbancati.

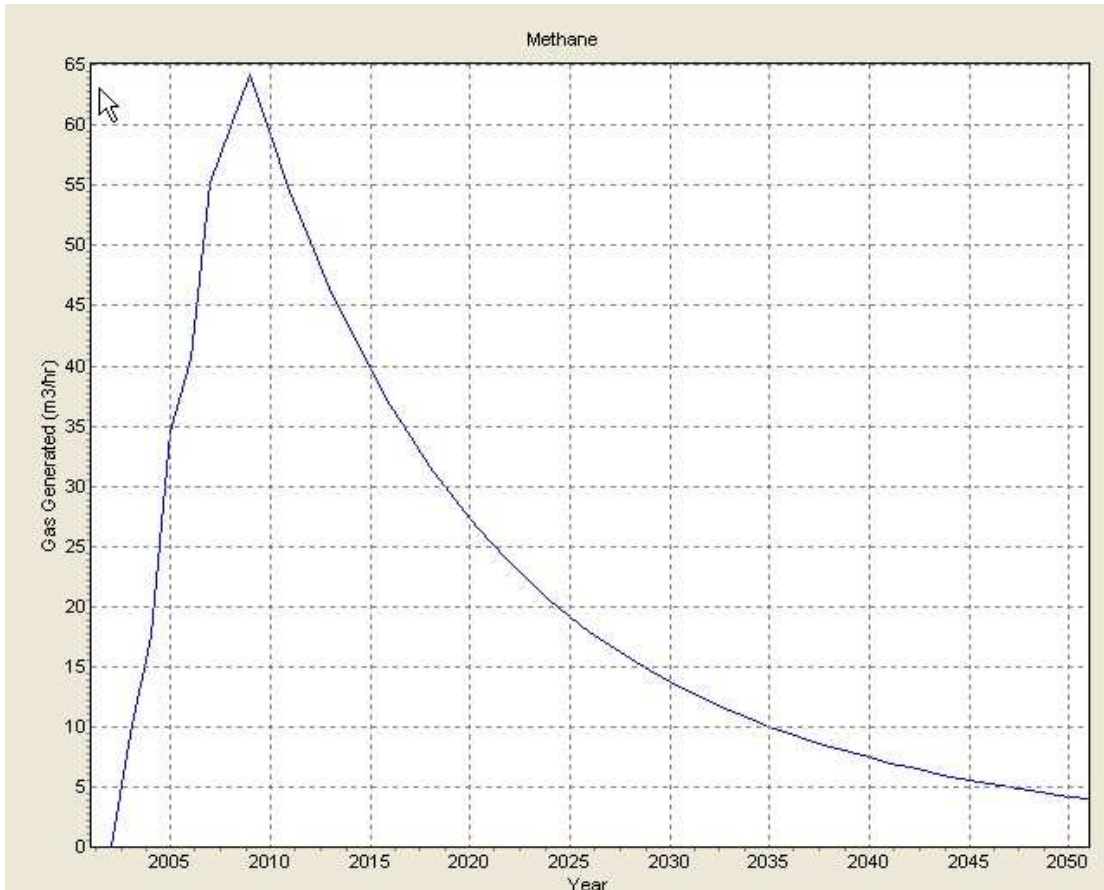


Figura 9 (Metano generato)

Per i gas originati in traccia, fra le novantanove sostanze che il GasSim simula nella generazione, si è scelto il benzene e l'acido solfidrico poiché il benzene è una sostanza cancerogena mentre l'acido solfidrico altera la qualità dell'aria respirata: è responsabile sia delle alterazioni odorigene e sia del fenomeno delle "piogge acide" in seguito all'interazione con il vapore acqueo contenuto normalmente in atmosfera.

Il software permette, in questa fase, oltre a poter conoscere l'andamento temporale di tutti i gas originati dall'ammasso di rifiuti in seguito ai processi di degradazione, di dividere i risultati e graficarli per emissioni laterali ed emissioni superficiali.



Figura 10 (*Anidride carbonica generata*)

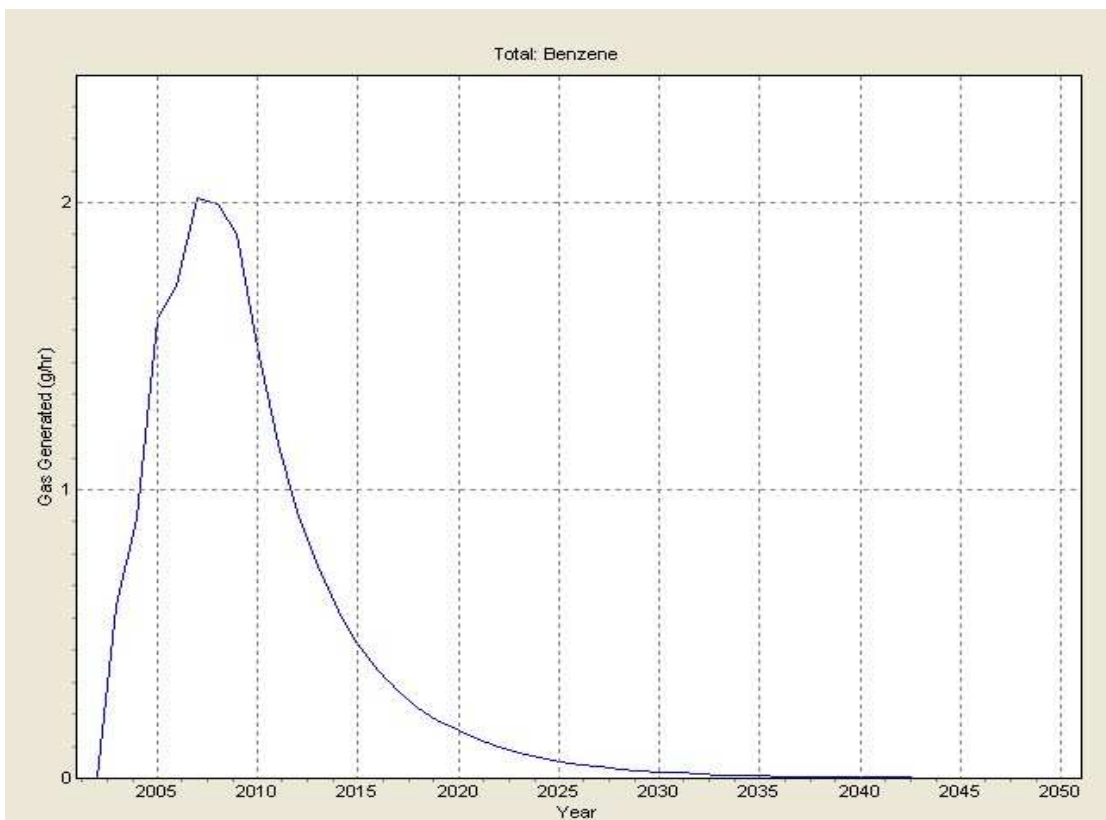


Figura 11 (*Benzene generato*)

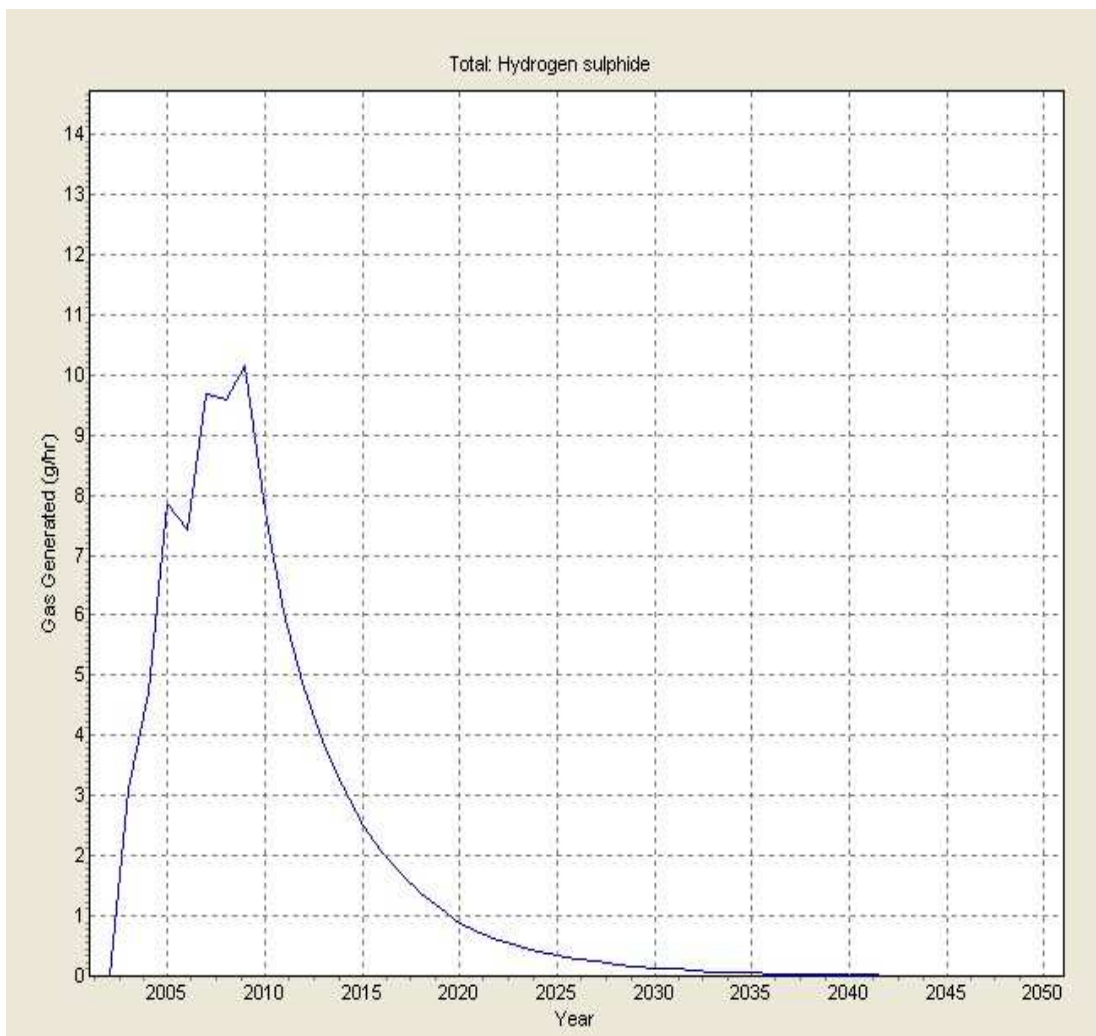


Figura 12 (*Acido solfidrico generato*)

Come ampiamente descritto nel capitolo 3, la totalità del LFG generato dalla discarica:

1. sfugge in parte dalla copertura superficiale
2. sfugge in parte dalla copertura laterale
3. in parte viene intercettato dagli organi di captazione installati per essere inviato ai recuperatori energetici.

Nella fase di screening del nostro sito, il GasSim in seguito alla simulazione, calcola e riproduce i grafici temporali degli andamenti dei volumi suddivisi in base alla “provenienza”. Si riportano, per il sito monitorato, gli andamenti temporali della quantità di metano, biossido di carbonio, benzene e acido solfidrico che sfuggono sia lateralmente e sia attraverso la superficie della discarica.

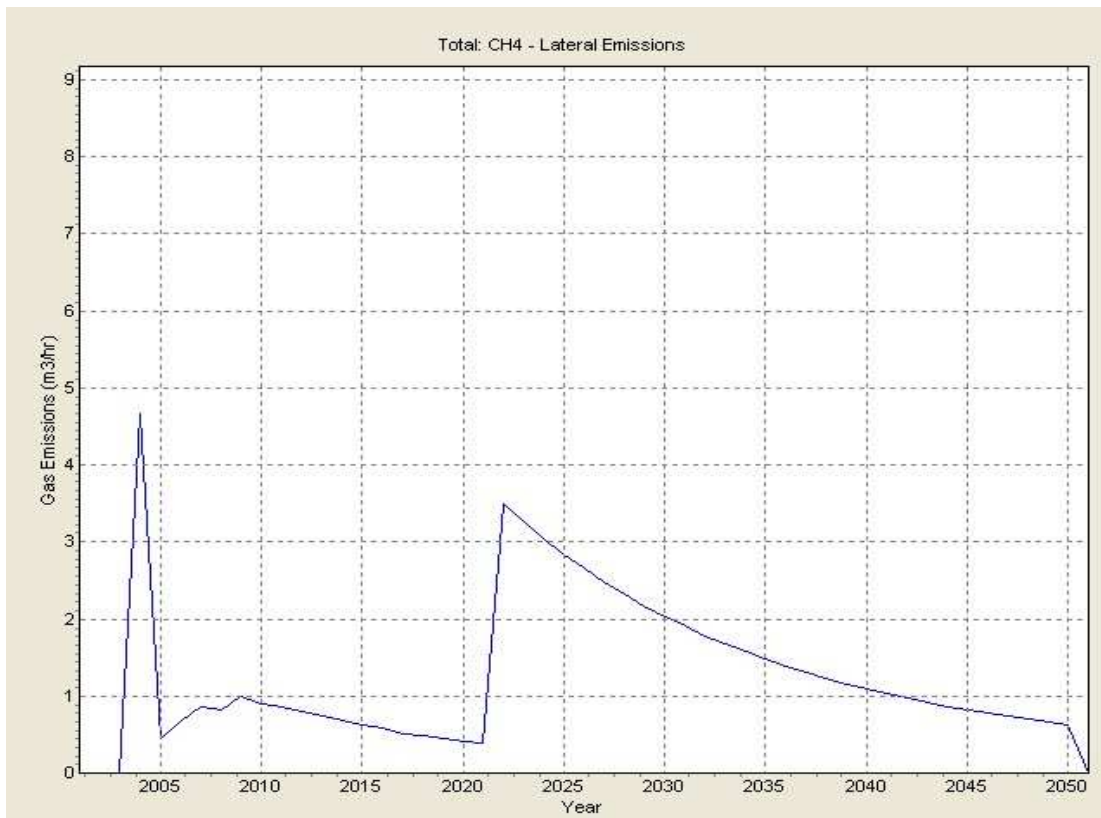


Figura 13 (*Metano che sfugge attraverso la copertura laterale*)

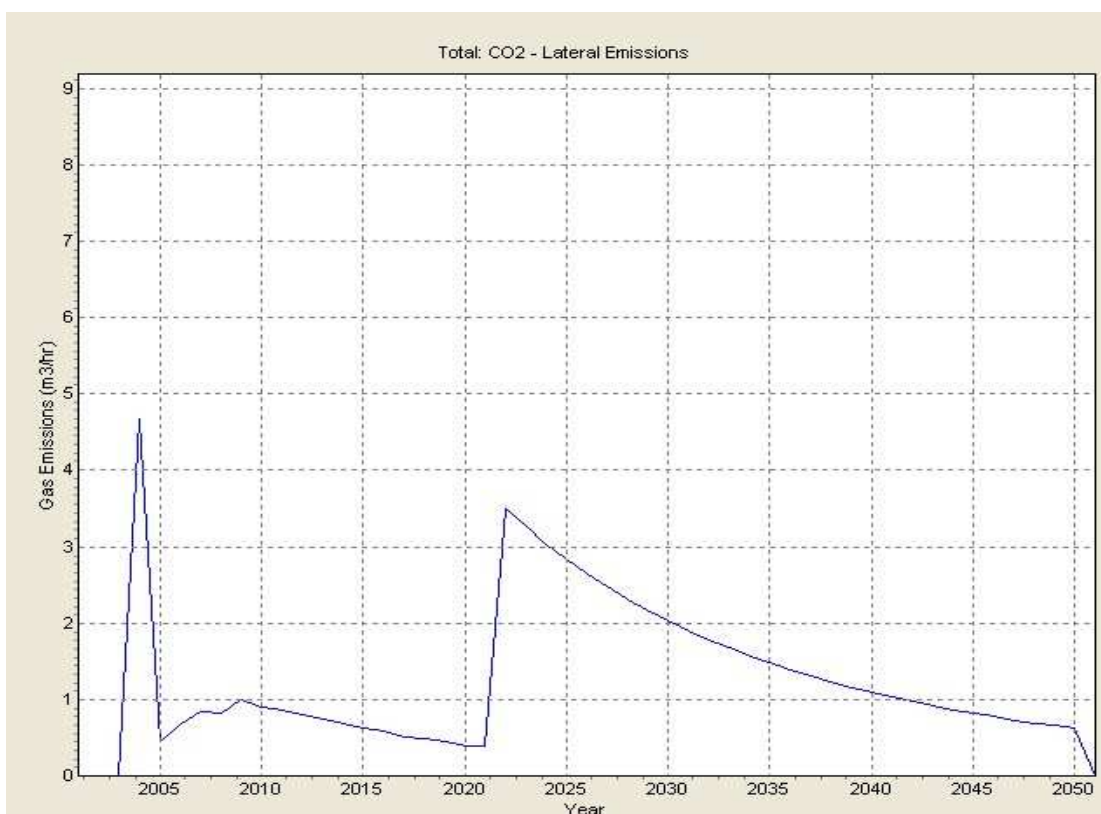


Figura 15 (*Biossido di carbonio che sfugge attraverso la copertura laterale*)

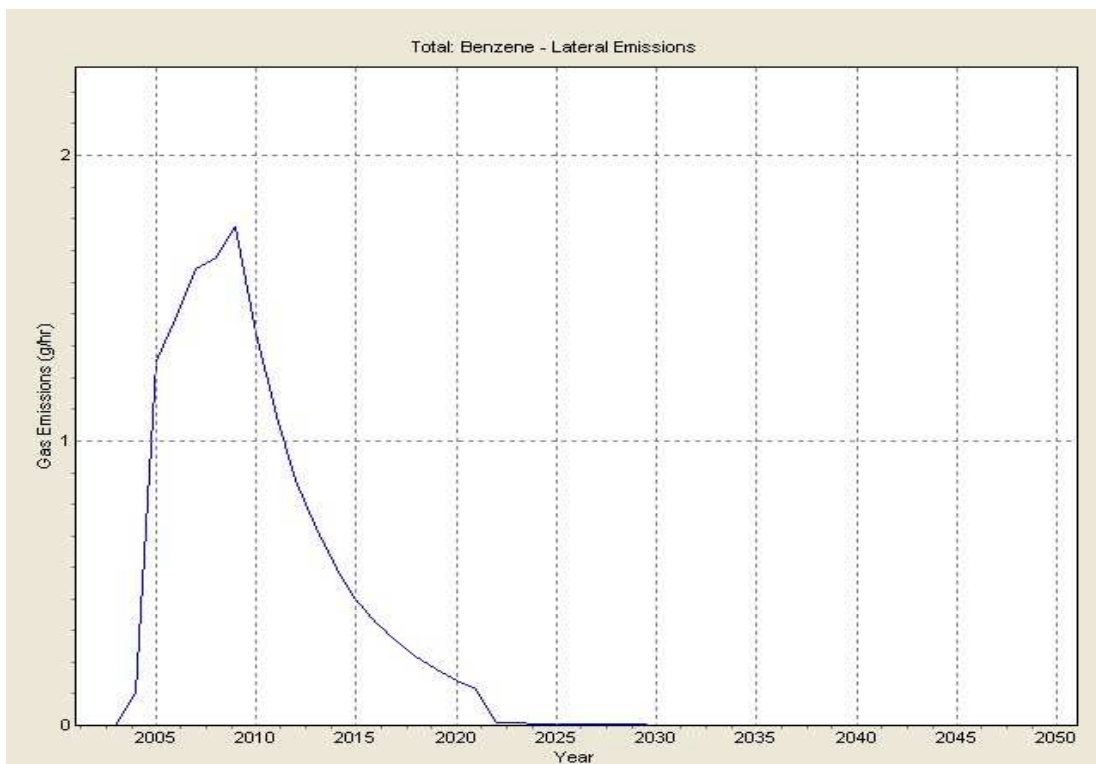


Figura 14 (*Benzene che sfugge attraverso la copertura laterale*)

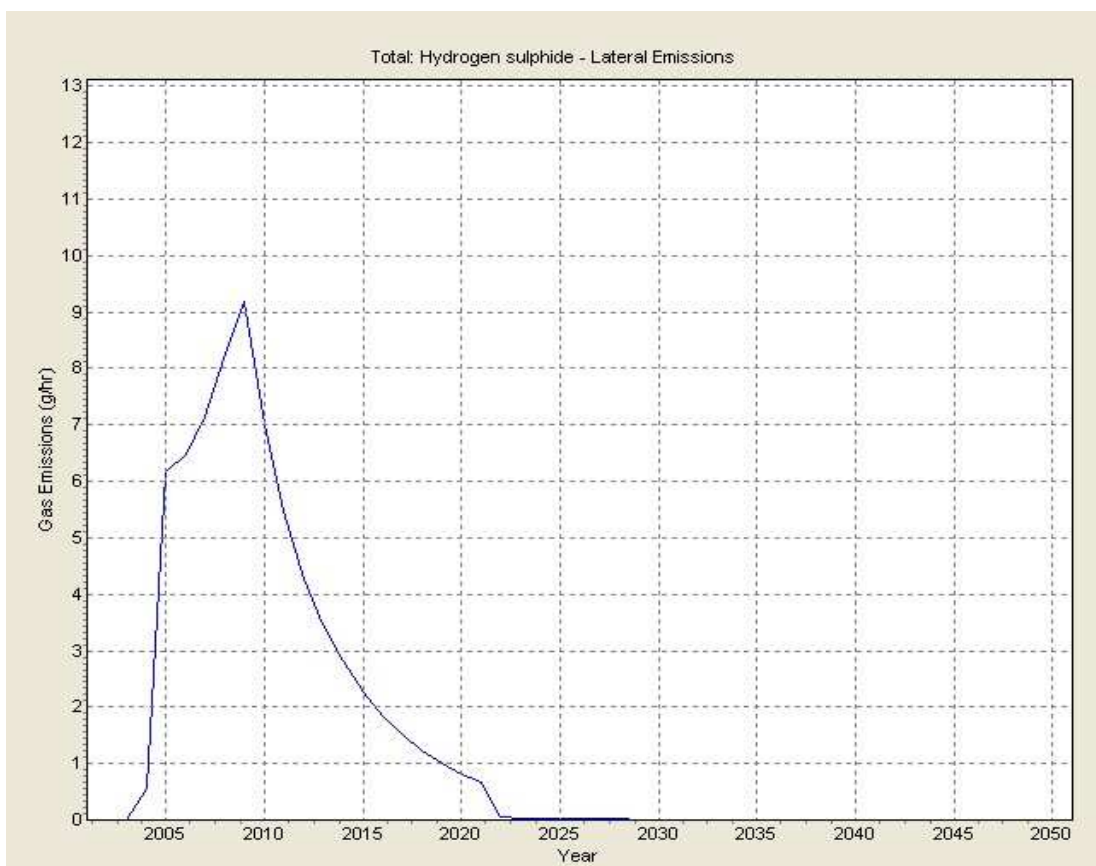


Figura 16 (*Acido solfidrico che sfugge attraverso la copertura laterale*)

Come si può notare dai grafici riportati, nel 2021 i volumi di anidride carbonica e metano, che sfuggono lateralmente attraverso la copertura aumenta in seguito allo spegnimento

dell'impianto di captazione poiché in quell'anno, come previsto da autorizzazione approvata, la torcia verrà decommissionata.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per i gas che sfuggono attraverso la copertura superficiale. Dopo un primo andamento "irregolare" negli anni di gestione della discarica, in seguito alle quantità dei rifiuti abbancati che cambiano di anno in anno e alla presenza o meno di copertura superficiale, la quantità di gas che sfugge dalla superficie decresce in maniera esponenziale con il tempo. Nel 2021, anno in cui sarà decommissionata la torcia, i volumi di gas prima captati dal sistema di aspirazione del biogas, si trova all'interno della massa di rifiuto degradata. In seguito, aumenta il volume dei gas che sfuggono superficialmente poiché aumentano i volumi dei gas che rimangono in discarica.

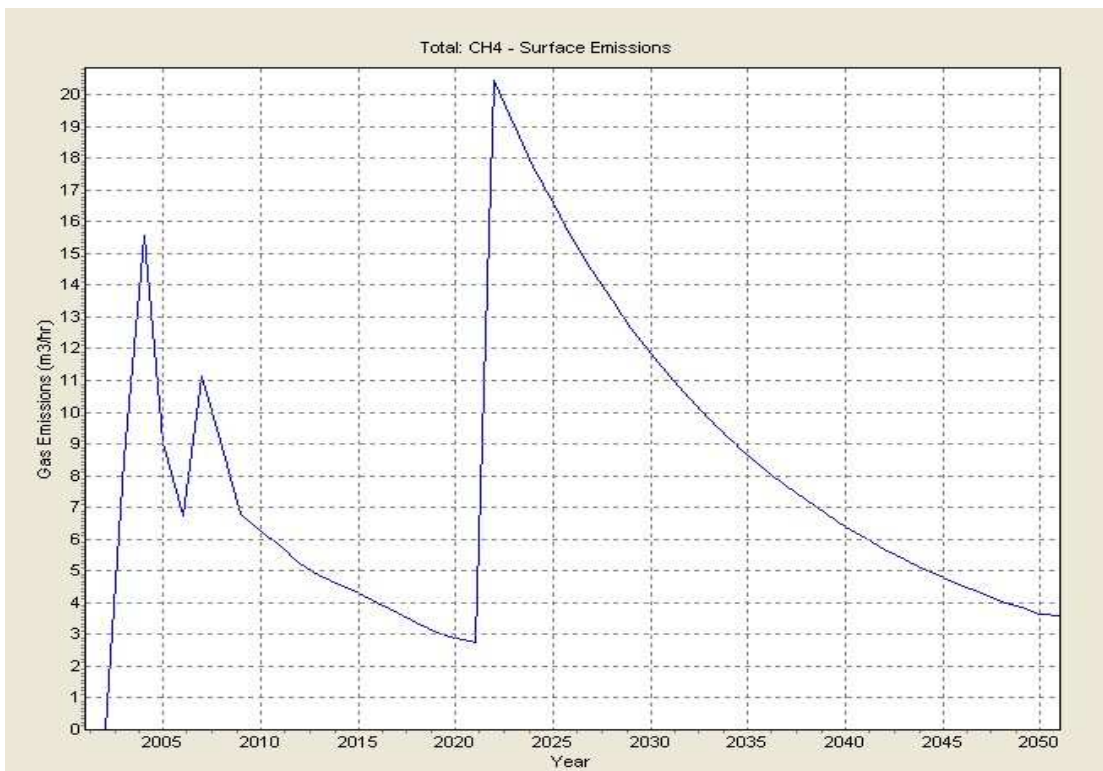


Figura 17 (Metano che sfugge attraverso la copertura superficiale)

Per completezza espositiva, è possibile visualizzare gli andamenti temporali anche del gas residuale all'interno dell'ammasso di rifiuti e per contributo di ogni singola cella.

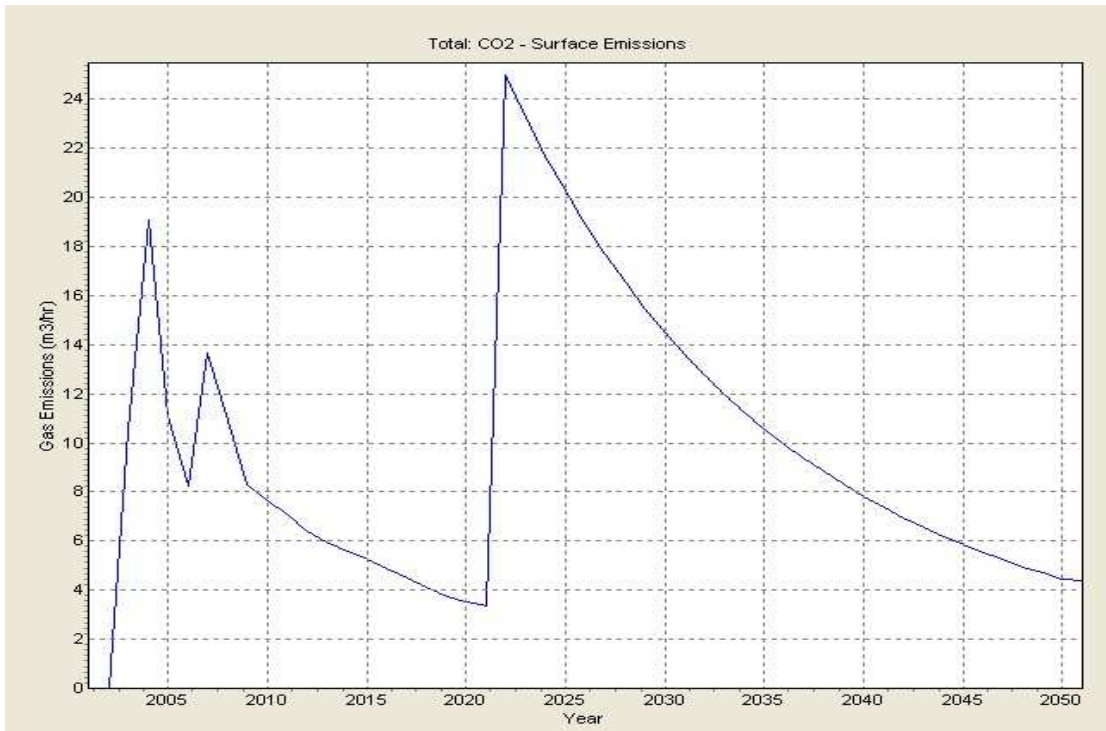


Figura 18a (*Anidride carbonica che sfugge attraverso la copertura superficiale*)



Figura 18b (*Benzene che sfugge attraverso la copertura superficiale*)



Figura 19 (*Acido solfidrico che sfugge attraverso la copertura superficiale*)

Non si riportano questi andamenti poiché ridondanti rispetto al presente studio.

I gas residui e gli andamenti temporali di quest'ultimi, infatti, non sono altro che la totalità del gas generato dalla discarica diminuito dai volumi di gas che sfuggono lateralmente e superficialmente e che vengono captati dal sistema di aspirazione installato.

I gas residui nell'ammasso anno per anno possono essere ricavati anche per semplice differenza dagli andamenti dei volumi di gas finora riportati. I contributi dei volumi suddivisi per ogni singola cella, invece, costituiscono sommati insieme i risultati finali descritti sopra. La suddivisione per contributo, quindi, non è necessaria per lo studio del nostro caso reale. Può essere utilizzata per monitorare meglio i processi di degradazione dei rifiuti e capire in quale cella intervenire per migliorare questo processo, cambiando i parametri costruttivi e le tecniche di abbancamento.

Si riporta l'andamento temporale del gas totale emesso dalla torcia in seguito alla combustione del biogas. Anche in questo caso, il software, divide il contributo totale riportato, nei contributi parziali di ogni singolo gas che costituisce l'emissione per combustione. Quindi è possibile visualizzare, per i 102 gas, che GasSim analizza, l'andamento volumetrico nelle emissioni nel tempo di funzionamento della torcia.

Le emissioni si azzerano nel 2021, quando la torcia smetterà di funzionare. Conoscere gli andamenti temporali di ogni singola sostanza generata dai processi di combustione può eventualmente permettere il progetto di eventuali sistemi di abbattimento delle emissioni dove sarà considerato necessario.

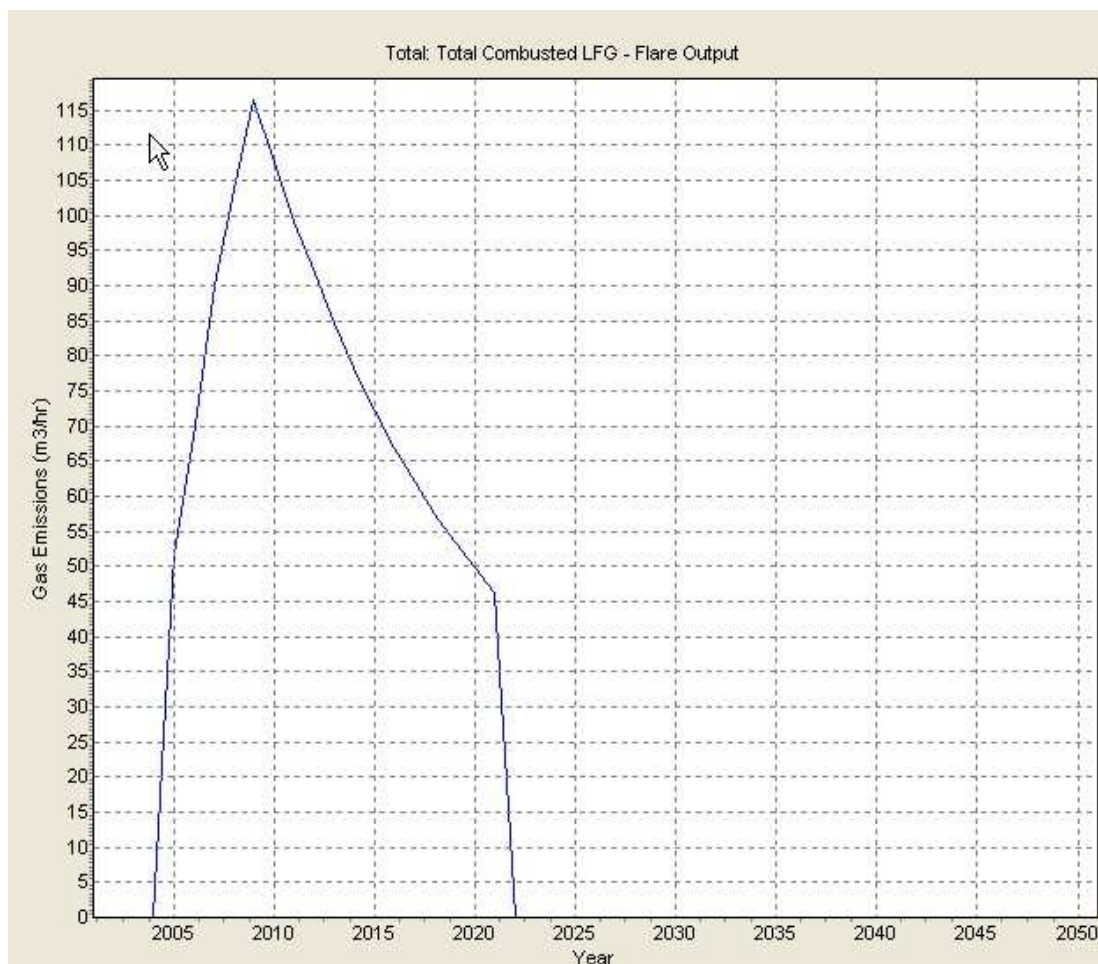


Figura 20 (*Gas combusto totale*)

Per lo studio del nostro caso reale, oltre a sottolineare la potenza di calcolo del software, si concentrerà l'attenzione sull'impatto ambientale dovuto alla nostra installazione. Nella fase di screening, il programma, visualizza due tabelle riassuntive che contribuiscono a condurre questo tipo di analisi.

La tabella riportata in figura 21, visualizza l'andamento per anno, dei principali inquinanti che l'autorità Inglese monitora per ogni tipologia di impianto installato sul proprio territorio. Le norme inglesi prevedono la redazione annuale di questo documento, che riporta la specie chimica controllata e i limiti di legge. Il GasSim simulando gli andamenti per impianti non ancora realizzati può eventualmente dimostrare la non realizzabilità di un'installazione nel caso in cui la quantità di gas emesso sia superiore al limite consentito.

Year: 2022

Gas	CAS	Reporting Threshold	Value to Report	(25%)	(75%)
Inorganics					
Ammonia	7664-41-7	1.00 t	n/a		
Asbestos	1332-21-4	1.00 kg	n/a		
Carbon Dioxide - 'chemical'	124-38-9	10,000.00 t	409.00 t	397.00 t	418.00 t
Carbon Dioxide - 'thermal'	124-38-9	10,000.00 t	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Carbon disulphide	75-15-0	1.00 t	723.00 g	335.00 g	1.21 kg
Carbon monoxide	630-08-0	100.00 t	966.00 g	323.00 g	2.88 kg
Hydrogen chloride	7647-01-0	10.00 t	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Hydrogen cyanide	74-90-8	100.00 kg	n/a		
Nitrous oxide	10024-97-2	10.00 t	n/a		
Phosgene	75-44-5	10.00 kg	n/a		
Sulphur hexafluoride	2551-62-4	10.00 kg	n/a		
Organics					
Acetaldehyde [Ethanal]	75-07-0	100.00 kg	15.70 g	9.58 g	24.60 g
Acrolein	107-02-8	10.00 kg	n/a		
Acrylamide [2-Propenamide]	79-06-1	10.00 kg	n/a		
Acrylonitrile [2-Propenenitrile]	107-13-1	1.00 t	46.70 g	21.10 g	87.30 g
Aldrin	309-00-2	1.00 kg	n/a		
Allyl alcohol [2-Propen-1-ol]	107-18-6	10.00 kg	n/a		
Amitrole [3-Amino-1,2,4-triazole]	61-82-5	1.00 kg	n/a		
Aniline [Benzeneamine]	62-53-3	10.00 kg	n/a		
Anthracene	120-12-7	10.00 kg	n/a		
Benzene	71-43-2	1.00 t	444.00 g	312.00 g	605.00 g
Benzo[a]pyrene	50-32-8	1.00 kg	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Benzo[b]fluoranthene	205-99-2	1.00 kg	n/a		
Benzo[g,h,i]perylene	191-24-2	1.00 kg	n/a		
Benzo[k]fluoranthene	207-08-9	1.00 kg	n/a		
Benzo butyl phthalate (BBP)	85-68-7	10.00 kg	n/a		
Benzyl chloride	100-44-7	10.00 kg	n/a		
Bromoethene	593-60-2	10.00 kg	n/a		
Butadiene [1,3-Butadiene]	106-99-0	100.00 kg	0.00 g	0.00 g	0.00 g
Butene - all isomers	-	1.00 t	3.84 g	2.29 g	7.07 g
Carbon tetrachloride [Tetrachloromethane]	56-23-5	10.00 kg	0.00 g	0.00 g	0.01 g

Figura 21 (Limiti inquinanti per ogni specie chimica monitorata dal governo inglese)

	Year	Short Term				Long Term			
		Predicted Boundary Concentration µg/m3	Predicted Nearest Receptor Concentration µg/m3	Is the emission rate insignificant?	Is detailed modelling required?	Predicted Boundary Concentration µg/m3	Predicted Nearest Receptor Concentration µg/m3	Is the emission rate insignificant?	Is detailed modelling required?
1,1-Dichloroethane - surface	2011	0.00825861(5m)	154849(592.014m)	Yes	No	0.000170334(5m)	3e-005(592.014m)	Yes	No
Acetaldehyde (ethanal) - surface	2011	0.0109199(5m)	304748(592.014m)	Yes	No	0.000225223(5m)	9e-005(592.014m)	Yes	No
Acetone - surface	2011	0.0434216(5m)	314155(592.014m)	Yes	No	0.00089557(5m)	7e-005(592.014m)	Yes	No
Acrylonitrile - surface	2011	0.0514604(5m)	364883(592.014m)	Yes	No	0.00106137(5m)	5e-005(592.014m)	Yes	No
Benzene - surface	2011	0.239687(5m)	149413(592.014m)	Yes	No	0.00494354(5m)	299608(592.014m)	Yes	No
Benzo[a]pyrene - flare	2011	38e-006(170.88m)	8e-006(480.026m)	No EAL	No EAL	33e-007(170.88m)	1e-007(480.026m)	Yes	No
Butadiene (modelled as	2011	1.68544e-005(5m)	1e-006(592.014m)	Yes	No	3.47623e-007(5m)	1e-008(592.014m)	Yes	No
Butane - surface	2011	0.712088(5m)	133516(592.014m)	Yes	No	0.0146868(5m)	390109(592.014m)	Yes	No
Carbon disulphide - surface	2011	0.565771(5m)	106082(592.014m)	Yes	No	0.011669(5m)	707214(592.014m)	Yes	No
Carbon monoxide - flare	2011	16.6585(170.88m)	16062480.026m)	Yes	No	1.38656(170.88m)	387047(480.026m)	No EAL	No EAL
Carbon monoxide - surface	2011	4.31823(5m)	309668(592.014m)	Yes	No	0.0890634(5m)	339778(592.014m)	No EAL	No EAL
Carbon tetrachloride	2011	1.67785e-005(5m)	7e-006(592.014m)	Yes	No	3.46056e-007(5m)	1e-008(592.014m)	Yes	No
Chlorobenzene - surface	2011	4.60916(5m)	364218(592.014m)	Yes	No	0.095064(5m)	376145(592.014m)	Yes	No
Chlorodifluoromethane - surface	2011	6.41119(5m)	1.2021(592.014m)	Yes	No	0.132231(5m)	301399(592.014m)	Yes	No
Chloroethane - surface	2011	0.00396251(5m)	742971(592.014m)	Yes	No	8.17268e-005(5m)	4e-006(592.014m)	Yes	No

Not Modelled:

- 1,1,1,2-Tetrafluoroethane
- 1,1,1-Trichlorotrifluoroethane
- 1,1,2-Trichloroethane
- 1,1-Dichloroethane
- 1,1-Dichlorotetrafluoroethane
- 1,2-Dichloropropane
- 1,2-Dichlorotetrafluoroethane
- 1-Chloro-1,1-difluoroethane
- 2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane
- 2-Propanol
- Bromodichloromethane
- Butene isomers

Print Close

Figura 22 (Tabella riassuntiva della fase di screening del sito)

Nel caso di impianti già realizzati, prepara questa documentazione così come voluta dal ministero dell'ambiente per comprovare di essere in regola con le emissioni inquinanti. La tabella riassuntiva riportata in figura 22, ottimizza la fase successiva del calcolo della dispersione atmosferica. Utilizzando un'analisi non specifica, permette per ogni anno di capire, per ogni sostanza quale non è necessaria da modellare con i processi di diffusione atmosferica poiché in quantità non sufficienti ad essere considerata fuori norma ai recettori definiti, nel breve e nel lungo periodo. Il calcolo in questa fase, viene fatto non considerando i dati meteo e simulando una diffusione uniforme in atmosfera dalla sorgente di emissione. I gas le cui emissioni risultano essere molto al di sotto dei limiti imposti dalla comunità europea (come nel nostro caso) non vengono modellati nelle fasi successive. Per conoscere le metodologie di calcolo utilizzate per considerare i limiti di non modellazione si rimanda al capitolo 3. E' altresì possibile specificare i valori background per un'analisi del rischio più idonea qualora presenti.

4.8.2 Dispersione atmosferica

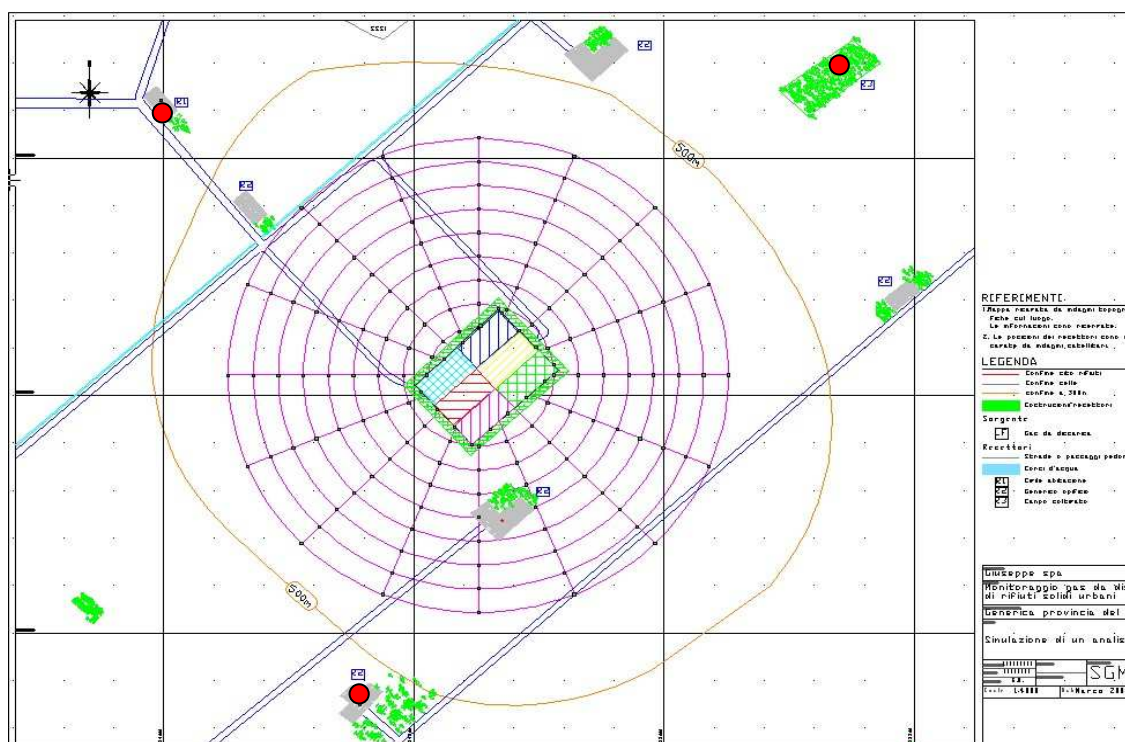


Figura 23 (Recettori definiti)

Una volta posizionati i recettori e avviata la simulazione utilizzando i dati meteo a disposizione è possibile visualizzare delle tabelle riassuntive sull'andamento annuale delle concentrazioni a terra dei gas monitorati. I dati sono puntuali e riportati per peggiore ora e

media annuale (principio del worst case) e confrontati automaticamente con i limiti di legge o di qualità dell'aria selezionati (vedi capitolo 3). Nel nostro caso le linee guida della comunità europea hanno stabilito le concentrazioni limite.

Pollutant: **Hydrogen sulphide** All concentration values in the table in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Highest values in modelled domain

	Averaging Period	Air Quality Standard	Percentile	Receptor	x coordinate [m]	y coordinate [m]	Process Contribution (PC)	Predicted Environmental Concentration (PEC)
Long term EAL	1 year	140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	GRPS001	754688	415962	0.06	0.06
Short term EAL	1 hour	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100	GRPS001	754688	415962	2.01	2.01

Discrete Receptor	x coordinate [m]	y coordinate [m]	PC Annual Mean	PC Worst Hour	PEC Annual Mean	PEC Worst Hour
DR001	753995	416622	1.04e-04	0.08	1.04e-04	0.08
DR002	755338	416684	4.91e-04	0.13	4.91e-04	0.13
DR003	754392	415349	2.72e-04	0.14	2.72e-04	0.14

Boundary Receptor	x coordinate [m]	y coordinate [m]	PC Annual Mean	PC Worst Hour	PEC Annual Mean	PEC Worst Hour
BR001	754669	416182	6.30e-03	0.73	6.30e-03	0.73
BR001	754633	416147	9.00e-03	0.77	9.00e-03	0.77
BR001	754597	416112	0.01	0.82	0.01	0.82
BR001	754561	416077	0.02	1.09	0.02	1.09
BR001	754525	416043	0.02	1.13	0.02	1.13
BR001	754514	416007	0.01	1.06	0.01	1.06
BR001	754547	415970	0.02	1.24	0.02	1.24
BR001	754581	415933	0.03	1.73	0.03	1.73
BR001	754615	415896	0.02	1.92	0.02	1.92
BR001	754652	415928	0.05	1.90	0.05	1.90
BR001	754688	415962	0.06	2.01	0.06	2.01
BR001	754725	415996	0.03	1.18	0.03	1.18
BR001	754762	416030	0.02	0.93	0.02	0.93
BR001	754779	416064	0.02	1.03	0.02	1.03
BR001	754744	416101	0.03	1.03	0.03	1.03

Note: to view all grid receptors, use the export facility

Passed Relevant EQS or EAL
Failed Relevant EQS or EAL
No Relevant EQS or EAL

Done

Figura 24 (Dispersione acido solfidrico e concentrazioni a terra)

Dall'esame dei risultati proposti dal software, al limite del sito di abbancamento rifiuti e ai recettori le concentrazioni di benzene e l'acido solfidrico monitorate e calcolate sono in regola con le norme imposte dalla comunità europea per quanto riguarda il benzene e l'acido solfidrico.

Per il metano, invece, la comunità europea non prevede un limite di concentrazione: per questa sostanza viene quindi calcolata solo la concentrazione a terra nell'ora peggiore e la concentrazione media annuale senza effettuare un confronto con valori limite di legge. Nel nostro studio non sono considerati valori di background della qualità dell'aria poiché non sono previste altre installazioni limitrofe che ne alterino la qualità.

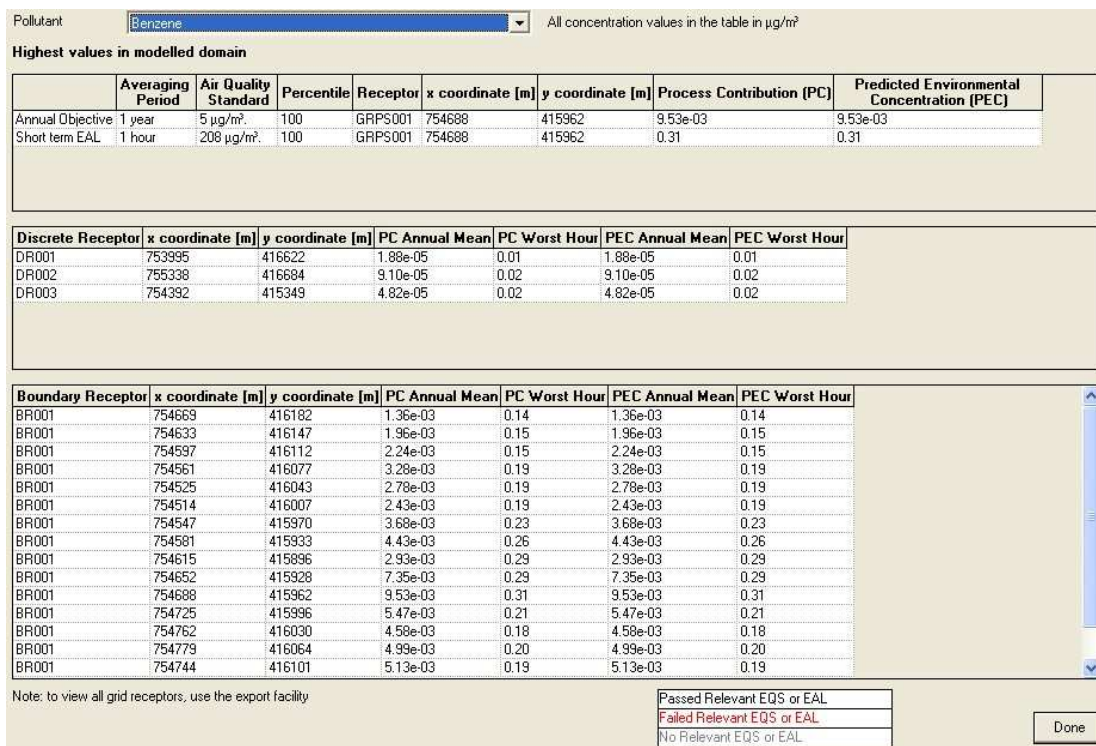


Figura 25 (Dispersione benzene e concentrazioni a terra)

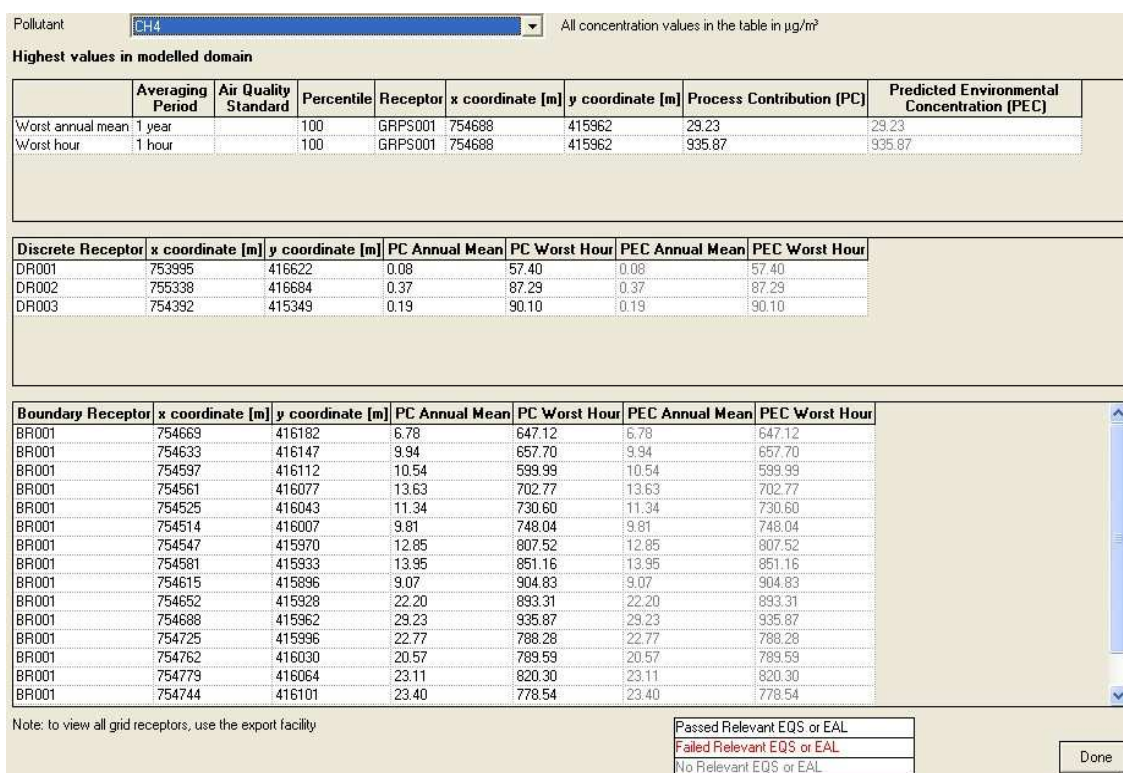


Figura 26 (Dispersione metano e concentrazioni a terra)

Nel caso fossero previste il GasSim considera il contributo somma dell'alterazione della qualità dovuta alla nostra installazione e dei valori di "fondo" già compromessi da altre

installazioni. In questo caso il superamento dei limiti previsti dalla norma comprende i due valori secondo il procedimento d'analisi considerato nel capitolo 3 e che è valido per l'Inghilterra.

4.8.3 Impatto globale

La tabella riassuntiva sotto riportata analizza l'impatto globale della nostra installazione in termini di GWP e ODP. Per ogni gas riporta il "peso" che questo ha

Year:

Gas	Gas released (tonnes)	GWP (tonnes CO2)	ODP (tonnes CCl3F)	Include
Methane - 'Surface'	2.27E+03	4.76E+04	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Methane - 'Engine'	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Methane - 'Flare'	39.1	820.0	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Carbon Dioxide - 'Surface'	7.62E+03	7.62E+03	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Carbon Dioxide - 'Engine'	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Carbon Dioxide - 'Flare'	2.14E+04	2.14E+04	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Hydrogen	0.419	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1,1,2-Tetrafluoroethane	2.40E-04	0.149	9.61E-06	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1,1-Trichlorotrifluoroethane	7.07E-04	4.24	5.65E-04	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1,2-Trichloroethane	1.02E-03	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1-Dichloroethane	5.30E-04	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1-Dichloroethene	2.41E-03	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,1-Dichlorotetrafluoroethane	7.70E-04	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,2-Dichloropropane	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1,2-Dichlorotetrafluoroethane	0.0141	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
1-Chloro-1,1-difluoroethane	2.05E-03	4.71	1.33E-04	<input checked="" type="checkbox"/>
2-Chloro-1,1,1-trifluoroethane	4.74E-04	0.00	2.84E-05	<input checked="" type="checkbox"/>
2-Propanol	2.44E-03	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Acetaldehyde (ethanal)	7.88E-04	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Acetone	1.14E-03	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Acrylonitrile	2.37E-03	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Benzene	0.0213	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Benzo(a)pyrene	3.73E-06	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Bromodichloromethane	0.00	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Butadiene (modelled as 1,3-Butadiene)	6.18E-09	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>
Butane	0.0173	0.00	0.00	<input checked="" type="checkbox"/>

Global Warming Potential (tonnes of carbon dioxide)	Ozone Depletion Potential (tonnes of trichlorofluoromethane)	Gas Inclusion: <input type="text" value="All"/>
Total CH4: <input type="text" value="4.84E+04"/>	<input type="text" value="0.00"/>	Lo (t CH4): <input type="text" value="7.05E+03"/>
Total CO2: <input type="text" value="2.89E+04"/>	<input type="text" value="0.00"/>	
Trace Gases: <input type="text" value="572.0"/>	<input type="text" value="0.0537"/>	
Total: <input type="text" value="7.81E+04"/>	<input type="text" value="0.0537"/>	
Engines	Flares	Total
CH4 burned (t): <input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="3.91E+03"/>	<input type="text" value="3.91E+03"/>
GWP Reduction (t CO2): <input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="7.13E+04"/>	<input type="text" value="7.13E+04"/>
CH4 (%)	CO2 (%)	
Bulk LFG Composition: <input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>	

Figura 27 (Tabella riassuntiva impatto globale)

nei confronti del riscaldamento globale e della riduzione della fascia di ozono. Il programma suddivide i risultati ottenuti per contributo totale e per contributo della torcia installata. Il tutto in funzione delle tonnellate equivalenti dei anidride carbonica e di CFC-11 come è stato descritto ampiamente nel capitolo 3.

4.8.4 Migrazione laterale

Cell	cella3	Year	2008 bulk
Gas	Total LFG	Distance	33.36
95% of values are less than	0.1387	mg/m ³	Min: 7.21E-11 mg/m ³
90% of values are less than	0.0571	mg/m ³	Max: 0.3973 mg/m ³
75% of values are less than	2.71E-03	mg/m ³	Mean: 0.0203 mg/m ³
50% of values are less than	9.44E-07	mg/m ³	Variance: 3.33E-03 mg ² /m ⁶
25% of values are less than	3.86E-09	mg/m ³	SD: 0.0577 mg/m ³
10% of values are less than	5.46E-10	mg/m ³	<input checked="" type="radio"/> Graph as concentration
5% of values are less than	2.78E-10	mg/m ³	<input type="radio"/> Graph as percentage

Screening Levels Print Graph OK

Figura 28 (Esempio di calcolo della migrazione laterale dei gas da discarica)

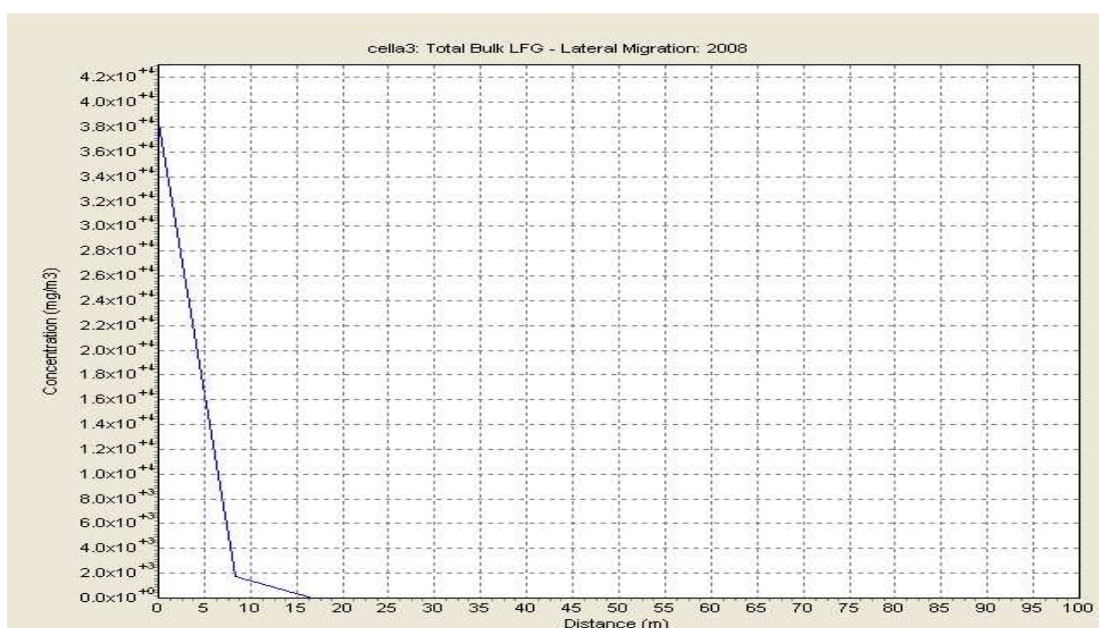


Figura 29 (Esempio di calcolo della migrazione laterale dei gas da discarica)

Per il calcolo dell'esposizione agli inquinanti da parte dei recettori umani, nel nostro studio di un caso reale si considera la migrazione laterale del gas di discarica che attraverso il terreno passa all'interno delle abitazioni. Come esempio si riportano qui di seguito (figura 28 e 29) due schermate visualizzate dal software nell'effettuare questo calcolo. Sarebbe impossibile infatti visualizzare tutti i risultati forniti in questa fase dal programma poiché divisi per cella, per anno, per recettore e per gas monitorato.

L'analisi della migrazione laterale può servire anche in altre tipologie di studio che non sono state analizzate in quest'elaborato quali ad esempio la migrazione laterale del metano all'interno di un abitazione e che può talvolta causare lo scoppio della stessa. Nel nostro caso la migrazione laterale è stata utilizzata solo per considerare la somma dei contributi all'esposizione umana della dispersione atmosferica e della migrazione stessa.

4.8.5 Risultati esposizione

Anno	Recettore civile	Recettore agricolo	Recettore industriale
	Benzene	Benzene	Benzene
2002	0	0	0
2003	8.89e-07	9.16e-07	8.84e-07
2004	1.34e-06	1.25e-06	1.31e-07
2005	7.93e-07	7.80e-07	7.87e-07
2006	4.58e-07	4.49e-07	4.85e-07
2007	8.9e-07	9.02e-07	8.36e-07
2008	4.65e-07	5.14e-07	5.22e-07
2009	2.97e-07	2.91e-07	3.11e-07
2010	2.20e-07	2.30e-07	2.36e-07
2011	1.78e-07	1.79e-07	1.89e-07
2012	1.42e-07	1.47e-07	1.40e-07
2013	1.21e-07	1.14e-07	1.10e-07
2014	8.65e-08	8.81e-08	8.56e-08
2015	7.28e-08	6.99e-08	7.10e-08
2016	6.07e-08	5.83e-08	6.08e-08
2017	5.17e-08	5.30e-08	5.00e-08
2018	3.88e-08	4.34e-08	4.13e-08
2019	3.31e-08	3.28e-08	3.38e-08
2020	2.69e-08	2.74e-08	2.71e-08
2021	2.27e-08	2.37e-08	2.31e-08
2022	1.60e-07	1.61e-07	1.57e-07
2023	1.38e-07	1.37e-07	1.34e-07
2024	1.06e-07	1.06e-07	1.03e-07
2025	8.56e-08	8.88e-08	9.05e-08
2026	7.11e-08	6.76e-08	7.38e-08
2027	6.43e-08	5.87e-08	6.07e-08
2028	4.89e-08	4.64e-08	5.05e-08
2029	3.98e-08	4.01e-08	4.36e-08
2030	3.48e-08	3.51e-08	3.47e-08
2031	2.92e-08	2.82e-08	2.92e-08

2032	2.67e-08	2.51e-08	2.49e-08
2033	2.20e-08	2.05e-08	2.13e-08
2034	1.94e-08	1.74e-08	1.74e-08
2035	1.61e-08	1.05e-08	1.84e-09
2036	1.31e-08	9.44e-09	1.55e-09
2037	1.26e-08	8.14e-09	1.32e-09
2038	1.15e-08	7.54e-09	1.15e-09
2039	1.09e-08	7.79e-09	1.01e-09
2040	8.95e-09	6.95e-09	8.54e-10
2041	8.25e-09	6.48e-09	7.46e-10
2042	8.22e-09	6.08e-09	6.65e-10
2043	7.46e-09	5.92e-09	5.76e-10
2044	7.80e-09	5.70e-09	5.12e-10
2045	7.13e-09	6.12e-09	4.62e-10
2046	5.88e-09	5.75e-09	4.08e-10
2047	6.09e-09	5.58e-09	3.75e-10
2048	5.87e-09	4.73e-09	3.33e-10
2049	5.52e-09	5.01e-09	3.06e-10
2050	6.20e-09	5.21e-09	2.83e-10
2051	5.52e-09	5.03e-09	2.81e-10

Tabella A (Monitoraggio benzene e per recettore in mg/kg-d)

Per il calcolo del rischio si analizza l'andamento temporale del benzene assorbito dal recettore/umano più "debole" nei vari scenari d'esposizione. Si è scelto il benzene come esempio poiché conosciamo i limiti di italiani previsti dalle norme per l'esposizione al rischio cancerogeno e non cancerogeno per questa sostanza.

Per il calcolo di questo fattore si utilizzano le metodologie operative dell'analisi di Rischio, metodo che è possibile reiterare per ogni gas per cui è prevista la valutazione dell'esposizione.

Il GasSim riporta la quantità assorbita per inalazione, ingestione e contatto dermico dal recettore umano e che può essere direttamente confrontata con i limiti previsti dalla legge. In tabella A è riportato l'andamento per ogni anno di simulazione del nostro caso reale. In tabella B sono riportati per ogni condizione espositiva i valori massimi calcolati e per questi valori si è confrontato se si rientra nei parametri previsti dal nostro ordinamento legislativo.

La totalità del Benzene assorbito è suddiviso nei diagrammi a torta riportati di seguito, in base ai contributi delle possibili vie di contatto considerate nei vari scenari espositivi. Infatti, nel recettore industriale (figura 32) è possibile vedere che il 75% circa del totale del benzene è inalato fuori e il restante all'interno dell'unità lavorativa.

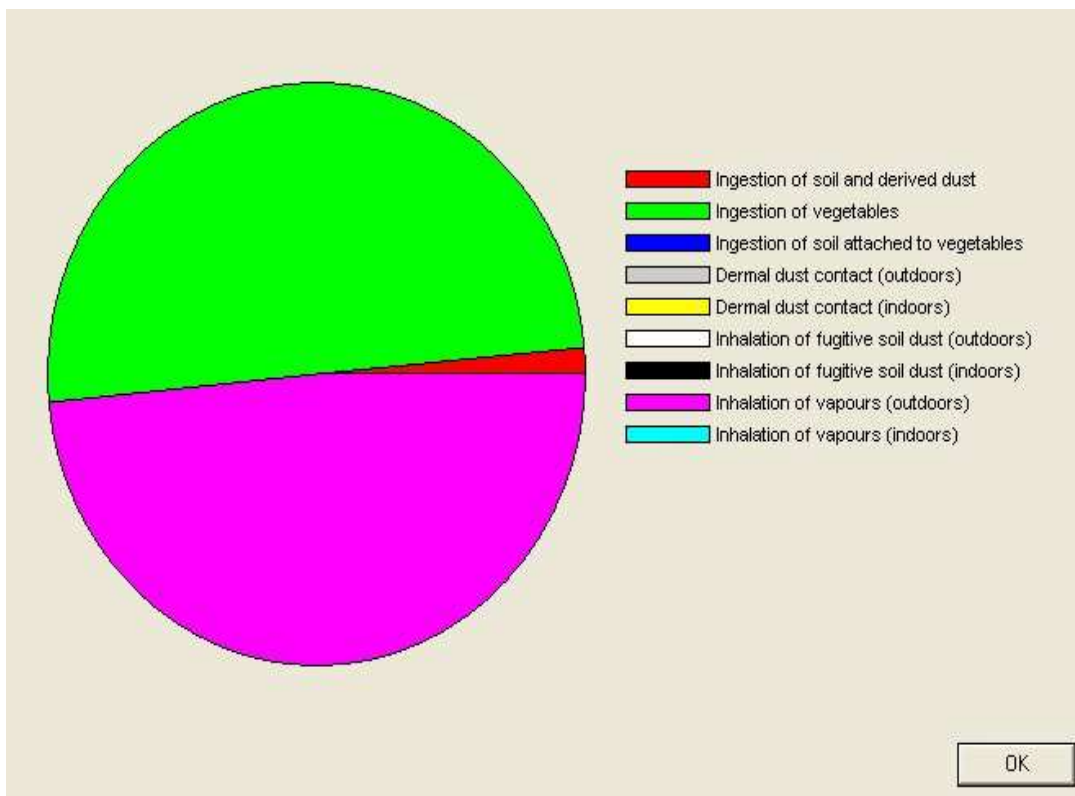


Figura 30 (*Modalità d'esposizione benzene nel recettore agricolo*)

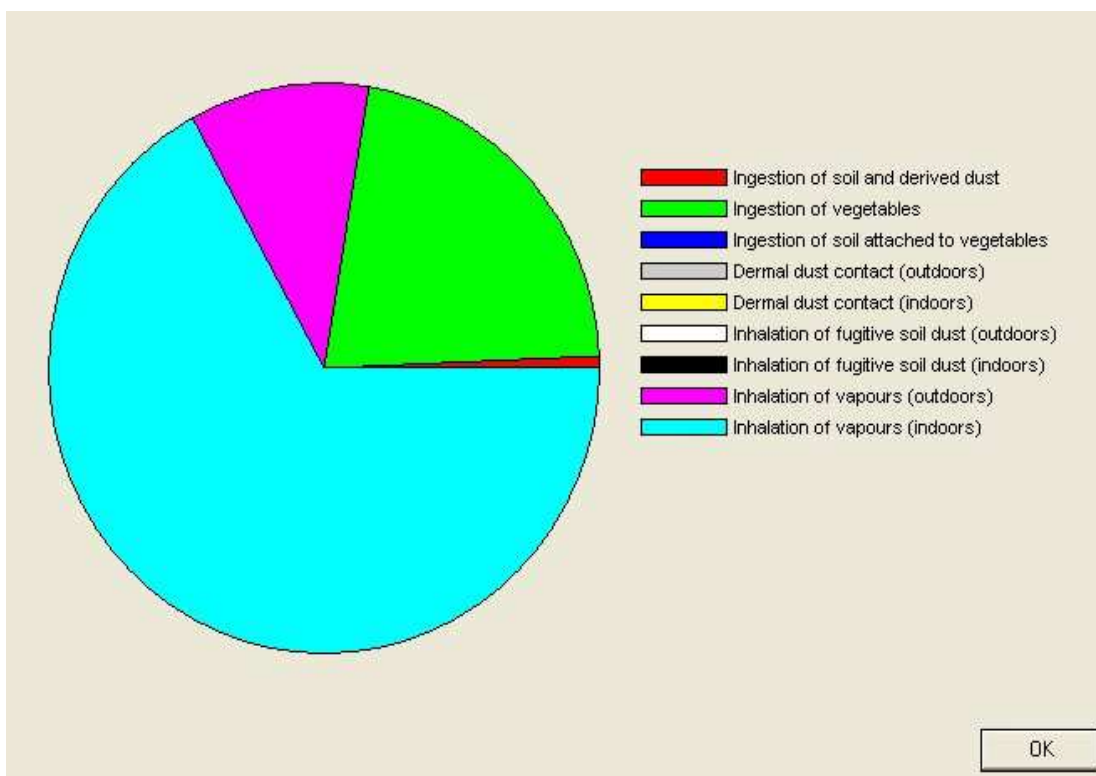


Figura 31 (*Modalità d'esposizione benzene nel recettore civile*)

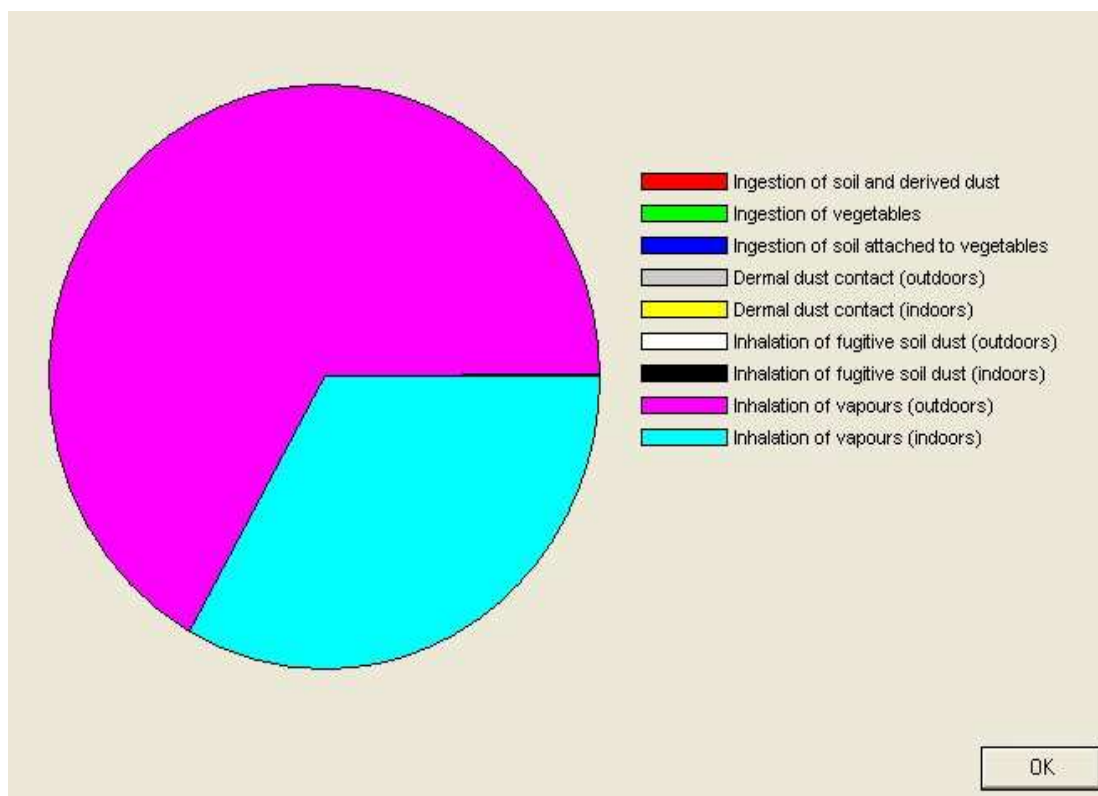


Figura 32 (Modalità d'esposizione benzene nel recettore industriale)

	Benzene inalato A	Benzene ingerito B	Slopefactor inalazione C	Slopefactor ingestione D	Rischio ingestione E=B*D	Rischio inalazione F=A*C	Rischio totale E+F
R. civile	8.93e-07	4.46e-07	2.73e-02	5.50e-02	2,45e-08	2,44e-08	4.49e-8
R. agricol	8.25e-07	4.13e-07	2.73e-02	5.50e-02	2,44e-08	2,25e-08	4.69e-8
R.industr.	8.84e-07		2.73e-02	5.50e-02		2,41e-08	2.41e-8

Tabella B (Analisi esposizione al benzene rischio cancerogeno)

	Benzene inalato A	Benzene ingerito B	Refer.dose inalazione C	Refer.dose ingestione D	Rischio ingestione E=B/D	Rischio inalazione F=A/C	Rischio totale E+F
R. civile	8.85e-07	4.42e-07	8.55e-03	4.00e-03	1.1e-04	1.03e-04	2.13e-4
R. agricol	8.25e-07	4.13e-07	8.55e-03	4.00e-03	1.03e-04	9,64e-05	1.97e-4
R.industr.	8.84e-07		8.55e-03	4.00e-03		1,03e-04	1,03e-4

Tabella C (Analisi esposizione al benzene rischio non cancerogeno)

Nelle tabelle B e C si raccolgono i risultati del rischio cancerogeno e non cancerogeno del benzene. Tramite l'utilizzo dei diagrammi a torta (figura 30,31 e 32) il benzene totale al recettore è stato suddiviso nella quantità percentuale inalata e ingerita.

Per il rischio cancerogeno i valori così ricavati per ogni recettore sono stati moltiplicati per lo slope factor previsto dalla normativa italiana per il benzene (valori estratti dalla banca dati ISESL "Istituto Superiore Prevenzione e Sicurezza sul Lavoro") e verificato che i valori somma d'esposizione (ingestione+inalazione) sono inferiori a 10^{-6} .

Analogo procedimento è stato utilizzato per la verifica dell'esposizione del recettori al rischio non cancerogeno. I valori ricavati per l'ingestione e l'inalazione, nei vari scenari espositivi, sono stati moltiplicati per la reference dose prevista dalle normative e verificando che il risultato somma ottenuto sia inferiore all'unità.

Recettore	Rischio cancerogeno	Rischio non cancerogeno
Civile abitazione	Accettabile per il benzene	Accettabile per il benzene
Recettore agricolo	Accettabile per il benzene	Accettabile per il benzene
Recettore industriale	Accettabile per il benzene	Accettabile per il benzene

Tabella D (Riassunto esposizione)

4.9 Conclusioni e sviluppi futuri

L'obiettivo che l'elaborato si prefiggeva era quello di studiare l'applicabilità del software GasSim, sviluppato dalla Golder Associates seguendo le linee guida dall'Environmental Agency inglese, nell'analisi di rischio connessa con l'attività d'abbancamento rifiuti in un sito di discarica .

Si sono sottolineati, quindi, tutti gli aspetti necessari per procedere a questa tipologia di indagine, e in particolare la normativa italiana e le linee guida che il tecnico deve seguire per condurre questo studio che è parte fondamentale per una valutazione d'impatto ambientale. Si è poi passati all'analisi del software GasSim spiegandone il funzionamento, le differenze operative e le difficoltà che l'utente italiano può incontrare, nell'utilizzo di quest'ausilio informatico, dovute essenzialmente all'evidenza che si sta utilizzando il programma in una nazione diversa da quella di sviluppo e per la complessità del software stesso.

Sono stati segnalati i suoi punti di forza nella simulazione dei gas generati da una discarica e nella diffusione fino ai recettori e quindi la sua possibile applicazione in contesti diversi che vanno dallo studio di fattibilità di un progetto, alla progettazione stessa, all'analisi e monitoraggio di siti di discarica già esistenti.

Successivamente si è passati, quindi, all'utilizzo delle potenzialità di calcolo del codice GasSim ad un caso reale: una discarica situata nel nord est Italia.

Utilizzando, i diversi scenari d'esposizione, si è calcolato la generazione e diffusione dei gas in atmosfera, l'alterazione della qualità dell'aria provocata ai recettori e il rischio per la salute umana correlata all'esposizione (inalazione, ingestione e contatto dermico) a concentrazioni alterate delle sostanze inquinanti.

Fra tutte le sostanze inquinanti in traccia, cui è stata simulata l'esposizione e la diffusione in atmosfera, si sono scelte il benzene e l'acido solfidrico oltre ai principali gas di discarica. Si è dimostrato, che per la discarica oggetto di studio, le concentrazioni ai recettori sono in linea rispetto alle direttive comunitarie sulla qualità dell'aria. Si è provato anche che l'esposizione al benzene per gli esseri umani che vivono e lavorano nei recettori monitorati sono inferiori ai valori massimi connessi all'aumento di rischio cancerogeno e non cancerogeno.

Non per ultimo si è calcolato l'impatto che l'opera ha nei confronti dell'inquinamento globale in termini di riduzione della fascia d'ozono e del riscaldamento mondiale per effetto serra per ampliare la valutazione d'impatto in un contesto più ampio.

Si è scelto di non riportare in quest'elaborato tutti i dati di simulazione ottenuti poiché l'enorme quantità di risultati che il software fornisce all'utilizzatore non può essere agevolmente esaminato nel tempo a disposizione che si ha nell'esposizione di questo lavoro e non sarebbe altro che un processo reiterato rispetto a quello analizzato nel presente documento. Reiterazione che avviene per ogni sostanza chimica che costituisce il gas di discarica. Tuttavia si può affermare che l'utilizzo professionale del programma nell'analisi di rischio nel contesto italiano può essere fatta in maniera soddisfacente rendendo il software di fatto un punto di riferimento per condurre queste tipologie di valutazioni. Si lascia, quindi, la possibilità ad altri che vorranno utilizzare questo programma di poter condurre, utilizzando quest'elaborato, indagini specifiche che riguarderanno la simulazione di siti di discarica esistenti o ancora da progettare anche seguendo strade diverse da quelle che valutano il solo rischio ambientale e nelle diverse possibilità che il software permette e che sono state solo accennate nella presente tesi.

5 Appendice

Degradab.	Domestic	Iner.	Fanghi	Ceneri	Umidità	Cellulosa	Emicellulosa	Decomp
Giornali	11.38				30	48.5	9	35
Riviste	4.87				30	48.7	9.4	46
Altra carta	10.07				30	87.4	8.4	98
Imballaggi	3.84				30	57.3	9.9	64
Tessile	2.36				25	20	20	50
Pannolini	4.35				20	25	25	50
Altro combustib.	3.6				20	25	25	50
Scarti giardino	2.41				65	25.7	13	62
Altro putrescibile	18.38				65	55.4	7.2	76
Polveri	7.11				40	25	25	50
Fanghi			100		70	14	14	75
Ceneri				100	30	Un 7;9.4	Un 7;9.4	57
Non degradabile	28.54	100						

Tabella A (Composizione rifiuto da indagini statistiche valori in percentuale, Gregory)

Specie chimica(gas)	Costante di Henry	Solubilità nel percol.	Costante ottanolo/acq.	Diffusività Laterale cm ² /s	Concentraz. LFG mg/m ³
Benzene	0.23		2.13	0.0880	0.1
Acido solfidrico	467		1.2	0.1623	2.4

Tabella B (Caratteristiche fisiche del gas in traccia modellati)

Elenco gas modellati	
Acetaldehyde (ethanal)	Hexane
Acetone	Hydrogen sulphide
Acrylonitrile	Mercury
Benzene	Methanethiol (methyl mercaptan)
Benzo(a)pyrene	Methyl chloride (chloromethane)
Butadiene	Methyl chloroform
Benzyl chloride (chlorobenzene)	Methyl ethyl ketone
Butane	Methyl isobutyl ketone
Butene isomers	Nitrogen oxides (except N ₂ O)
Carbon disulphide	Pentene isomers (1-pentene)
Carbon monoxide	Phenol
Carbon tetrachloride	Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) (modelled as naphthalene)
Chlorodifluoromethane	2-Propanol
Chlorotrifluoromethane	Sulphur reduced
Chloroethane	Tetrachloroethane
Chloroform (trichloromethane)	

Dichlorodifluoromethane	Tetrachloroethylene (tetrachloroethene)
1,1-Dichloroethane	1,1,2,3-Tetraflourochloroethane
1,2-Dichloroethane	Toluene
Dichlorofluoromethane	Total chloride
Dichloromethane	Total fluoride
Dimethyl disulphide	Trichlorobenzene
Dioxins and furans	1,1,1-Trichloroethane
Ethanethiol	Trichloroethylene (trichloroethene)
Ethanol	Trichlorofluoromethane
Ethylbenzene	Trimethylbenzene (all isomers)
Ethyl toluene	Vinyl chloride
Formaldehyde (methanal)	(chloroethene, chloroethylene)
Halons	Xylene
Hexachlorocyclohexane	

Tabella C (*Elenco gas modellati dal software*)

6 Bibliografia

Per redigere quest'elaborato sono stati consultati i seguenti documenti:

- I. Gruppo di lavoro APAT (2006), *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di Rischio alle discariche*, coordinamento tipografico APAT P265;
- II. Gruppo di lavoro APAT (2005), *Criteri metodologici per l'applicazione dell'analisi assoluta di Rischio ai siti contaminati*, coordinamento tipografico APAT P168;
- III. Golder associates and Environmental Agency (2004), *GasSim Manual*, Environmental Agency P232;
- IV. Gregory R. and Gillet A.(2002), *Scoping study on landfill emission to atmosphere in relation to ISR reporting requirements*, Environmental Agency P235;
- V. Emiliano Rossi (2007), *Analisi di rischio sanitario-ambientale applicata alle discariche di rifiuti*;
- VI. Banca dati ISS ISPEL (2008), *Proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei contaminanti*, Gruppo di lavoro ARPA/APAT;
- VII. US EPA (1998), *The user guide for the AERMOD Meteorological pre-processor (AERMET)*, November 1998 P348;
- VIII. AA.VV., *Conversione di una discarica in un bioreattore per il recupero energetico del biogas*, 2008;
- IX. Ruggeri, Peirano, *L'analisi di Rischio quale strumento guida nella gestione delle discariche*, 2004;
- X. Koppmann R., *Volatic Organic Compounds in the Atmosphere*, Blackwell Publishing, Chapter 5, P485;

Siti internet consultati

- www.gassim.co.uk (Manuale GasSim);
- www.maind.it (Dati meteo sito specifici);
- www.apat.gov.it (Manuali gruppo di lavoro APAT-ARPA/APPA-ICRAM-ISPEL-ISS);
- www.epa.gov (AERMOD);
- www.lakes-environmental.com

Ringraziamenti

Vorrei ringraziare la Prof. Alessandra Bonoli e l'ing. Andrea Forni per avermi dato la possibilità di conoscere un argomento di grande interesse e di avermi fornito il materiale necessario e il software senza il quale non avrei potuto concludere questo lavoro. Li ringrazio, inoltre, per l'infinita pazienza e la fiducia che hanno riposto in me e nella disponibilità che hanno avuto nel ricevermi in qualunque momento ne avessi bisogno.